

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**



Fernando José Silveira Barros Neves

**ANÁLISE DA VELOCIDADE DE AVANÇO DE TRADO EM
CORRELAÇÃO COM OS VALORES DE PRESSÃO LIMITE DE
ENSAIOS PRESSIOMÉTRICO**

Recife, 2024

Fernando José Silveira Barros Neves

Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE DA VELOCIDADE DE AVANÇO DE TRADO EM
CORRELAÇÃO COM OS VALORES DE PRESSÃO LIMITE DE
ENSAIOS PRESSIOMÉTRICO**

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido no âmbito do programa BRAFITEC/CAPEES, a partir do estágio de fim de estudos, realizado na empresa Keller Foundations, localizada na cidade francesa de Paris, como requisito à obtenção do título de Engenheiro Civil e Geotécnico pela Polytech Grenoble e de Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco na modalidade de dupla-diplomação, sob a orientação do Prof. Dr. Florent VIEUX-CHAMPAGNE

Idioma do trabalho: francês

Recife, 2024



POLYTECH GRENoble – INP, UGA

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA E ENGENHARIA CIVIL (GGC)

A comissão examinadora do trabalho de conclusão de curso

**ANÁLISE DA VELOCIDADE DE AVANÇO DE TRADO EM CORRELAÇÃO COM
OS VALORES DE PRESSÃO LIMITE DE ENSAIOS PRESSIOMÉTRICO**

defendido por

Fernando José Silveira Barros Neves

Considerado o candidato

APROVADO

com nota 15,33/20

Saint-Martin-d'Hères, 07 de julho de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Florent VIEUX-CHAMPAGNE - GRENoble INP, UGA
(orientador)

Prof. Dr. Antoine NAILLON - GRENoble INP, UGA
(examinador interno)

Eng. Amine YAÏCI – KELLER FONDATIONS, PARIS
(examinador externo)

Programa BRAFITEC/CAPES

O trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido no âmbito do programa BRAFITEC/CAPES na modalidade de dupla-diplomação entre a Universidade Federal de Pernambuco campus Recife e a Polytech Grenoble – INP, UGA localizada na cidade de Saint-Martin-d'Hères, França. Este trabalho foi apresentado como relatório de fim de estudos após realização do estágio de fim de curso, como requisito à obtenção do título de Engenheiro Civil e Geotécnico pela Polytech Grenoble.

A defesa do relatório de fim de estudos ocorreu em 07 de julho de 2023, onde a nota foi calculada a partir da média aritmética dos seguintes critérios: apresentação, relatório final e desenvolvimento do estudante durante o estágio. Com isso, a banca julgadora concedeu uma pontuação final de 15,33/20, indicando a aprovação do estudante.

Objetivos

O objetivo do estudo é encontrar a velocidade de avanço de trados utilizados na execução de inclusões rígidas em correlação com valores de pressão limite de ensaios pressiométricos. Inclusão rígida é um tipo de melhoramento de solo que consiste em realizar colunas de concreto no solo para aumentara a capacidade portante do mesmo. Permitindo posteriormente o apoio das sapatas de fundação diretamente sobre essas colunas. Na imagem a seguir podemos observar a execução de uma inclusão rígida. Também podemos ver o trado que é utilizado, esse tendo a função de empurrar o solo para laterais para aumentar o coeficiente de atrito coluna/solo. Foram estudados os tipos de solo encontrados na localidade de Paris e região. Aportando para a empresa uma previsão de produtividade para obras em diferentes terrenos.



Figura 1: A esquerda, foto da execução de uma inclusão rígida. A direita, trado utilizado na execução.

Metodologia

A execução do estudo é baseada em dados extraídos do monitoramento da execução das inclusões rígidas de obras realizadas pela agência Keller Paris, um exemplo dos dados recolhidos pode ser encontrado no anexo 2 deste relatório. Esses dados incluem informações como velocidade de avanço, torque de rotação, pressão e volume de concreto utilizado durante a execução das inclusões. Ao longo dos últimos cinco anos, a Keller realizou 147 obras de inclusões rígidas, principalmente na região de Paris.

Para análise dos dados, foi criada uma planilha com detalhes de cada projeto, incluindo cidade, profundidade de perfuração, tipos de solo encontrados e camada de ancoragem da inclusão. Isso proporcionou uma visão geral dos principais tipos de solo e suas respectivas pressões limites. Seis tipos de solos foram estudados: areia, argila, silte, marga, aluvião e calcário, sendo analisados no mínimo três projetos para cada tipo.

Após a seleção dos projetos a serem estudados, uma análise das velocidades de avanço das inclusões foi comparada com as sondagens do terreno, permitindo identificar a velocidade associada a cada camada do solo.

Para cada projeto analisado, foi criada uma planilha específica para calcular a média de velocidade de avanço em cada uma das camadas. Essas velocidades de avanço foram então agrupadas em uma tabela resumo para serem apresentadas nos resultados.

Resultados

Uma primeira análise dos resultados permitiu identificar os valores de pressão limite (p_l^*) encontrados nas camadas de ancoragem das inclusões rígidas. Essa camada é onde os 50cm finais da coluna são executadas, como indicado abaixo.

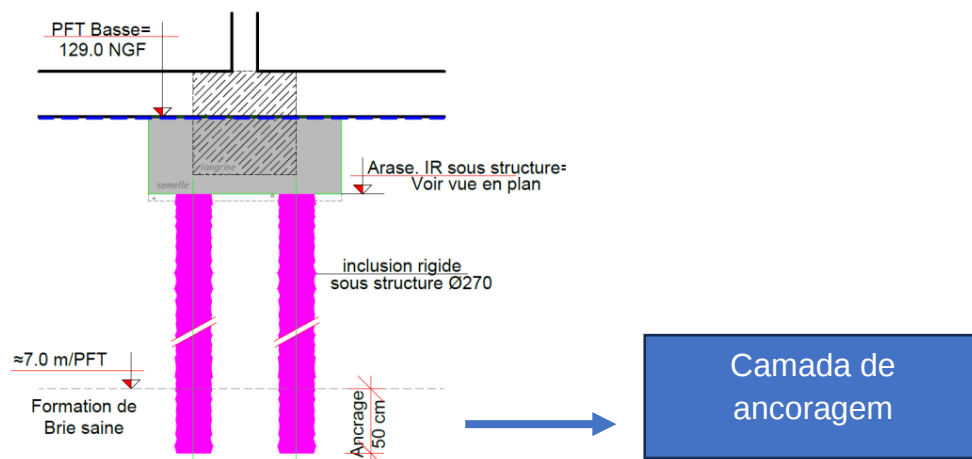


Figura 2: Esquema de funcionamento de uma inclusão rígida.

Na figura abaixo, pode-se observar o valor de p_l^* da camada de ancoragem de cada projeto. Na figura, é claramente visível que a grande maioria das camadas de ancoragem possui valores de p_l^* entre 1 MPa e 2 MPa, conforme indicado pelas linhas vermelhas no gráfico. O valor mínimo é de 0,9 MPa e o valor médio é de 1,6 MPa.

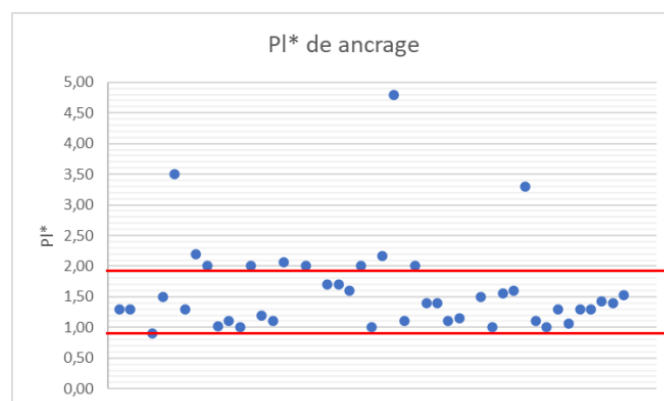


Figura 3: Valores de pressão limite da camada de ancoragem.

Em relação a velocidade de avanço do trado, chegou-se a um resultado para cada tipo de solo. Nos resultados para as aluviões, por exemplo, observamos um resultado linear. A velocidade diminui à medida que a pressão limite do solo aumenta.

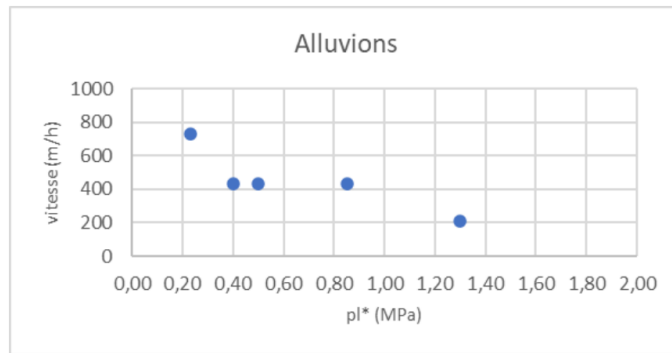


Figura 4: Variação da velocidade de avanço x pressão limite.

Os resultados para os outros tipos de solos mencionados no estudo podem ser encontrados de forma completa no documento original.

Conclusão

Esse estudo conseguiu aportar boas indicações em relação a velocidade de avanço que podem ser atingidas durante a execução de inclusões rígidas. Entretanto, seria impreciso calcular uma previsão de produtividade diária a partir dos valores encontrados, visto que, um número muito maior de variáveis influencia na produtividade da equipe. De toda forma, os dados encontrados restam bastantes úteis como fonte de comparação para futuras obras da empresa.

Fernando José SILVEIRA BARROS NEVES

Département Géotechnique et Génie Civil POLYTECH GRENOBLE

Rapport de Stage GGC5

KELLER FONDATIONS SPECIALES

Analyse de la vitesse d'avancement de l'outil tarières à refoulement en corrélation avec les valeurs de pression limite des essais pressiométriques.



Année universitaire 2022-2023

Stage de février à Aout 2023

Résumé

Dans le cadre de ma formation en Géotechnique et Génie Civil à Polytech Grenoble, j'ai eu l'opportunité d'effectuer un stage de fin d'études chez Keller Fondations Spéciales à Rungis (94). Pendant une durée de six mois, j'ai occupé le poste d'assistant ingénieur travaux au sein de l'agence de Paris.

Ce stage m'a offert l'occasion de travailler au sein d'une équipe dynamique, en participant à l'étude, la budgétisation, l'organisation et la mise en place de chantiers, ainsi qu'au suivi et à la réalisation des travaux. Tout au long de ce rapport, je m'efforce d'expliquer et de détailler les connaissances acquises durant cette période, tout en présentant de manière concise certains des chantiers auxquels j'ai eu la chance de participer.

Cette expérience m'a permis de me familiariser avec l'environnement professionnel d'une entreprise spécialisée dans les fondations spéciales et de comprendre le fonctionnement des travaux spéciaux. De plus, j'ai pu mettre en pratique les connaissances acquises au cours de ma dernière année à Polytech Grenoble.

Abstract

As part of my Geotechnical and Civil Engineering studies at Polytech Grenoble, I had the opportunity to complete a final internship at Keller Fondations Spéciales in Rungis (94). Over a period of six months, I held the position of assistant works engineer within the Paris office.

This internship provided me with the opportunity to work in a dynamic team, participating in project studies, budgeting, organization, and implementation of construction sites, as well as monitoring and project execution. Throughout this report, I strive to explain and detail the knowledge I acquired during this period, while providing a concise overview of some of the construction projects I had the privilege to be a part of.

This experience allowed me to become familiar with the professional environment of a specialized foundation company and gain an understanding of the operations involved in special works. Additionally, I was able to apply the knowledge I acquired during my final year at Polytech Grenoble.

Remerciements

Je suis très heureuse de conclure cette étape de ma formation. L'expérience d'avoir complété mes études en France a été une grande opportunité de croissance personnelle et professionnelle. Pendant cette période, j'ai pu approfondir mes connaissances dans un domaine qui m'était auparavant peu familier, la géotechnique. C'est pourquoi je tiens à remercier le professeur Arnaldo Carneiro, au nom de l'Université fédérale de Pernambuco et de la Capes, de m'avoir offert cette formation en double diplôme.

Je tiens à remercier ma famille pour leur soutien constant et pour avoir rendu possible ma formation actuelle. Je suis reconnaissant à tous mes amis qui ont été à mes côtés ces deux dernières années loin du Brésil et qui sont devenus ma deuxième famille. Je n'oublie pas non plus tous les amis qui sont restés au Brésil et qui ont toujours été présents.

Je tiens à remercier l'Université Polytech Grenoble ainsi qu'à tous ses professeurs pour les enseignements et le soutien qu'ils m'ont apporté au cours de ces deux années en France. Enfin, je souhaite remercier toute l'équipe de Keller, et en particulier l'agence de Paris, pour leur accueil chaleureux et le partage de leurs connaissances. J'adresse mes remerciements spéciaux à l'équipe d'ingénieurs composée d'Amine Yaïci, Camilo Gutierrez et Rima Arezki pour leur patience dans l'enseignement, le partage d'idées et leur amitié.

Table des Matières

Résumé	2
Abstract.....	2
Remerciements.....	3
Introduction	5
L'entreprise.....	6
Activités réalisées	7
Première partie : Mission entreprise.....	10
Présentation de la mission	10
Réunion avec ingénieur technico-commercial.....	12
Réunion avec ingénieur étude	15
Communication avec le client	16
Solutions proposées	16
Préparation du plan d'exécution.....	17
Préparation du budget travaux	19
Réalisation du chantier.....	21
Deuxième partie : Fil rouge et résultats.....	23
Introduction.....	23
Méthodologie	24
Objectif	24
Limites de l'étude	24
Collecte de données	25
Analyse des données	25
Présentation et Analyse des résultats.....	27
Bilan des compétences techniques acquises CTI.....	32
Bilan des compétences techniques acquises GGC.....	33
Bilan professionnel et personnel	34
Responsabilité sociétale en entreprise.....	35
Keller Women in Construction (KWIC)	35
Conclusion.....	36
Bibliographie	37
Annexes 1 : Plan d'implantation des inclusions rigides.....	38
Annexe 2 : Enregistrement des paramètres Serris	40

Introduction

Ce rapport a pour objectif de rendre compte de l'expérience de stage que j'ai eue entre les mois de février et août 2023, sur un total de 28 semaines de stage au sein de l'entreprise Keller Fondations Spéciales. Pendant cette période j'ai eu l'occasion d'observer différentes techniques utilisées par l'entreprise dans les types d'ouvrages les plus différents. Tout au long de ce rapport je partagerai les expériences qui ont été apprises.

Je vais commencer ce rapport en décrivant les activités réalisées lors de mon stage, ainsi que les missions accomplies pendant cette période. Dans la deuxième partie, je me concentrerai sur l'étude de la corrélation entre la vitesse d'avancement des outils tarières à refoulement et les valeurs de pression limite du sol.

Dans ce rapport, je me baserai principalement sur les connaissances acquises sur le terrain, les informations transmises par les ingénieurs, les techniciens et les ouvriers avec lesquels j'ai eu l'occasion d'échanger. De plus, j'utiliserai parfois des informations normatives ainsi que des images provenant des cahiers des charges et procédures d'exécution Keller afin d'illustrer les connaissances partagées.

L'entreprise

Créée en 1860 par Johann Keller, Keller Fondations Spéciales est une société spécialisée dans le vaste domaine des travaux spéciaux, plus spécifiquement des travaux de fondations profondes, soutènement, amélioration et renforcement de sol, injections et instrumentation et surveillance. Parmi les différents types de travaux réalisés, pour l'agence Paris, on peut citer notamment l'exécution de fondations sur pieux, l'amélioration de sol par inclusions rigides et la réalisation des parois pieux sécants et disjoints.

Keller est présent dans le monde entier, dans la [figure ci-dessous \(cf. figure 1\)](#), on voit Keller Amérique du Nord en jaune, Keller Europe en gris et Keller AMEA en bleu. Keller compte avec plus de 10 000 employés. En exécutant environ 6 000 contrats par an, d'une valeur moyenne de 500 milliers d'euros, pour un chiffre d'affaires global de trois milliards d'euros par an.

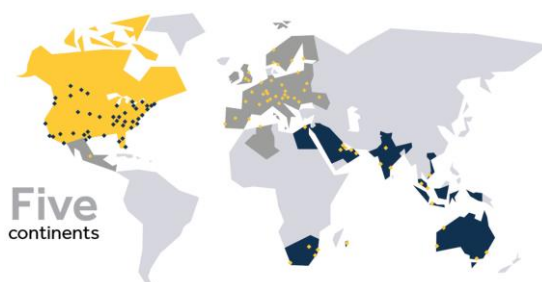


Figure 1 : L'emplacement des différentes agences Keller dans le monde
Source : site web www.keller-france.com

En France, Keller dispose de six agences : Paris, Lille, Lyon, Strasbourg, Aix-en-Provence et Bordeaux. En plus du siège de Keller France et de l'Europe du Sud-Ouest à Duttlenheim (67), à côté de Strasbourg.

Au sein de l'agence de Paris, nous avons un total de 11 employés au bureau. Dont trois ingénieurs travaux, un ingénieur travaux principal, un ingénieur étude, deux ingénieurs techno-commercial, un responsable de grand-travaux, une assistante de direction, un directeur d'agence et moi-même.

L'intégration avec l'équipe s'est déroulée très rapidement. Comme il s'agissait d'une très petite équipe dans le bureau, j'ai eu l'occasion de faire connaissance et de parler à tout le monde dès le début. Tous étaient très ouverts à l'échange et à l'enseigner. Je peux dire que je me sens à l'aise et intégrée dans l'équipe après ce période de stage.

Activités réalisées

Pendant mon stage, j'ai occupé le poste d'assistant ingénieur travaux. A ce titre, je me suis occupé de l'ensemble du processus de préparation des chantiers, de sa réalisation et enfin de la réalisation du dossier d'ouvrage exécuté (DOE).

Après la signature du marché entre le client et un ingénieur technico-commercial de Keller, une première réunion entre l'ingénieur technico-commercial, un ingénieur étude et moi-même, ingénieur travaux, est organisée. Cette réunion a pour but de transmettre toutes les informations relatives au marché et aux travaux à effectuer.

À partir de cela, il est de ma responsabilité d'être en contact avec le ci-après dénommé client. Ce client peut être la maîtrise d'œuvre (MOE), la maîtrise d'ouvrage (MOA), une entreprise titulaire du lot principal qui nous sous-traite, etc. La première activité à réaliser est de s'assurer que l'ingénieur en charge de l'étude dispose de toutes les informations nécessaires. Les informations minimales requises pour l'étude G3 Keller sont les plans de fondation du bâtiment, les charges qui atteignent la fondation (DDC), une étude de sol qui peut être une G2 PRO, une G2 AVP avec une synthèse de sol (sous réserve de validation de la synthèse géotechnique en phase exécution).

Une fois l'étude terminée et la note de calcul et le plan prêts, c'est le rôle de l'ingénieur travaux d'organiser tous les documents, matériaux, personnel et fournitures pour la réalisation du chantier. Un budget doit être établi pour contrôler toutes les dépenses qui seront engagées pendant les travaux. Ce budget doit être vérifié et approuvé par l'ingénieur travaux principal et le directeur de l'agence.

Nous pouvons observer qu'une grande partie du travail de l'ingénieur travaux se déroule avant que le chantier commence réellement. Le travail de consultation des différents fournisseurs, la préparation d'une équipe suffisante pour réaliser les travaux dans les délais requis, le soin apporté aux matériaux qui seront utilisés sur le chantier, l'évaluation des dangers qui peuvent être rencontrés sur le chantier. Toutes ces tâches sont essentielles au bon déroulement du projet.

Au cours de l'exécution des travaux, c'est à l'ingénieur de transmettre toutes les informations nécessaires à l'équipe que va être sur chantier. Pour les fondations, par

exemple, s'assurer que les pieux soient bien implantés, les bonnes profondeurs soient atteintes, si le béton est conforme à la formule établie et aux normes en vigueur, etc.

Toujours pendant le chantier, c'est le rôle de l'ingénieur travaux de contrôler toutes les dépenses qui sont faites et vérifier qu'elles sont conformes au budget établi. L'ingénieur doit contrôler toutes les factures envoyées par les fournisseurs et vérifier qu'elles sont conformes aux prix convenus et aux quantités correctes. Au fur et à mesure de l'avancement du chantier, l'ingénieur doit également s'occuper de la facturation du chantier. Envoyer et facturer le client au proportionnel de ce qui a déjà été fait par Keller, suivant les conditions du contrat.

A la fin des travaux, un rapport doit être fait : Dossier d'ouvrage exécuté (DOE). Ce dossier doit présenter tous les détails des travaux effectués. Matériaux utilisés, résultats des essais, plan de recollement avec l'emplacement exact des éléments exécutés, enregistrements des paramètres des pieux/ inclusions, synthèse des profondeurs de pieux, etc.

Nous observons que les tâches à accomplir par l'ingénieur sont vastes. Elles englobent à la fois des tâches techniques, des tâches de gestion et un suivi financier. De ce fait, l'ingénieur doit disposer de compétences interdisciplinaires pour accomplir ses missions.

Pendant la période de stage déjà réalisé, j'ai eu l'occasion de participer à différents chantiers en aidant les ingénieurs. Dont quatre chantiers d'inclusions rigides, deux chantiers de pieux et un chantier de paroi berlinoise. L'expérience acquise au cours de ces travaux m'a permis d'être actuellement responsable de trois chantiers, dont deux d'inclusions rigides et un de pieux.

Je présente [ci-dessous \(cf. figure 2\)](#) un tableau montrant les principales activités d'un ingénieur Keller et le temps consacré à chacune de ces activités :

Tâches		% du temps
Formations		5%
Préparations de chantiers	Synthèses et réunions avec ITP, IT, ITC, et IE	10%
	Contact avec les clients et demandes des documents	12,5%
	Préparation des documents nécessaires pour le chantier	20%
	Consultation des fournitures, transport et commandes	15%
Suivi des chantiers sur place	Implantations	2,5%
	Vérifications de travaux réalisées	20%
Après travaux	DOE	10%
	Facturation client	2,5%
	Facturation fournisseurs	2,5%

Figure 2 : Pourcentage de temps passé dans chaque activité.

Première partie : Mission entreprise

Présentation de la mission

L'objectif de cette première partie est de présenter plus en détail l'une des missions qui m'a été confiée au cours de mon stage. Expliquer clairement la mission, les choix effectués et les contributions apportées par le stagiaire. La mission traitée est le chantier *Domaine de Claye*, localisée à Serris (77).

La mission confiée par l'entreprise Keller était d'être en charge, en tant qu'ingénieur travaux, de l'amélioration des sols du chantier. Être responsable de toutes les missions décrites dans le chapitre précédent. Désormais, les activités réalisées seront décrites de manière plus personnalisée sur le chantier.

Le chantier *Domaine de Claye* consiste en la réalisation de 6 bâtiments à usage d'habitations collectifs. Ces bâtiments seront de type R+3 à R+4 avec un niveau de sous-sol. Le projet sera réalisé sur une parcelle d'une superficie de l'ordre de 7445,0 m².

Serris se trouve en banlieue Est de Paris, dans le département de Seine-et-Marne (77). La topographie du site est relativement plane ; elle se situe entre les cotes altimétriques de 130,9 à 132,0 NGF. Le site était occupé par un terrain agricole vierge et se situe dans un contexte de ZAC ou plusieurs lots seront à construire, comme nous l'observons dans la [figure ci-après \(cf. figure 3\)](#) :

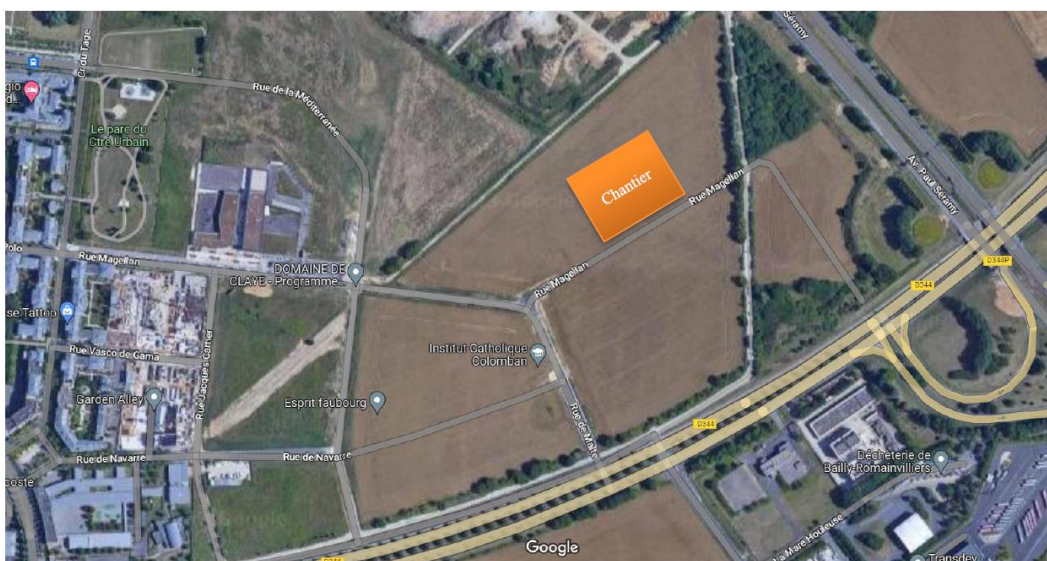


Figure 3 : Localisation du site
Source : Google Maps

L'étude de sol du projet a été réalisée par le bureau d'études géotechniques Semofi. Cette étude de site ainsi que les investigations géotechniques ont permis d'identifier un certain nombre de contraintes déterminantes dans le choix des méthodes d'exécution des fondations :

- La présence de terrains sous-consolidés et faiblement compacts (Limon des Plateaux) sur des épaisseurs importantes (de l'ordre de 6 m) ;
- La présence de terrains sensibles au phénomène de retrait-gonflement des argiles. (Argiles vertes) ;
- La présence de blocs au sein de la Formation de Brie, pouvant générer des hors profils lors des travaux de terrassement et des refus lors du forage des fondations spéciales ;
- La présence de la nappe à faible profondeur, 1.6 mètres de profondeur (130.4 NGF).

Les hypothèses géotechniques prises en compte définies par le bureau de sol, en phase projet, dans le cadre de sa mission G2-PRO, sont rappelées dans [le tableau ci-dessous \(cf. figure 4\)](#). Le tableau met en évidence la présence d'une couche de limons suivie d'une formation de brie et d'argile :

Cotes		Profondeurs / TN		Faciès	p_i^*	E_M	α	E_{oed}	Courbe	γ	ϕ'	c'
[NGF]		[m]		[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]	[kN/m ³]	[°]	[kPa]
132.0	125.5	0.0	6.5	Limons des plateaux	0.4	4.7	2/3	7.0	Q1	19.0	25.0	0.0
125.5	124.0	6.5	8.0	Formation de Brie altérée	0.8	8.8	2/3	13.2	Q1	20.0	30.0	5.0
124.0	118.5	8.0	13.5	Formation de Brie saine	1.4	16.9	2/3	25.3	Q1	20.0	30.0	5.0
118.5	113.0	13.5	19.0	Argiles Vertes	1.4	24.0	2/3	36.0	Q1	20.0	30.0	15.0
113.0	> 111.0	19.0	21.0	Marnes supragypseuses	2.2	20.5	1/2	40.1	Q4	20.0	30.0	15.0

Figure 4 : Tableau de synthèse du sol
 Source : Note de calcul Keller

Au vu du contexte géotechnique du site, une solution de fondations superficielles par l'intermédiaire de semelles isolées et filantes reposants sur un renforcement de sol par inclusions rigides est envisagée pour le projet.

L'objet du renforcement par inclusions rigides est de conférer au sol renforcé des caractéristiques mécaniques suffisantes pour permettre la réalisation des semelles dans des conditions acceptables de stabilité et de tassements.

En concurrence avec d'autres entreprises, Keller a été le gagnant et responsable de la réalisation des inclusions rigides. A partir de ce moment, c'est que mon travail, en tant qu'ingénieur travaux Keller du chantier, a commencé.

Réunion avec ingénieur technico-commercial

Après la vente du chantier, une réunion a eu lieu avec l'ingénieur technico-commercial responsable de la vente afin de présenter en détail tous les aspects de l'ouvrage en question. Lors de cette réunion, les informations de base du chantier ont été abordées en premier lieu :

1. Informations sur le client et les autres intervenants ;
2. Valeurs du contrat ;
3. Dates de début prévues ;
4. Technique à utiliser ;
5. Prestations incluses ;
6. Prédimensionnement effectué.

Il a été mentionné qu'il s'agissait d'un chantier où nous effectuerions des inclusions rigides sous structure. Cette méthode est considérée comme un type de fondation mixte, où les renforcements sont directement en contact avec les semelles de fondation.

L'inclusion rigide est un procédé de renforcement des sols qui consiste à utiliser des inclusions en béton, réalisées dans différents types de terrains, y compris les sols très compressibles et organiques, dans le but de réduire les tassements et d'augmenter la capacité portante.

Souvent, les inclusions rigides sont confondues avec les pieux. Les inclusions travaillent conjointement avec les semelles pour fournir la portance nécessaire au bâtiment. Dans le cas des pieux, les massifs de fondation ne contribuent pas à la portance, les pieux étant les seuls éléments de fondation. C'est là la grande différence entre les deux techniques. De plus, dans la plupart des cas, les inclusions ne sont pas liées par des armatures aux semelles.

En général, on utilise une tarière à refoulement pour descendre jusqu'à la profondeur prévue. Le béton est ensuite versé dans l'empreinte laissée par l'outil au fur et à mesure de sa remontée. La tarière à refoulement, contrairement à une tarière conventionnelle qui expulse le sol excavé vers la surface, comprime le sol excavé sur les côtés. Dans [la figure ci-dessous \(cf. figure 5\)](#), on voit un schéma d'une tarière à refoulement. On peut remarquer qu'il y a une partie centrale lisse et plus épaisse que le reste de la tarière, c'est précisément cette partie qui est responsable du refoulement du sol. Cela permet un plus grand frottement latéral avec le sol, en plus de ne pas produire de déblais considérables.

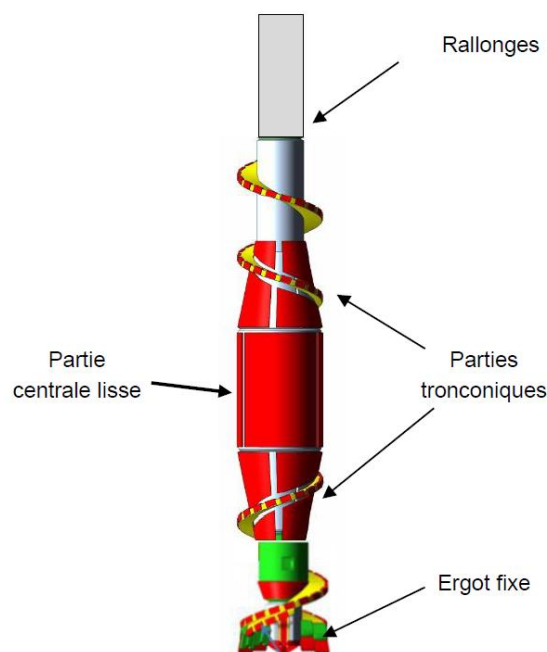


Figure 5 : Principe du refoulement du sol par l'outil INSER®
Source : Cahier des charges Keller (2023). Renforcement de sol par inclusions rigides

Dans [l'image ci-dessous \(cf. figure 6\)](#), on peut observer que les inclusions rigides sont en contact direct avec les semelles, ce qui signifie qu'il n'y a pas de couche intermédiaire pour répartir les charges (matelas de répartition). Les dimensionnements de cette technique sont déterminées conformément aux spécifications détaillées du cahier des charges de Keller.

Encore dans la [figure ci-dessous \(cf. figure 6\)](#), on voit les différents niveaux de plateforme à partir desquels les inclusions seront réalisées, ainsi que le niveau auquel l'ancrage doit être effectué.

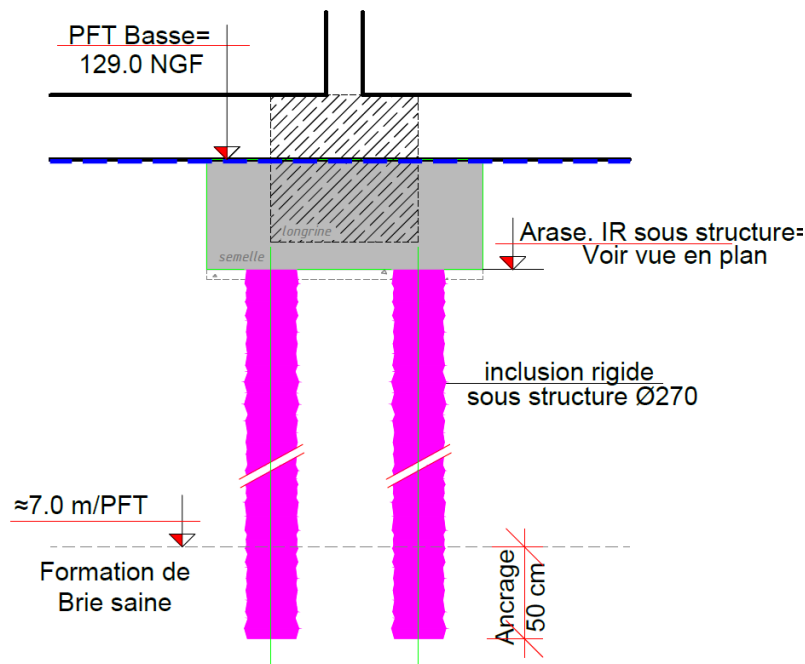


Figure 6 : Schéma de fonctionnement d'une fondation mixte de semelle et d'inclusion.
Source : Note de calcul Keller

Ensuite, quelques particularités du chantier ont été expliquées :

Tout d'abord, en raison de la présence d'un sous-sol, une solution de soutènement utilisant la technique des voiles par passe (VPP) était envisagée pour le chantier. Keller n'était pas responsable de l'exécution de ces travaux, cependant la réalisation des VPP interfère directement dans l'exécution des inclusions rigides. Keller devait donc être force de proposition pour que ces travaux se déroulent de la meilleure des façons sans que la coactivité des lots devienne un problème lors des travaux.

La présence des VPP entraîne une nécessité d'intervention en deux phases de la part de Keller. En effet, les contreforts (bracons / boutons) et les semelles provisoires qui assurent le maintien des VPP pendant leur exécution empêcheraient la circulation et l'approche de la foreuse à proximité des VPP.

Pour cette raison, toutes les inclusions situées dans le périmètre des VPP devraient être réalisées à partir d'une plateforme au niveau actuel du terrain. Tandis que les inclusions plus éloignées des VPP pourraient être exécutées à partir d'une plateforme au niveau du sous-sol du bâtiment.

Deuxièmement, la particularité mentionnée précédemment entraîne une autre particularité. La réalisation des renforcements à partir d'une plateforme au niveau naturel du terrain pour les semelles qui se trouveront en dessous du niveau du sous-

sol. Étant donné que le sous-sol a une profondeur d'environ 3 mètres, les inclusions doivent être arasées à une profondeur de plus de 3 mètres. Le procédé traditionnel d'arasement avec une louche devient impossible dans cette situation.

En plus, le sous-sol du bâtiment présente une légère dénivellation, ce qui conduit à des semelles à des niveaux différents dans différentes zones. Cela se traduit par plusieurs niveaux d'arasement différents, ce qui nécessite une grande attention lors de la réalisation des inclusions.

Enfin, la présence d'une nappe phréatique à 2 mètres de profondeur nécessite l'utilisation de pompes pour rabattre le niveau de la nappe pendant la deuxième phase des travaux. La présence d'eau sur la plateforme peut poser des difficultés pour l'implantation des inclusions et leur arasement.

Réunion avec ingénieur étude

Ma première mission concrètement réalisée a été l'organisation de la réunion avec l'ingénieur étude, chargé d'établir les calculs des inclusions rigides. Lors de cette réunion, je dois transmettre toutes les informations du projet, mais d'un point de vue axé sur le dimensionnement des renforcements.

Afin de préparer la réunion, il a tout d'abord fallu étudier attentivement toutes les informations disponibles sur le projet. Il était essentiel de bien connaître le projet ainsi que les réalisations déjà effectuées, afin de communiquer de manière précise toutes les informations nécessaires pour les calculs.

Finalement, pour la réunion, j'ai réalisé un résumé clair de toutes les informations les plus importantes requises :

1. Présentation de G2Pro déjà effectuée par le bureau géotechnique.
2. Présentation des sondages et synthèse du sol retenue.
3. Niveau des deux plateformes à réaliser.
4. Charges fournies par le bureau de structure.
5. Prédimensionnement effectué par l'ingénieur technico-commercial.

Communication avec le client

En parallèle de l'étude du projet à réaliser et de la préparation de la réunion avec l'ingénieur d'études, j'ai commencé à communiquer avec le client et les autres intervenants du chantier. Dans un chantier comme celui-ci, qui comporte différentes phases, la communication avec les différents intervenants est essentielle.

Tout au long de la préparation et de la réalisation du chantier, plusieurs réunions ont été organisées entre la maîtrise d'ouvrage, le gros œuvre, le responsable VRD et VPP, ainsi que Keller.

Pendant ces réunions, toutes les particularités du chantier ont été mises en évidence et des discussions ont eu lieu pour trouver les meilleures solutions possibles afin de réaliser le chantier de manière optimale.

Solutions proposées

Comme mentionné précédemment, le chantier devait être réalisé en deux phases car les inclusions à proximité des VPP ne pouvaient pas être réalisées à partir du sous-sol en raison de la présence des bracons et des semelles temporaires de soutien des VPP. Ainsi, ces inclusions devaient être réalisées à partir du niveau naturel du terrain, ce qui nécessitait un arasement de plus de 3 mètres d'inclusion.

La technique conventionnelle la plus courante pour l'arasement des inclusions consiste à retirer le béton encore frais jusqu'à la cote d'arasement juste après le bétonnage. Le retrait est effectué à l'aide d'une louche en béton, on peut voir dans la [figure ci-dessous \(cf. figure 7\)](#) le moment où un employé de Keller effectue l'arasement en utilisant cette méthode.



Figure 7 : Réalisation d'un arasement avec une louche en béton.
Source : Archive personnel.

Après le bétonnage de l'inclusion, toute la terre autour du trou doit être enlevée à l'aide d'une pelle, puis un ouvrier vient retirer le béton encore frais, laissant le béton au niveau final d'arasement. Cette technique n'est réalisée que si la cote d'arasement est jusqu'à un maximum de 1,2 mètre de profondeur par rapport la plateforme, au-delà de cela, le retrait devient difficile à réaliser manuellement et extrêmement long.

La solution que nous avons proposée était d'utiliser des bastaings en bois pour faciliter l'arasement des inclusions. Dans ce cas, après le bétonnage, un bastaing en bois de 3 mètres serait placé à l'intérieur de l'inclusion, et le niveau supérieur serait contrôlé pour laisser le niveau inférieur du bastaing au même niveau que la cote d'arasement. De cette manière, au fur et à mesure des terrassements, l'inclusion pourrait être facilement brisée et après avoir brisé toute la partie en bois, l'inclusion serait à la cote d'arasement correcte.

Préparation du plan d'exécution

En raison des deux phases d'intervention différentes, il était également nécessaire de prêter une attention particulière au plan d'implantation des inclusions. Il était nécessaire de signaler clairement quelles inclusions pouvaient être laissées pour être réalisées à partir de la plateforme basse et quelles inclusions devaient être réalisées à partir de la plateforme au niveau naturel du terrain.

À cet effet, un travail commun a été réalisé avec le responsable des excavations du terrain, l'exécution des VPP et moi-même. Les plans contenant les contours de la

plateforme haute et de la plateforme basse ont été superposés à notre plan d'implantation des inclusions. Sur la [figure ci-dessous \(cf. figure 8\)](#), on voit une ligne bleue qui représente la plateforme basse et une ligne rose qui représente la plateforme haute.

Toutes les inclusions situées à l'intérieur de la ligne bleue pouvaient être réalisées lors de la deuxième phase. Toutes les inclusions situées à l'extérieur de cette ligne devaient être réalisées lors de la première phase. Le plan complet peut être visualisé dans [l'annexe 1](#).

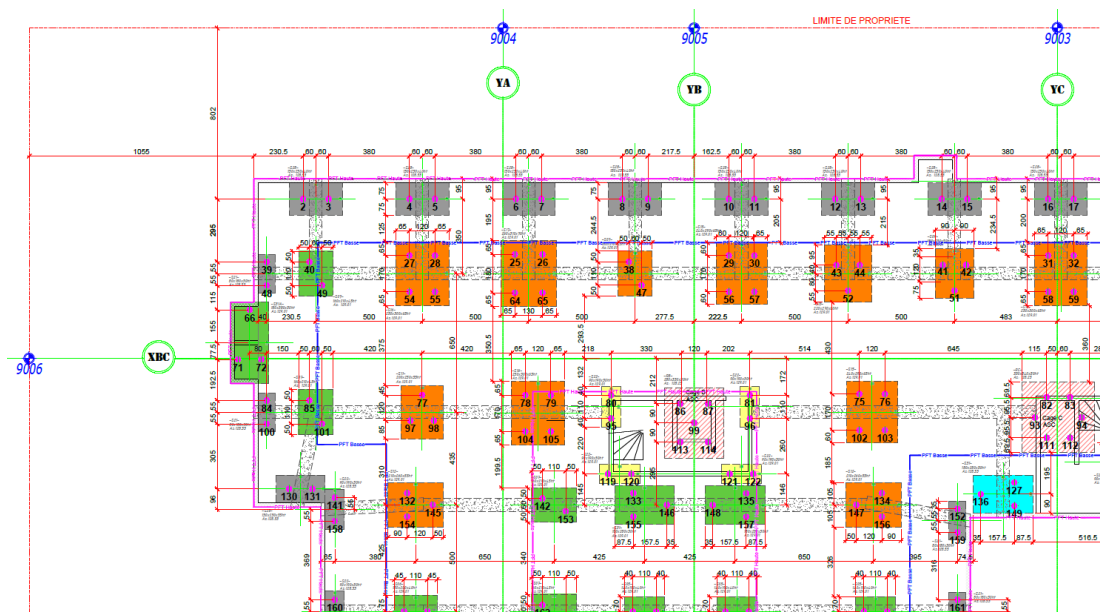


Figure 8 : Extrait du plan d'implantation des inclusions rigides du chantier de Serris.
Source : Plan d'implantation chantier Serris.

Une autre question importante sur le plan était d'indiquer le niveau d'arasement de chaque inclusion. Pour cela, à partir du plan de fondation, j'ai créé un tableau Excel avec la cote de base de chaque semelle. Cette cote de base devait correspondre exactement au niveau d'arasement des inclusions. Après l'élaboration du tableau, on a identifié un total de 79 niveaux d'arasement différents, variant entre 131,6 m NGF et 127,10 m NGF. Cela rendrait l'exécution de l'arasement un travail très long et compliqué, car il faudrait indiquer sur le plan le niveau exact de chaque inclusion.

Pour simplifier le travail d'arasement, les niveaux d'arasement ont été regroupés en 11 groupes différents, dans lesquels les inclusions auraient une variation maximale de 15 centimètres par rapport au niveau réel. Ces différents niveaux ont été

représentés par des hachures qui peuvent être visualisées dans le [tableau ci-dessous](#) (cf. figure 9) :

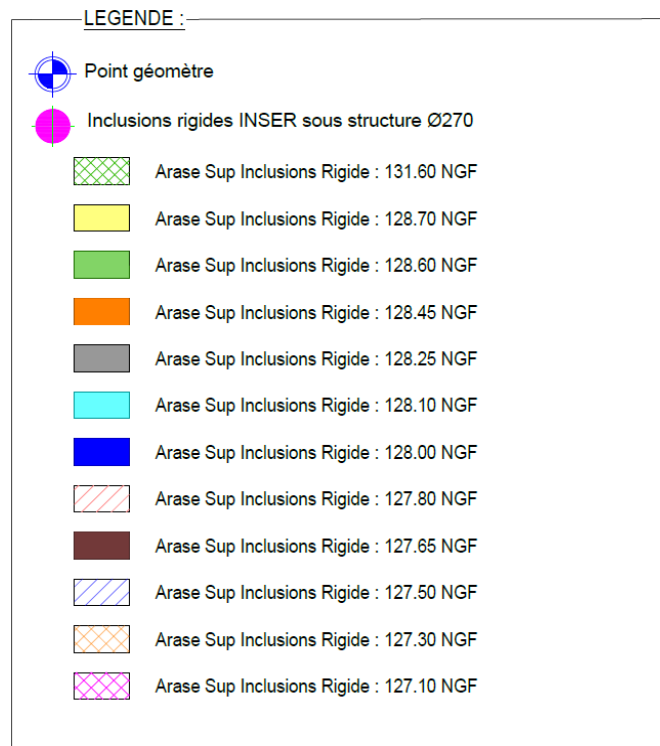


Figure 9 : Niveaux d'arase des inclusions
Source : Plan d'implantation chantier Serris.

Préparation du budget travaux

La prochaine étape pour la réalisation du chantier était l'établissement d'un budget travaux. Pendant la phase de vente et de négociation du chantier, il incombe à l'ingénieur technique-commercial d'établir un budget commercial prévoyant les coûts du chantier. Après la vente, l'ingénieur travaux doit revoir ce budget en tenant compte des conditions réelles définies par la note de calcul, le plan d'implantation et les prix réels des différentes offres de matériaux et d'équipements.

Pour cette phase, j'ai réalisé une série de devis pour différents matériaux : béton, bastaings en bois, location de pelles et de nacelles. Au cours de ce processus, il a été nécessaire d'analyser non seulement le prix des matériaux, mais aussi plusieurs autres facteurs tels que le délai de livraison, les conditions de paiement, la distance entre la centrale à béton et le chantier, entre autres.

Pendant les travaux, il est essentiel que la centrale à béton ne soit pas trop éloignée du chantier. Parfois, des centrales plus éloignées peuvent offrir un meilleur

prix, mais le temps perdu dans le transport peut avoir un impact direct sur la production et risquer des retours de béton en raison de la prise prématurée.

L'un des points cruciaux pour l'établissement du budget travaux est l'analyse des rendements possibles sur le chantier. Les facteurs qui font varier la quantité d'inclusions réalisées en une journée seront discutés plus en détail dans la deuxième partie de ce rapport. Ce qu'il est important de mentionner à ce stade, c'est que le coût du chantier est significativement impacté en fonction de la productivité et donc du nombre de jours passés sur le chantier.

Le graphique ci-dessous (cf. figure 10) montre les pourcentages exacts trouvés lors de l'établissement du budget travaux. Lors de mon analyse pour le chantier de Serris, le coût du personnel, pris l'atelier de forage et les locations externes, représente environ 42% de la valeur du chantier. Ces coûts dépendent précisément du nombre de jours passés pour réaliser les travaux. Les autres coûts peuvent être considérés comme fixes et ne dépendent pas du nombre de jours passés sur le chantier : matériaux, assurances, transport des foreuses, essais, etc.

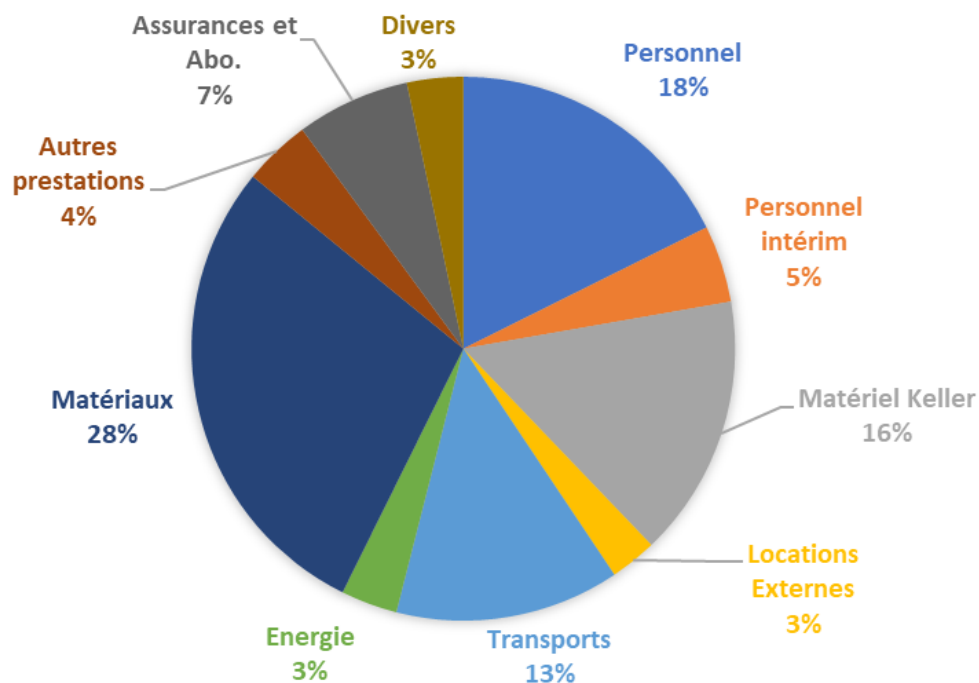


Figure 10 : Pourcentage des coûts pour la réalisation du projet.
Source : Feuille de calcul Excel budget travaux Keller.

Réalisation du chantier

Pendant la réalisation du chantier, il est du rôle de l'ingénieur d'orienter l'équipe responsable de l'exécution des inclusions. C'est pourquoi la présence de l'ingénieur le premier jour est essentielle pour que les travaux se déroulent de la meilleure manière possible. En général, l'ingénieur est le seul à avoir déjà été sur le chantier et connaît tous les détails du projet :

- Emplacement où les matériaux doivent être déchargés ;
- Emplacement de l'installation du bungalow et du container de matériaux ;
- Raccordements d'eau et d'énergie ;
- Règles générales de travail sur le chantier.

Après le déchargement de tous les matériaux sur le chantier, le montage de la foreuse a été réalisé. Pendant le transport, toutes les pièces qui sont connectées au bras de la foreuse sont démontées : table de rotation, rallonges, tarières, etc. Pour le chantier à Serris, une LRB125 (cf. figure 11), une foreuse fabriquée par l'entreprise Liebherr, a été utilisée. Dans la figure, on voit le moment d'exécution d'une inclusion rigide, une rallonge de 9 mètres et des tarières à refoulement de 270 mm ont été utilisées.

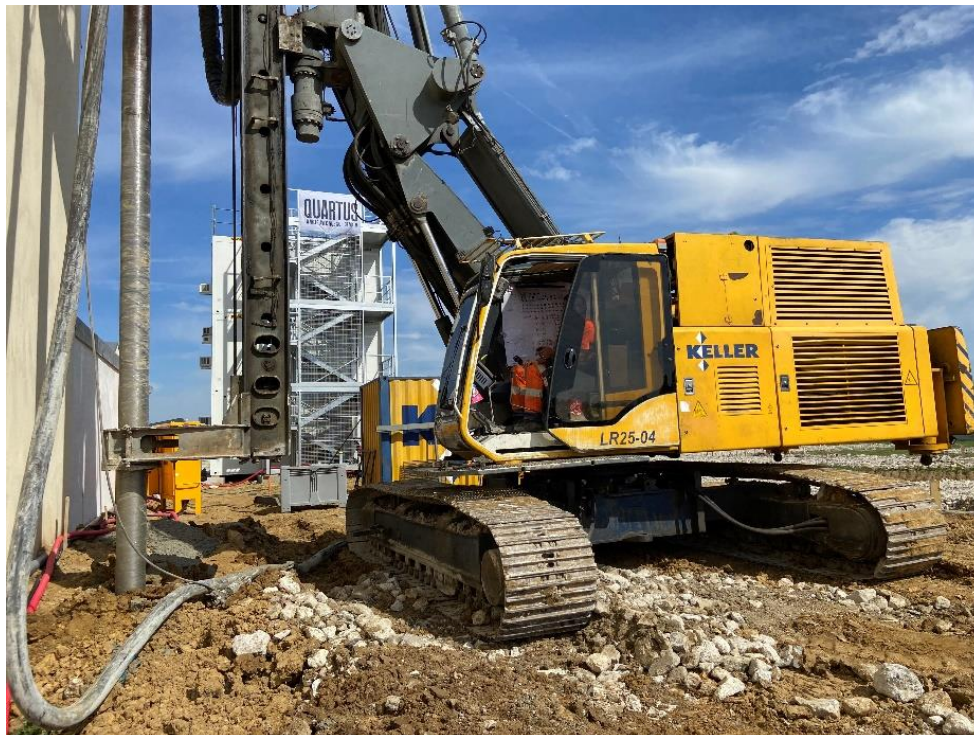


Figure 11 : LRB125 réalisant une inclusion rigide à Serris.
Source : archive personnelle

Avec l'équipement monté, toute l'équipe a été instruite pour réaliser les inclusions à la profondeur requise par le projet. L'objectif était d'atteindre la couche de formation de Brie qui se trouvait à environ 7 mètres de profondeur par rapport à la plateforme au niveau du terrain.

De la même manière, plusieurs autres informations sont transmises au chef de chantier :

1. Coordonnées de la centrale à béton et formulation du béton.
2. Délai prévu d'exécution.
3. Contacts des différents intervenants.
4. Risques sur le chantier.
5. Essais à réaliser.
6. Profondeurs d'arasement.
7. Présence de réseaux sur le chantier.
8. Informations sur l'évacuation des déblais.

Au cours des travaux, le rôle principal de l'ingénieur est de s'assurer que toutes les recommandations du projet sont suivies. Pour cela, j'ai utilisé la fonction d'enregistrement des paramètres de la foreuse pour suivre l'exécution des inclusions. Comme on peut le voir dans [l'annexe 2](#), pour chaque inclusion, on constate qu'en pénétrant dans la couche d'ancrage, la vitesse d'avancement de la foreuse diminue et le couple de rotation augmente. C'est l'indicateur fondamental que l'opérateur doit observer pour respecter les profondeurs du projet.

Deuxième partie : Fil rouge et résultats

Introduction

La deuxième partie de ce rapport vise à présenter la recherche portant sur le thème "Analyse de la vitesse d'avancement de l'outil tarière à refoulement en corrélation avec les valeurs de pression limite des essais pressiométriques".

Dans cette étude, nous avons examiné de près la relation entre la vitesse d'avancement de l'outil tarière à refoulement et les valeurs de pression limite obtenues à partir des essais pressiométriques. L'outil tarière à refoulement est largement utilisé dans le domaine des fondations profondes, et il est essentiel de comprendre comment sa vitesse d'avancement peut être corrélée aux caractéristiques pressiométriques des sols.

L'essai pressiométrique est l'essai le plus réalisé en France lorsqu'il s'agit de réaliser des fondations profondes. Et les ingénieurs étude sont déjà bien familiarisés avec les valeurs de pression limite obtenues lors de ces essais.

Grâce à ces études, nous avons pu établir des recommandations préliminaires sur les plages de vitesses d'avancement moyennes à utiliser en fonction des valeurs de pression limite et type de sol. Cela pourrait fournir aux ingénieurs travaux et technico-commerciaux des indications précieuses pour prévoir la productivité des chantiers d'inclusions rigides.

Cependant, il convient de souligner que cette étude est une première approche et qu'elle ouvre la voie à des recherches plus approfondies. D'autres facteurs tels que la composition des sols, les conditions environnementales, la puissance des foreuses et les caractéristiques spécifiques des outils tarières peuvent également influencer la corrélation entre la vitesse d'avancement et les valeurs de pression limite.

Dans la suite de ce rapport, nous présenterons en détail notre méthodologie de recherche, les résultats obtenus et les recommandations préliminaires pour l'utilisation de l'outil tarière à refoulement en fonction des valeurs de pression limite.

Nous espérons que cette recherche contribuera à l'avancement des connaissances dans le domaine des fondations profondes et offrira des perspectives intéressantes pour les futurs projets de construction et d'ingénierie.

Méthodologie

Objectif

L'objectif de l'étude est de trouver les moyennes de la vitesse d'avancement de l'outil tarière à refoulement pour chaque type de sol et sa valeur de pression limite.

Aussi, créer un outil Excel capable de prédire la vitesse moyenne d'exécution d'une inclusion en fonction du type de sol du terrain. Ainsi, il sera possible d'estimer le temps total prévu pour la réalisation d'un chantier donné.

Limites de l'étude

Tout d'abord, il est important de comprendre que plusieurs facteurs influencent la vitesse d'avancement des outils de forage à refoulement. L'un des principaux facteurs est la résistance à la rupture du sol, mesurée par la pression limite équivalente p_l^* , ainsi que le type de sol. Ces deux facteurs seront étudiés lors de cette recherche. Cependant, d'autres facteurs qui influencent également la vitesse ne seront pas directement abordés :

- Diamètre de la tarière : Comme on peut s'y attendre, des tarières de diamètres différents auront des vitesses d'avancement différentes pour un même type de sol. Les tarières de plus grand diamètre auront naturellement plus de difficulté à pénétrer le sol par rapport aux tarières de plus petit diamètre. Pour ce projet, il a été décidé d'étudier les chantiers qui utilisaient des tarières de diamètre 270 mm, car ce diamètre est utilisé dans plus de 90% des chantiers d'inclusions rigides.

- Puissance du moteur : Keller dispose de plusieurs foreuses différentes qui réalisent les travaux d'inclusions rigides, par exemple les LRB 125, LRB 18, LRB 24, Enteco. Naturellement, chacune de ces foreuses a une puissance de moteur différente, associée à des tables de rotation différentes. C'est pourquoi les travaux réalisés avec des foreuses différentes sur un même terrain n'ont pas présenté les mêmes vitesses d'avancement.

- Opérateur : Le facteur humain peut également être décisif, car il y a toujours un opérateur qui contrôle la foreuse, et différents opérateurs peuvent agir de manière différente face à un même sol, en exerçant plus ou moins de pression sur la foreuse. C'est un facteur que nous ne pouvons pas contrôler tout au long de notre recherche.

Collecte de données

Les données utilisées tout au long de cette étude ont été extraites des chantiers de l'agence Keller Île-de-France elle-même. Toutes les inclusions réalisées ont des valeurs de vitesse d'avancement, de couple de rotation, de pression de béton, de volume de béton, etc., enregistrées et peuvent être analysées pendant et après l'exécution des inclusions.

Une vaste liste de travaux d'inclusions rigides a été réalisée ces dernières années, totalisant 147 chantiers au cours des 5 dernières années, chacun de ces chantiers comprenant plusieurs inclusions rigides réalisées dans différents types de sol. Ces chantiers se trouvent principalement dans la région Île-de-France, comme on peut le voir sur [la figure ci-dessous \(figure 12\)](#), avec quelques chantiers réalisés dans d'autres régions.

Région	Nb	%
Normandie	21	14%
Bretagne	1	1%
Bourgogne	1	1%
Pays-de-la-Loire	4	3%
IF	105	71%
Centre	10	7%
Nord	5	3%

Figure 12 : Quantité et pourcentage de travaux réalisés dans chaque région.

Analyse des données

Tous les paramètres enregistrés lors du forage des inclusions peuvent être lus à partir du programme Jean Lutz. Ce programme permet la visualisation, la synthèse et l'analyse de tous les paramètres enregistrés. De plus, à partir de ce programme, il est possible de transférer les données vers d'autres programmes, ce qui permet de réaliser des analyses plus complexes.

Pour l'analyse des données, un tableau Excel a été créé avec le découpage type de chacun des chantiers réalisés. Pour chaque chantier, la ville, le nom, la profondeur, les différentes couches, le pl^* respectif et en vert la couche dans laquelle l'inclusion rigide devait être ancrée ont été identifiés.

Ce tableau a permis d'avoir une vue d'ensemble des principaux types de sols avec les valeurs moyennes de pl^* des couches d'ancrage. À partir de ce tableau, les chantiers qui devaient être analysés ont été sélectionnés pour trouver les valeurs

moyennes de vitesse pour chaque type de sol. Un total de six types de sols différents ont été étudiés au cours de l'étude : sables, argiles, limons, marne, alluvions, craie. Au moins trois chantiers différents ont été étudiés pour chacun de ces sols.

Une fois les chantiers à étudier définis, l'analyse de chacun d'entre eux a été réalisée. Pour chaque chantier, une analyse visuelle de la vitesse d'avancement des différentes inclusions réalisées a été effectuée en premier lieu. Cette analyse permet d'observer rapidement s'il est possible d'identifier les différentes couches décrites dans la synthèse du sol du projet. Pour de nombreux sols, les vitesses varient considérablement entre les différentes couches, tandis que pour d'autres, la différenciation des différentes couches est plus subtile.

Au cours de cette analyse, on remarque que le comportement des sols est hétérogène, car pour de nombreuses inclusions qui sont très proches les unes des autres, les vitesses peuvent varier de manière significative. De plus, des variations brusques de vitesse sont couramment observées. Ces variations peuvent être liées à des pierres dans le sol, à des points durs, à des objets inconnus ou même à l'opérateur.

Ensuite, pour chaque chantier analysé, un fichier Excel a été créé dans lequel les valeurs de vitesse brute de chaque inclusion ont été copiées. Ce tableau permet de calculer les moyennes de vitesse pour chaque couche du sol. Ainsi, une vitesse moyenne peut être associée à un certain type de sol et à un certain pl*.

Enfin, ces différentes moyennes trouvées ont été regroupées dans un tableau récapitulatif qui sera présenté et discuté dans le prochain chapitre de cette étude.

Présentation et Analyse des résultats

Parmi les 147 chantiers d'inclusions rigides réalisés par l'agence de Paris au cours des 5 dernières années, ont été analysés la synthèse de la coupe de sols de 47 chantiers. L'analyse a révélé la présence de plus de 40 types de sols différents, Ces sols ont été regroupés en 10 grands groupes différents. :

1. Remblais
2. Sables
3. Argiles
4. Limons
5. Alluvions
6. Colluvions
7. Marne
8. Calcaire
9. Craie
10. Schiste

Cette première analyse m'a permis de trouver des données intéressantes concernant les valeurs de pl^* trouvées dans les couches d'ancrage des inclusions. On peut voir dans [la figure ci-dessous \(cf. figure 13\)](#) la valeur de pl^* de la couche d'ancrage de chaque chantier. Dans la figure, il est clairement visible que la grande majorité des couches d'ancrage ont des valeurs de pl^* comprises entre 1 MPa et 2 Mpa, indiquées par les lignes rouges sur le graphique. La valeur minimale étant de 0,9 MPa et la valeur moyenne étant de 1,6 MPa.

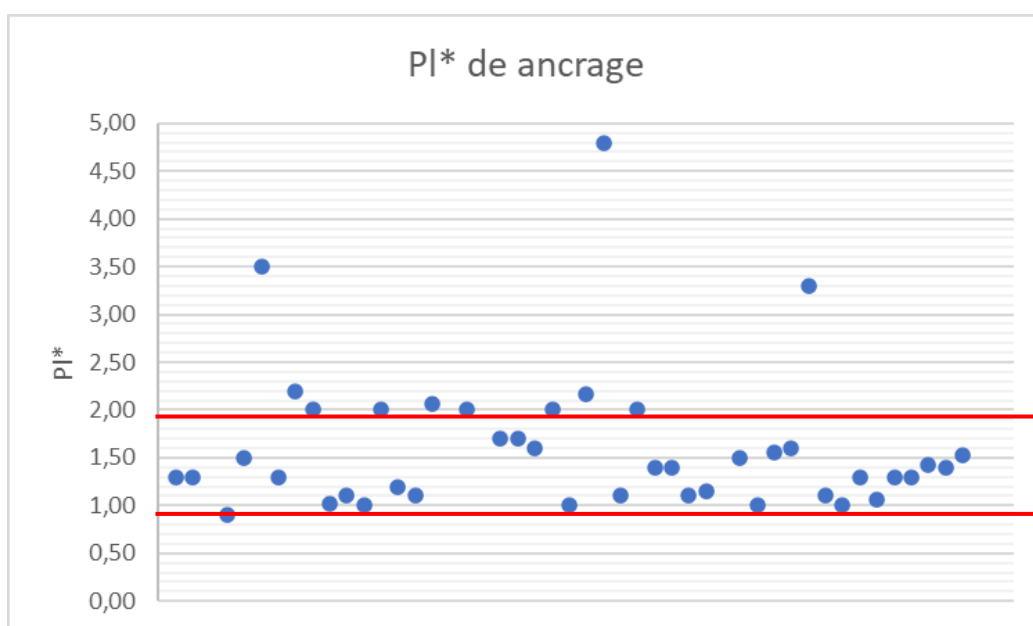


Figure 13 : PI^* de la couche d'ancrage de chaque chantier

Parmi les 47 chantiers, 15 ont été sélectionnés pour l'étude des enregistrements de paramètres. Le critère de choix des chantiers était que ces chantiers aient le plus grand nombre possible de couches différentes afin de générer la plus grande quantité de données. À partir des chantiers analysés, il a été possible d'extraire des données sur 7 des 10 grands groupes de sol établis précédemment. Les autres sols ne contenaient pas suffisamment de données dans les 15 chantiers étudiés. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de graphique dans les figures suivantes.

Dans les résultats pour les alluvions ([cf. figure 14](#)), nous observons un résultat très cohérent et linéaire. La vitesse diminue de manière linéaire à mesure que la pression limite du sol augmente.

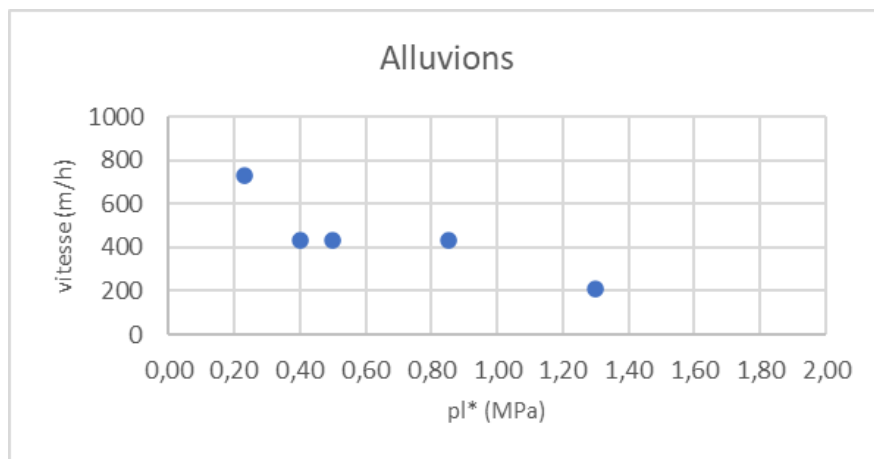


Figure 14 : graphique de la vitesse d'avancement x pl^* pour les Alluvions

Les résultats pour les argiles ([cf. figure 15](#)) se comportent de manière similaire, avec une diminution de la vitesse à mesure que la pression limite augmente. En comparaison avec les alluvions, les valeurs de pl^* trouvées dans les argiles sont plus élevées, mais les vitesses semblent similaires pour les mêmes valeurs de pl^* .

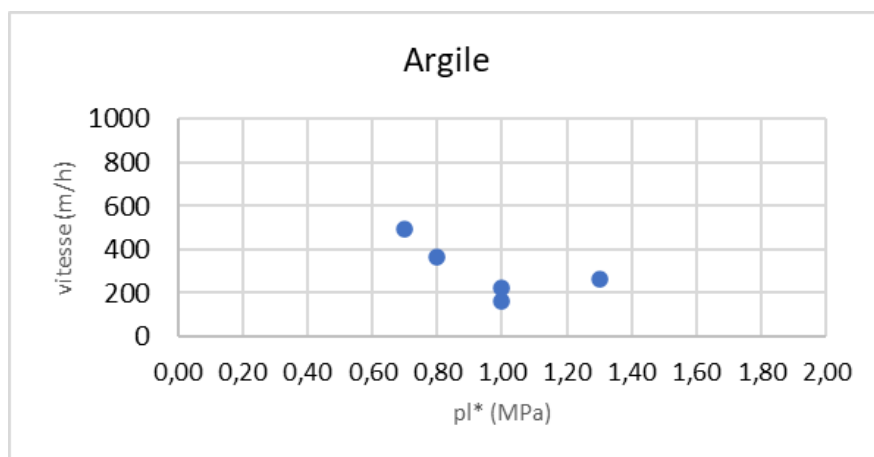


Figure 15 : graphique de la vitesse d'avancement x pl^* pour les Argiles

De manière générale, les résultats pour les sables (cf. figure 16) se révèlent également logiques. Cependant, nous constatons un point de vitesse qui semble assez élevé pour une valeur de pl^* de 1,8 MPa. Il est possible que la valeur de la pression limite annoncée dans la synthèse du sol ne corresponde pas à la réalité du sol dans lequel les inclusions ont été réalisées.

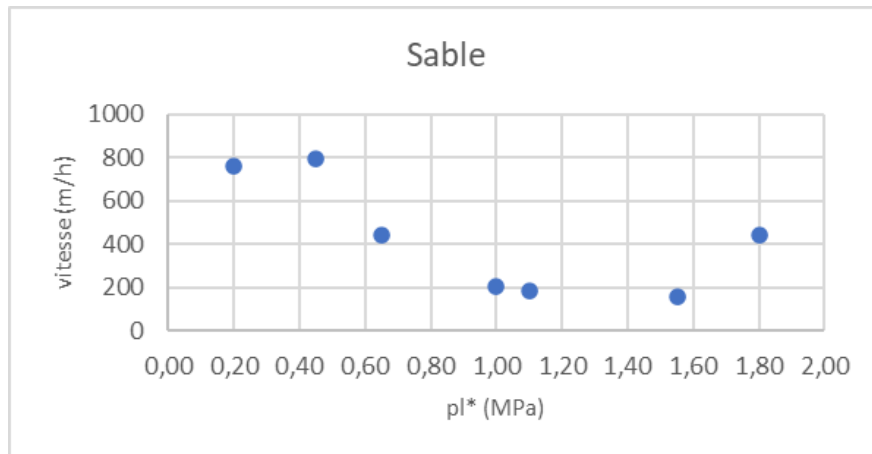


Figure 16 : graphique de la vitesse d'avancement x pl^* pour les Sables

Pour les sols de Marne (cf. figure 17), nous constatons des valeurs de pl^* assez élevées, variant entre 0,6 MPa et 2 MPa. Malgré ces valeurs élevées, la vitesse d'avancement est assez élevée pour un pl^* de 0,6 MPa, comparée aux sols sableux et argileux.

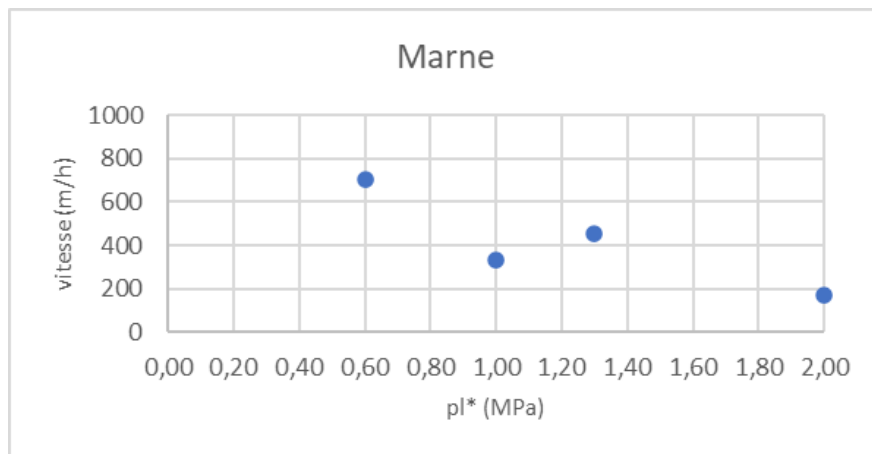


Figure 17 : graphique de la vitesse d'avancement x pl^* pour les Marnes

Les résultats pour les sols limoneux (cf. figure 18) se sont révélés assez surprenants. La vitesse d'avancement augmente pour les sols avec des valeurs de pl^* plus élevées. À première vue, ces résultats ne peuvent pas être expliqués. Une étude plus approfondie sur différents chantiers serait nécessaire pour observer si cette tendance se maintiendrait.

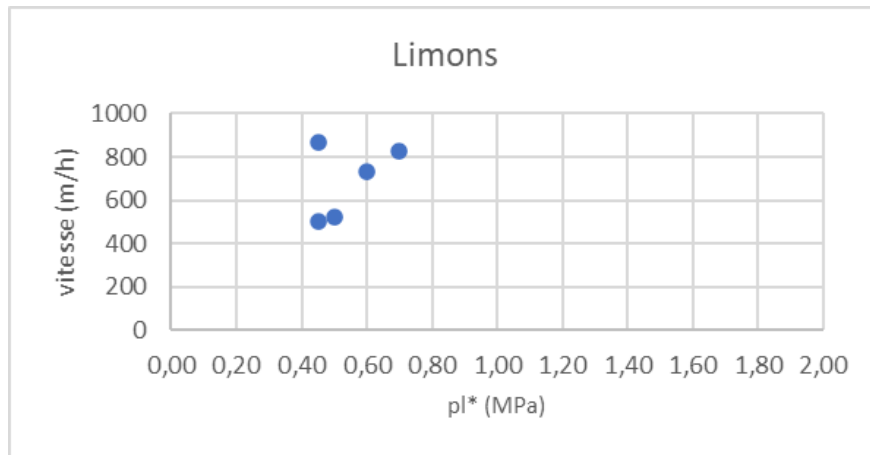


Figure 18 : graphique de la vitesse d'avancement x pl^* pour les Limons

Les résultats pour la craie (cf. figure 19) se révèlent également un peu contre-intuitifs. Les valeurs de vitesse restent constantes pour des valeurs de pl^* assez différentes. Il serait nécessaire d'effectuer des analyses supplémentaires pour vérifier si cette tendance se maintiendrait sur un échantillon plus large. Quoiqu'il en soit, il est possible de dire que la vitesse dans la craie est assez élevée par rapport à d'autres sols.

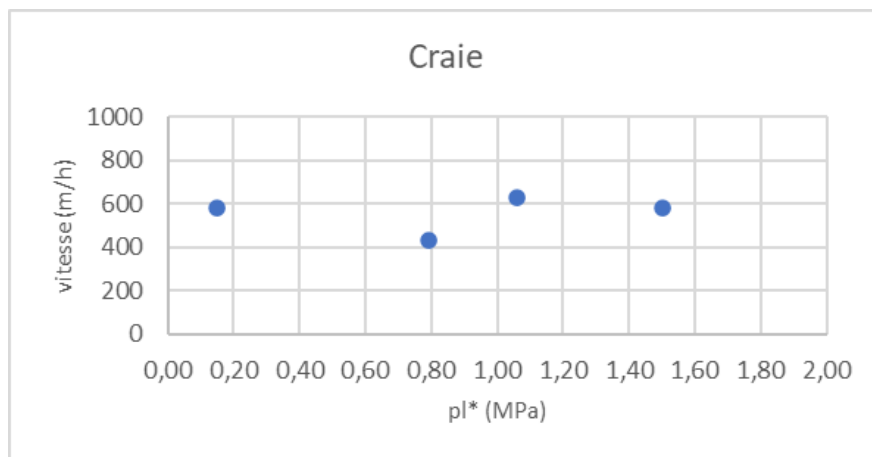


Figure 19 : graphique de la vitesse d'avancement x pl^* pour les Craies

Enfin, je présente les résultats obtenus pour les remblais (cf. figure 20). Les remblais peuvent être constitués de plusieurs types de sols différents, ce qui rend leur classification peu spécifique. Cependant, un résultat logique est observé : la vitesse diminue avec l'augmentation de la valeur de pl^* .

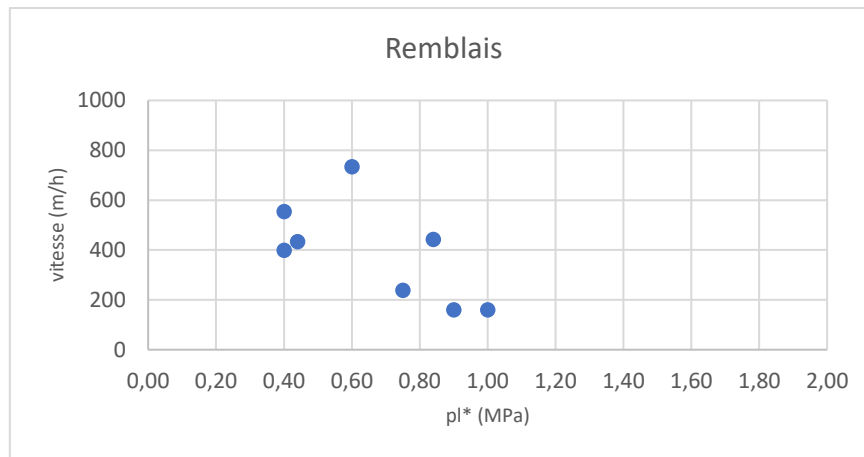


Figure 20 : graphique de la vitesse d'avancement x pl^* pour les Remblais

De manière générale, les données se sont révélées logiques et intuitives pour la plupart des sols. Cependant, on peut observer une grande dispersion de ces données. Comme mentionné au début de cette deuxième partie, de nombreux facteurs peuvent influencer la vitesse de progression de la tarière à refoulement, le sol n'étant qu'un de ces facteurs.

L'analyse de plus de chantiers pourrait fournir des données plus concluantes, mais en même temps, l'analyse de la vitesse moyenne n'est pas si simple. Au cours de mes analyses, j'ai remarqué que souvent, les inclusions côte à côte présentaient des valeurs de vitesse très différentes. De plus, la définition d'une seule valeur de pl^* pour une couche de sol ne reflète pas la réalité.

En conclusion, je pense que cette étude apporte de bonnes indications sur les vitesses de progression qui peuvent être atteintes dans chaque type de sol. Cependant, il serait assez imprécis de calculer une prévision de productivité quotidienne à partir des valeurs trouvées dans l'étude. Les données restent utiles comme source de comparaison pour les futurs chantiers, où des vitesses très faibles peuvent être identifiées en les comparant aux données de l'étude.

Les méthodes actuellement utilisées, en tenant compte d'un volume maximum de béton par jour ou d'une quantité maximale de mètres linéaires réalisés, restent plus précises pour prévoir la productivité d'un chantier.

Bilan des compétences techniques acquises CTI

Le travail d'un ingénieur travaux est multidisciplinaire. Il est essentiel que l'ingénieur comprenne différents sujets, couvrant des aspects techniques, financiers et interpersonnels. Pendant ma période de stage, j'ai développé différents domaines de connaissances. Comme mentionné dans les objectifs de formation des ingénieurs : la connaissance et la compréhension d'un large champ de scientifique fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée.

Bien que je ne sois pas responsable du développement des notes de calcul, il est nécessaire que l'ingénieur travaux les comprenne et soit capable de vérifier et, si nécessaire, de corriger d'éventuelles erreurs. Connaître l'exécution correcte des techniques est également essentiel, tout en maintenant la qualité et les exigences d'un chantier Keller. À cet égard, divers cours suivis lors de ma formation à Polytech ont été essentiels.

De même, l'ingénieur doit maîtriser les aspects financiers, l'établissement d'un budget et la compréhension du fonctionnement de l'entreprise sont essentiels pour obtenir des chantiers rentables. Enfin, la communication avec les différentes parties prenantes est fondamentale pour le bon déroulement de tous les travaux, et c'est l'un des principaux domaines dans lesquels je dois me développer.

Bilan des compétences techniques acquises GGC

En analysant les activités que j'ai réalisées pendant la période de stage, il est possible d'identifier principalement deux compétences acquises :

- Compétence 4 de l'ingénieur géotechnique : Gérer un projet

La préparation de différents chantiers m'a indéniablement permis d'acquérir des compétences telles que la préparation d'un budget et la garantie de la rentabilité économique, la compréhension des contraintes et des attentes d'un marché, ainsi que la maîtrise des outils de planification et de suivi. Avoir un budget pour un projet donné est essentiel pour vérifier d'abord si les attentes de dépenses sont cohérentes avec les attentes commerciales.

- Compétence 5 de l'ingénieur géotechnique : Suivre l'exécution des travaux géotechniques

De la même manière, lors de l'exécution des chantiers, il était nécessaire de suivre attentivement les différentes phases d'exécution, de contrôler la qualité de l'exécution et de s'assurer que les coûts étaient conformes aux coûts définis dans le budget travaux. L'interaction avec les différents intervenants, les clients et surtout avec l'équipe du bureau et du chantier de Keller m'a permis de développer mes compétences en communication, en gestion d'équipe, en pratique de l'écoute active, ainsi que de développer des capacités d'empathie.

Bilan professionnel et personnel

Je suis ravi d'avoir eu l'opportunité d'effectuer un stage de fin d'études de 6 mois à l'entreprise Keller Fondations Spéciales. Ce stage a été une expérience extrêmement enrichissante sur les plans professionnel et personnel, me permettant de développer mes compétences et d'explorer de nouveaux domaines.

Sur le plan professionnel, ce stage m'a offert l'occasion de travailler au sein d'une entreprise renommée dans le domaine des fondations spéciales. J'ai été exposé à divers projets et ai pu acquérir une solide compréhension des processus et des techniques utilisées dans le secteur de la construction. J'ai été impliqué dans des tâches variées, telles que l'analyse des plans, la participation à des réunions avec l'équipe de projet et la coordination avec les fournisseurs. Cette expérience pratique m'a permis de consolider mes connaissances théoriques et de développer des compétences pratiques essentielles pour ma future carrière.

En travaillant au sein de l'équipe de Keller Fondations Spéciales, j'ai également pu observer de près la culture d'entreprise axée sur la qualité, l'innovation et le professionnalisme. J'ai été impressionné par l'engagement de l'entreprise envers la sécurité, l'environnement et la satisfaction du client. J'ai pu collaborer avec des professionnels talentueux et expérimentés, qui ont été une source d'inspiration et de mentorat pour moi tout au long de mon stage.

D'un point de vue personnel, ce stage m'a permis de me développer en tant qu'individu. J'ai appris à m'adapter à un environnement de travail dynamique et à gérer efficacement mon temps et mes priorités. J'ai également renforcé mes compétences en communication et en travail d'équipe, en travaillant en étroite collaboration avec mes collègues sur divers projets. Cette expérience m'a également donné l'occasion de me confronter à des défis et de développer ma résilience et ma capacité à résoudre des problèmes.

Responsabilité sociétale en entreprise

La responsabilité sociale des entreprises (RSE) fait référence à l'engagement des entreprises envers le bien-être de la société dans laquelle elles opèrent. Elle englobe divers aspects, tels que la protection de l'environnement, le respect des droits de l'homme, le soutien aux communautés locales et la promotion d'une économie durable.

Les entreprises qui adoptent la RSE s'efforcent de minimiser leur impact négatif sur l'environnement en mettant en œuvre des pratiques durables, en réduisant les émissions de carbone et en favorisant l'utilisation des énergies renouvelables. Elles veillent également à respecter les droits fondamentaux des travailleurs, à promouvoir l'égalité des chances et à contribuer au développement des communautés locales par le biais de programmes de responsabilité sociale.

Keller Women in Construction (KWIC)

KWIC désigne Keller Women in Construction, une nouvelle initiative à l'échelle de l'entreprise annoncée en 2020. Son objectif est de fournir des opportunités aux femmes pour partager leurs pensées, ressources et idées afin de promouvoir leur développement professionnel au sein de l'organisation et de l'industrie de la construction.

KWIC est conçu pour renforcer l'engagement de Keller envers un environnement de travail diversifié et inclusif. Il sponsorisera divers événements tels que des webinaires, des fonctions de réseautage, du mentorat et des actions de sensibilisation communautaire dans les écoles locales. KWIC est ouvert à toute personne intéressée à soutenir l'avancement des rôles des femmes au sein de l'organisation. L'initiative a reçu un soutien et un intérêt positifs, dans le but de créer un environnement de soutien où les femmes se sentent valorisées, respectées et entendues.



Conclusion

En conclusion, mon stage de fin d'études à Keller Fondations Spéciales a été une expérience exceptionnelle à la fois sur le plan professionnel et personnel. J'ai acquis des connaissances précieuses, des compétences pratiques et une meilleure compréhension de l'industrie de la construction. Je suis reconnaissant envers toute l'équipe pour leur soutien et leur encadrement pendant cette période.

Ce stage a renforcé ma motivation à poursuivre une carrière dans ce domaine et je suis convaincu que les compétences et l'expérience acquises seront un atout précieux dans ma vie professionnelle future. Je remercie une nouvelle fois l'équipe de Keller et leur souhaite plein succès dans la continuation de leur travail.

Bibliographie

1. Cahier des charges Keller (2023). Renforcement de sol par inclusions rigides, cas particuliers des semelles mixtes et radiers mixtes. Édition 6.2 du 15 février 2023.
2. Semofi (2023). Mission Géotechnique de Conception Phase G2 PRO C21-15799 – Pièce 02. Du 31 août 2023.
3. Keller (2023). NDC EXE 350 22 221826. Du 22 mars 2023.

Annexes 1 : Plan d'implantation des inclusions rigides

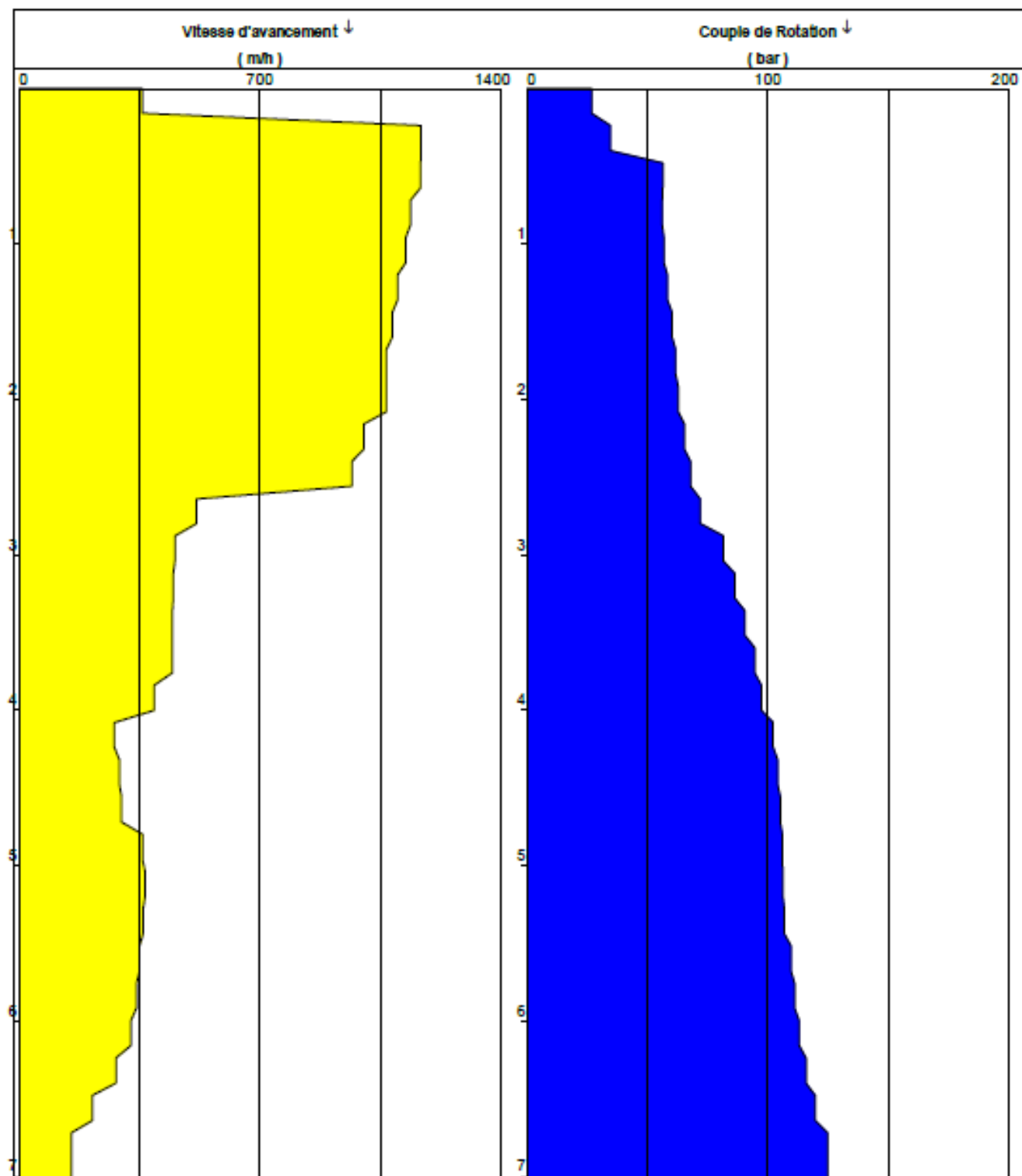


Annexe 2 : Enregistrement des paramètres Serris

 KELLER	SERRIS (Contrat : 221826) Pieu à la tarière continue	
	Date : 04/05/2023 Début forage : 09:50:52 Début bétonnage : 09:52:37 Fin pieu : 09:53:34 Machine : LRB125 4	Diamètre pieu : 0,300 m Longueur Pieu : 7,03 m Volume Béton : 0,540 m3 Surconsommation : 17 % Inclinaison X;Y : -0,5;0,3 °

Pieu : 551 (1)

EXTCT 5.77/TG2TCT251FR



JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

DOS DU RAPPORT

Etudiant (nom et prénom) : SILVEIRA BARROS NEVES Fernando José

Année d'étude dans la spécialité : GGC5

Entreprise : Keller Fondations Spéciales

Adresse complète : 38 Rue du Séminaire, 94150 Rungis

Téléphone (standard) : 01 41 73 33 33

Responsable administratif (nom et fonction) : Laure CARPANEN, HR Manager SWE

Téléphone : +33 06 08 92 52 22

Courriel : laure.carpanen@keller.com

Tuteur de stage (organisme d'accueil) : Amine YAICI, Ingénieur Travaux Principal

Téléphone : +33 06 60 21 59 61

Courriel : amine.yaici@keller.com

Enseignant-référent : Florent Vieux-Champagne

Téléphone :

Courriel : florent.vieux-champagne@univ-grenoble-alpes.fr

Titre : Analyse de la vitesse d'avancement de l'outil tarières à refoulement en corrélation avec les valeurs de pression limite des essais pressiométriques.

Résumé : Dans le cadre de ma formation en Géotechnique et Génie Civil à Polytech Grenoble, j'ai eu l'opportunité d'effectuer un stage de fin d'études chez Keller Fondations Spéciales à Rungis (94). Pendant une durée de six mois, j'ai occupé le poste d'assistant ingénieur travaux au sein de l'agence de Paris.

Ce stage m'a offert l'occasion de travailler au sein d'une équipe dynamique, en participant à l'étude, la budgétisation, l'organisation et la mise en place de chantiers, ainsi qu'au suivi et à la réalisation des travaux. Tout au long de ce rapport, je m'efforce d'expliquer et de détailler les connaissances acquises durant cette période, tout en présentant de manière concise certains des chantiers auxquels j'ai eu la chance de participer.

Cette expérience m'a permis de me familiariser avec l'environnement professionnel d'une entreprise spécialisée dans les fondations spéciales et de comprendre le fonctionnement des travaux spéciaux. De plus, j'ai pu mettre en pratique les connaissances acquises au cours de ma dernière année à Polytech Grenoble.