

SAUVAGNON (64)

Création d'une aire de fret PROJET ARES

SDIS BORDEAUX



*Renforcement de sol par
Inclusions rigides*

Devis n° 25.03.45

Mémoire technique et méthodologique

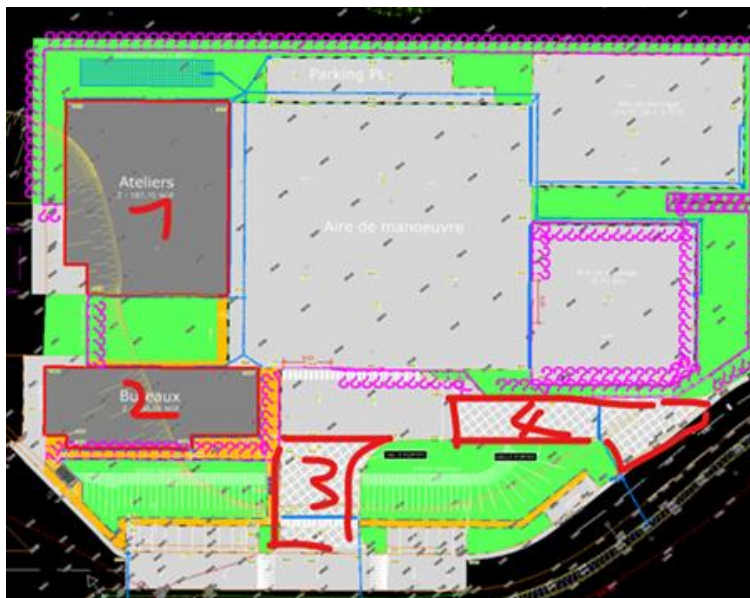
Dans le cadre du projet de construction d'une aire de fret au sein du PFA de Pau sur la commune de SAUVAGNON (64), comme demandé nous vous proposons une solution de **renforcement du sol par inclusions rigides sous fondations et dallages des Bâtiments (Bureaux et Atelier) et sous les rampes en enrobés (repérées ci-dessous).**

Nous avons prévu aucune disposition particulière vis-à-vis de la proximité avec l'aéroport.

1) PRESENTATION SOMMAIRE DU PROJET

Le projet prévoit la construction d'une aire de fret comprenant :

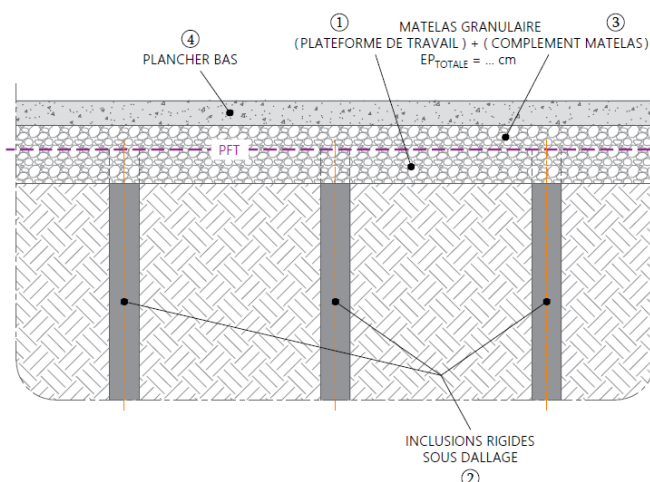
- Un bâtiment de bureaux (zone 2) – Le niveau 0 = 188m NGF. La surcharge sur le dallage est de 400kg/m².
- Un bâtiment Atelier (zone 1) – Le niveau 0 = 187.70m NGF. La surcharge sur le dallage est de 2t/m² à l'ELS.
- Une aire de manœuvre.
- Des aires de stockage.
- Des rampes d'accès (zones 3 et 4).



Nous avons prévu d'intervenir depuis une plateforme de travail en GNT carrossable (EV2>30MPa) par tout temps par nos engins de chantier (40 tonnes) et les camions toupies.

Nous avons supposé intervenir à -0.4m du niveau 0.

Le matelas de répartition doit est réalisé en 2 phases :



2) CONDITIONS GE/OTECHNIQUES

Au moment de la reconnaissance du sol, l'eau a été rencontrée à faible profondeur.

- Aucune sujétion de pompage de l'eau de la plateforme n'est prévue dans notre offre.
- Suivant l'analyse de l'agressivité de l'eau vis-à-vis du béton, l'environnement n'est pas agressif (< XA1). Notre offre ne prévoit donc aucune sujétion particulière sur les formules de béton utilisées. **Notre béton sera de type X0.**

Selon la réglementation sismique en vigueur depuis le 01 Mai 2011, la commune est située en **zone sismique 3.**

Nous avons supposé le bâtiment en **catégorie d'importance II.**

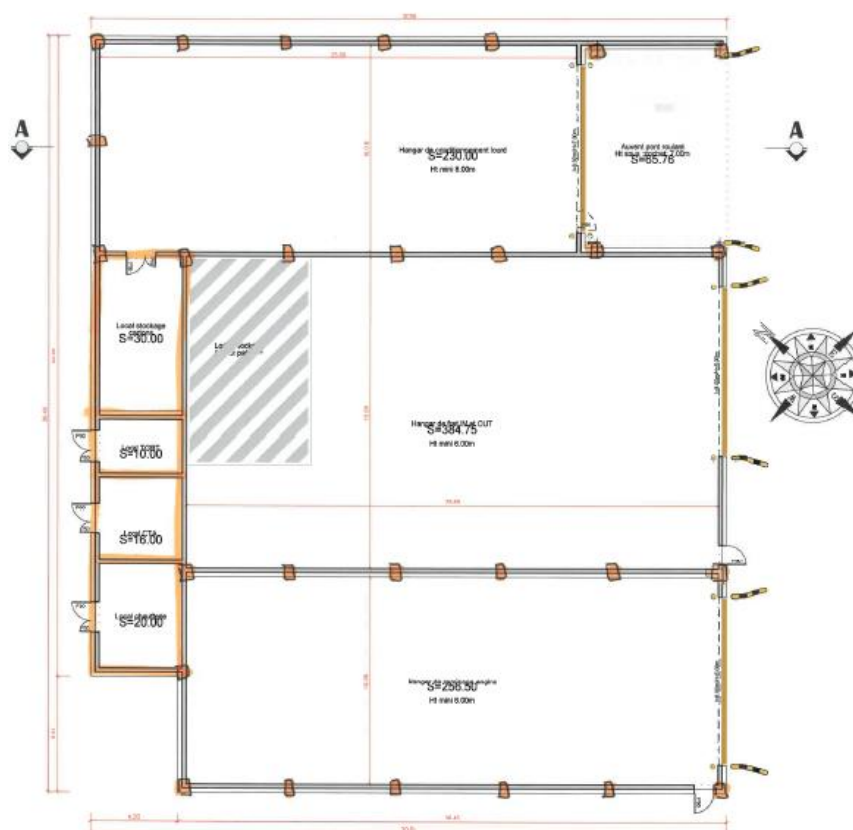
- ➔ **Par conséquent, les nouvelles réglementations sismiques sont applicables pour ce projet : un matelas de répartition doit être mis en œuvre entre les fondations et les inclusions rigides.**

3) SOLUTION PROPOSEE

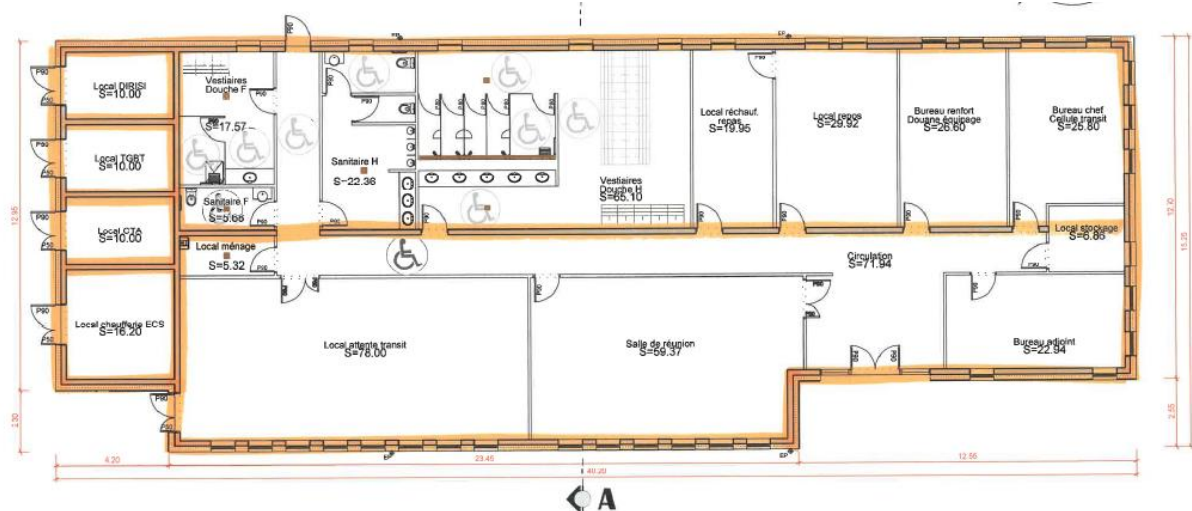
Nous vous proposons une solution de renforcement de sol obtenue par un réseau d'inclusions rigides de diamètre 300mm sous les fondations et dallages sur terre-plein des bâtiments (zones 1 et 2) et sous les rampes (zones 3 et 4).

Après renforcement de sol, la contrainte de sol sous fondations sera de 2.0 bars à l'ELS et le tassement absolu sera inférieur ou égal à 20mm.

Nous avons prévu des inclusions sous les fondations repérées ci-dessous :



Fondations en orange du Bâtiment Atelier



Semelles filantes en orange du Bâtiment Bureaux

4) DIMENSIONNEMENT

4.1. Caractéristiques principales des inclusions

Nous avons prévu de réaliser des inclusions de diamètre 300mm ancrées dans les argiles +/- sablo-graveleuses U3.

Bâtiment Atelier (SP1 – SP2 ₀₁)										
Unité lithologique	Prof. base (m/TA)		Nb val.	E _M (MPa)			p _i * (MPa)			Classe de sols EC7
	SP1	SP2 ₀₁		Min	Max	Moy h	Min	Max	Moy h	
U1/ Limons argileux [marron foncé] à rares cailloutis et galets	3,0	2,9	4	4,3	7,7	5,2	0,38	0,94	0,47	<u>Sols intermédiaires</u> * Argiles et limons mous à fermes
U2/ Argiles+/- limono-graveleuses saturées [marron/gris] à quelques galets	4,0	3,9	2	3,1	8,6	4,5	0,37	1,13	0,55	<u>Sols intermédiaires</u> * Argiles et limons fermes
U3/ Argiles +/- sablo-graveleuses [marron clair/beige] saturées	12,0	10,0	10	7,4	23,1	12,4	0,90	2,31	1,33	<u>Sols intermédiaires</u> * Argiles et limons raides

Bâtiment Bureaux + Aires de manoeuvre et de stockage (SP2 à SP3 – SP1 ₀₁)											
	Prof. base (m/TA)			Nb val.	E _m (MPa)			p _i * (MPa)			Classe de sols EC7
	SP2	SP3	SP2 ₀₁		Min	Max	Moy h	Min	Max	Moy h	
Unité lithologique											
U1/ Limons argileux [marron foncé] à rares cailloutis et galets	2,0	2,0	2,0	3	4,3	12,6	6,4	0,39	0,86	0,59	<u>Sols intermédiaires</u> * Argiles et limons mous à fermes
U2/ Argiles+/- limono-graveleuses saturées [marron/gris] à quelques galets	2,8	-	3,5	3	2,6	5,4	3,4	0,31	0,65	0,38	<u>Sols intermédiaires</u> * Argiles et limons mous
U3/ Argiles +/- sablo-graveleuses [marron clair/beige] saturées	12,0	8,0	10,0	17	6,3	85,0	13,7	0,70	3,97	1,35	<u>Sols intermédiaires</u> * Argiles et limons raides

4.2. Renforcement sous fondations

L'objectif de ce renforcement est une limitation des tassements absolus à 20 mm et des tassements différentiels au 1/500° sous une contrainte de référence de **2.0 bars à l'ELS** appliquée par les semelles superficielles tout en respectant les dimensions minimales (à raison d'une inclusion par tranche de 25 T environ, et en considérant un entraxe de 4 diamètres entre inclusions) :

- Pour une inclusion : 80 x 80 cm,
- Pour deux inclusions : 80 x 170 cm ou 135 x 135 cm,
- Pour 3 inclusions : 135 x 220 cm,
- Pour 4 inclusions : 170 x 170 cm,
- Semelles filantes : Largeur minimale de 50 cm,

Dès que la charge verticale est supérieure à 15 tonnes, il y a lieu de positionner 2 inclusions sous massif. Soit un massif de 1.35 x 1.35m ou 0.80m x 1.70m.

Compte tenu de la zone sismique et de la catégorie d'importance du bâtiment, un matelas de répartition doit être réalisé entre les inclusions et les fondations.

Les matelas de répartition sous fondations doivent avoir la géométrie minimale suivante :

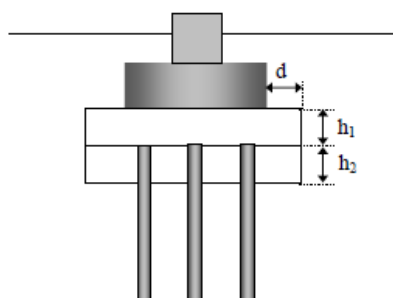


Figure 1- 47 : Dimension du matelas

Pour l'application des conditions proposées dans ce tableau, il est entendu que les vérifications de portance, de tassement et d'intégrité des inclusions ont été effectuées.

Suivant la catégorie d'importance des ouvrages et la classe de sismicité, les dimensions minimales (h_1 , h_2 et d) des matelas de répartition sont données dans le tableau suivant (Figure 1- 48).

	Catégories d'importance II	Catégorie d'importance III	Catégorie d'importance IV
Zones sismiques	3 à 5	2 à 5	2 à 5
h_1	50	50	$\text{Max}(\Phi ; 50 \text{ cm})$
h_2^*	$\text{min}(\text{diam} ; 50 \text{ cm})$	$\text{Min}(\Phi ; 50 \text{ cm})$	$\text{Min}(\Phi ; 50 \text{ cm})$
d	1 Φ	2 Φ	$\Phi + 50 \text{ cm}$

Figure 1- 48 : Caractéristiques dimensionnelles du matelas

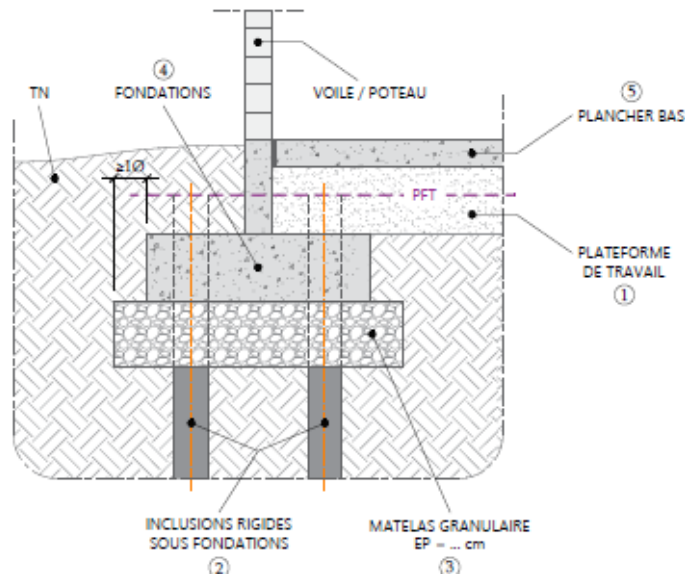
Ce matelas doit être de $h_1 + h_2$ cm d'épaisseur ($h_1=50\text{cm}$) sous les fondations et avoir un débord de 1Φ soit 30cm par rapport à la fondation.

$h_2 = 0$ si :

Commentaire : h_2 est égal à 0 si V_{ed}/N_{ed} est inférieur ou égal à 0,5 (V_{ed} est l'effort horizontal de dimensionnement et N_{ed} est l'effort vertical de dimensionnement).*

- La réalisation de ce matelas n'est pas prévue dans notre offre.

INCLUSIONS RIGIDES SOUS FONDATIONS (AVEC MATELAS , DEBORD 10)



4.3. Renforcement sous dallage

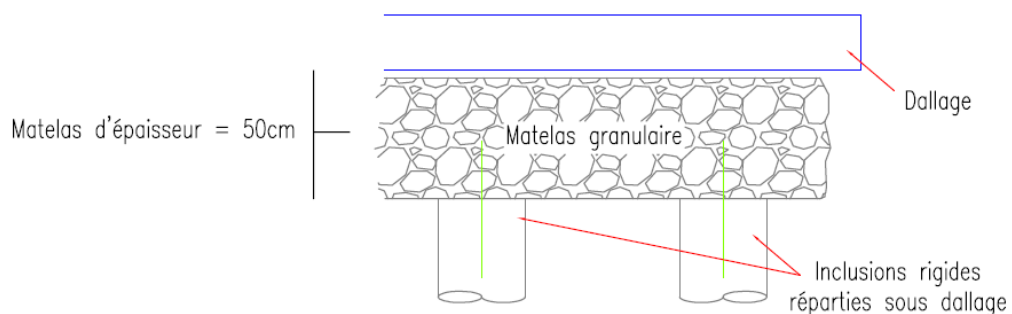
L'objectif de ce renforcement est **une limitation des tassements absolus à 20 mm et des tassements différentiels au 1/500°**.

Sous dallage, il conviendra de prévoir **un matelas de répartition de 50cm d'épaisseur minimum**. Ce matelas devra respecter les critères de compacité suivants : $EV2 > 50 \text{ MPa}$ et $EV2/EV1 < 2$.

Le dimensionnement du matelas de répartition est à la charge du terrassier ou au GO, notamment l'épaisseur du matelas qui pourra être plus importante suivant la qualité du sol support pour obtenir :

- $EV2 > 50 \text{ MPa}$ et $EV2/EV1 < 2$ dans le cas où la surcharge sur dallage n'excéderait pas $2T/m^2$,
- $EV2 > 70 \text{ MPa}$ et $EV2/EV1 < 2$ dans le cas où la surcharge sur dallage dépasserait $2T/m^2$.

Coupe-type



Les inclusions sont des points durs, elles engendrent des moments à reprendre dans le dallage.

- Pour une surcharge de 25KPa (20+5) et un matelas de 50cm d'épaisseur :

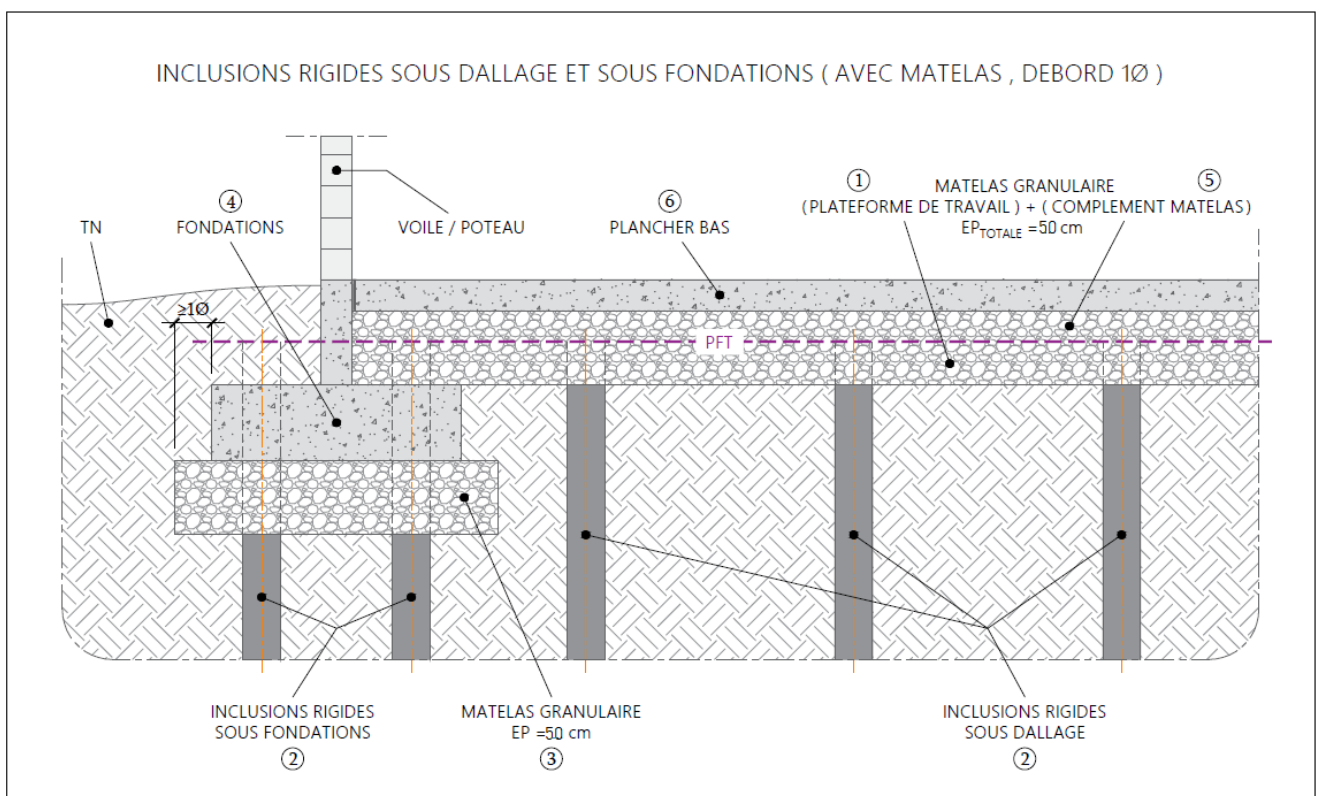
Résultats	
M_{centre} (kN.m/ml)	-7,63
M_{bord} (kN.m/ml)	2,48

Le module de sol renforcé $E_{\text{oed}} = 8$ MPa et $E_s = 5$ MPa avec $\nu_u = 0.35$.

- Pour une surcharge de 10KPa (5+5) et un matelas de 50cm d'épaisseur :

Résultats	
M_{centre} (kN.m/ml)	-3,40
M_{bord} (kN.m/ml)	1,27

Le module de sol renforcé $E_{\text{oed}} = 5.75$ MPa et $E_s = 3.5$ MPa avec $\nu_u = 0.35$.



4.4. Renforcement sous Rampes en enrobé

Le dimensionnement usuel d'une structure de chaussée ne prend pas en compte les effets de points durs pouvant être associés à la présence des inclusions. Sous chargement, il y a risque de tassements différentiels entre l'inclusion et le centre de la maille.



Figure 5.35. Exemple d'une déformée de type « boîte à œufs » sous une chaussée.

Il est donc nécessaire de garantir une hauteur H_M de la couche de répartition entre la base de la structure de chaussée et la tête des inclusions suffisante pour assurer que les tassements à la base de la structure de chaussée demeurent acceptables. La condition suivante doit être vérifiée :

$$H_M > 0,7 (s - a) \quad (5.17)$$

Un renforcement horizontal (géosynthétiques, treillis soudé ou dalle) mis en place dans la couche de répartition peut permettre de réduire cette hauteur (voir § 3.7).

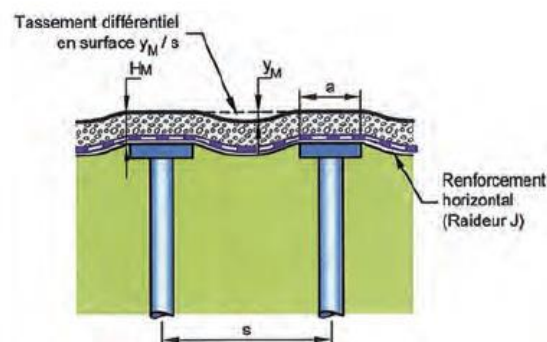


Figure 5.36. Déformation sous une chaussée.

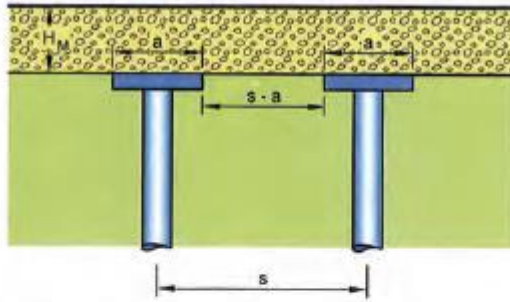


Figure 5.39. Définition de la géométrie.

H_M hauteur de remblai

s espacement entre les axes des inclusions

a dimension de la tête d'inclusion (tête d'inclusion carrée)

Dans le cas d'une tête d'inclusion circulaire de diamètre D , on prendra le côté du carré équivalent tel que :

$$a = \sqrt{\frac{\pi D^2}{4}} \approx 0,9D \quad (5.18)$$

Dans cette pré-étude, le maillage des inclusions est de $s = 1.5\text{m}$.
Le diamètre des inclusions est de 300mm, soit $a = 0.9 \times 0.3 = 0.27\text{m}$.

H_M doit être supérieur à 0m90.

Nous avons supposé une épaisseur de matelas de répartition de 50cm d'épaisseur, il conviendra donc de mettre en place un géogrille (Hors lot – A la charge du terrassier).

5) MISE EN ŒUVRE DU TRAITEMENT

5.1. Aménagement des plates-formes

Nous avons supposé qu'avant notre intervention :

- Le terrain aura été décapé et les vestiges des anciennes constructions purgés ;
- Une plate-forme de travail carrossable aura été réalisée ;
- L'eau gênante au niveau de la plate-forme de travail aura été pompée ;
- Les pré-voiries permettant l'accès aux différentes plates-formes de travail auront été réalisées. Elles seront en grave naturel insensible à l'eau et permettront un accès tout temps à la plateforme de travail.

Nous avons prévu de réaliser le renforcement de sol après mise en place d'une plate-forme de travail carrossable (non prévue dans nos prestations).

5.2. Exécution des inclusions

Les inclusions sont réalisées par une tarière à âme creuse, n'entraînant aucune vibration et donc aucune conséquence sur l'environnement.

Après la mise en station de l'atelier au droit de chaque inclusion, la mise en rotation de l'outil entraîne l'ensemble des tarières et des tubes rallonges par vissage. Le poids exercé sur l'outil (poids de la table de rotation, poids de l'équipement, pull down..) doit permettre la pénétration de l'outil dans le sol.

Mise en fiche :



L'atelier de forage est équipé d'un enregistreur de paramètres Lutz (Taralog) qui permet à tout instant de connaître la vitesse d'avancement de l'outil, le couple de rotation et la poussée sur l'outil.

Après avoir exécuté le forage (critères d'arrêt définis en fonction de l'étude de sol), un mortier est incorporé par l'âme centrale de la vis, de façon à constituer une colonne continue lors de la remontée de l'outil.

Lors de ces travaux, l'excavation réalisée dans le sol est maintenue soit par l'outil de forage soit par le mortier.

Exécution des inclusions :



: <https://youtu.be/7Gk4z4YIQGQ>

Selon le mode opératoire et le dimensionnement décrit ci-dessus, **ces inclusions pourront être réalisées en 2 semaines avec 1 Atelier.**

5.3 Travaux postérieurs aux inclusions

Le recépage des inclusions sera réalisé à la mini-pelle. Un reprofilage de la plateforme est donc à prévoir après notre intervention.

Le recépage des inclusions sous fondations est réalisé à la mini-pelle à +/- 10cm. Un recépage fin peut donc être nécessaire par le gros œuvre. La tête de colonne est excavée jusqu'en sous face de semelle, ce mélange de matériau ainsi foisonné est ensuite remis en place dans l'attente du terrassement des fondations par le lot Gros Œuvre.

Pour les inclusions sous fondations, nous avons prévu une profondeur maximale de pré recépage de 1.0 m par rapport à la plateforme de travail.

Pour les inclusions sous dallage, nous avons prévu une profondeur maximale de pré recépage de 0.3 m par rapport à la plateforme de travail.

Nous n'avons pas prévu l'évacuation de nos déblais (150 m3 environ hors foisonnement).



Même en refoulement, il y a une « motte » de déblais qui se produit à la fin du forage (cf. photo ci-dessus). Ce volume est estimé au total à 150m3 hors foisonnement.

6) ASSURANCE QUALITE

L'entreprise **INCLUSOL TS** possède la **qualification QUALIBAT 1263** (Consolidation de sol par injection) et une **assurance décennale pour les travaux de consolidation de sol**.

Concernant le contrôle qualité des travaux envisagés pour ce projet, nous avons prévu :

1. Des essais d'informations

Consistant à réaliser des forages au droit des sondages de la reconnaissance au démarrage du chantier.

Ces forages réalisés avec notre atelier permettront de vérifier la conformité des sondages. Ils permettront également d'étalonner les paramètres de forages et de définir les critères d'arrêts des types suivants :

- Couple de rotation associé à la vitesse d'avancement de l'outil de forage
- Volume de matériaux injecté.

2. Contrôle en cours des travaux (durée du chantier)

L'atelier de forage sera équipé **d'un enregistreur de paramètres** qui permettra de contrôler la bonne exécution des inclusions (enregistrement de 100% des paramètres de forage et de bétonnage).

Il sera fourni 10% des enregistrements lors du DOE.



3. Des Essais d'écrasement

A 7 jours et 28 jours avec un minimum de :

- 1 prélèvement (6 éprouvettes) tous les 100 m3 mis en œuvre,
- 1 prélèvement (6 éprouvettes) tous les 3 jours,
- 2 prélèvements (12 éprouvettes) par chantier

4. Des essais d'impédances

La quantité des essais sera conforme à notre cahier des charges.

SAUVAGNON (64)

Création d'une aire de fret PROJET ARES

SDIS BORDEAUX



*Renforcement de sol par
Inclusions rigides*

Devis n° 25.03.45

Proposition financière

La réalisation d'inclusions rigides pourra se faire selon le détail ci-après :

N°	Désignation	Unité	Qté	PU HT €	Total HT €
1	Note de calcul des inclusions rigides - Mission G3	FT	1	3 500,00 €	3 500,00 €
2	Immobilisation de notre atelier	Heure	1	700,00 €	PM
	<u>Total HT du devis</u>				<u>3 500,00 €</u>

N°	Désignation	Unité	Qté	PU HT €	Total HT €
1	Amenée, installation et repliement du matériel d'inclusions rigides	FT	1	11 000,00 €	11 000,00 €
2	Plateforme de travail EV2 > 30 MPa avant notre intervention	FT	1	A VOTRE CHARGE	
3	Implantation des ouvrages avant notre intervention	FT	1	A VOTRE CHARGE	
4	Inclusions rigides sous fondations et dallage de l'Atelier	FT	1	34 620,00 €	34 620,00 €
5	Inclusions rigides sous fondations et dallage des Bureaux	FT	1	29 181,00 €	29 181,00 €
6	Inclusions rigides sous les Rampes (zones 3 et 4)	FT	1	24 867,00 €	24 867,00 €
7	Contrôles et Essais	FT	1	3 000,00 €	3 000,00 €
8	DOE	FT	1	1 000,00 €	1 000,00 €
9	Matelas de répartition sous fondations et sous dallage	FT	1	A VOTRE CHARGE	
10	Géogrille	FT	1	A VOTRE CHARGE	
11	Evacuation de nos déblais de forage et remise en état de la plateforme de travail	FT	1	A VOTRE CHARGE	
12	Immobilisation de notre atelier	Heure	1	700,00 €	PM
	<u>Total HT du devis</u>				<u>103 668,00 €</u>

PRESTATIONS NON COMPRISES DANS NOTRE OFFRE :

- **Compte prorata**, frais de pilotage...
- **Le prix ne comprend pas la fourniture d'une attestation d'assurance nominative.** En cas d'exigence particulière, les coûts de l'assureur et/ou du courtier pour la fourniture d'une telle attestation seront répercutés à l'euro/l'euro en plus du prix.
- **Constat d'huissier** ou référé préventif sur les bâtiments voisins et sur les voiries d'accès à la zone de travaux,
- Autorisation d'accès au chantier avec des semi-remorques et des camions 6 x 4,
- **Implantation par un géomètre des ouvrages**
- **Plate-forme de travail plane et horizontale accessible à nos engins et aux camions toupies en toute sécurité et selon toutes conditions météorologiques, comprenant une couche de travail en GNT d'au moins 0,30 m d'épaisseur et rampe d'accès à la plate-forme de travail (pente maximale de 10%).**
- **Terrain libre (dévoisement) de tout obstacle enterré (anciennes fondations, réseaux humides, réseaux EDF, GDF...) et aérien (ligne EDF, France télécom...),**
- **Repérage par un marquage au sol et piquetage des réseaux à proximité du chantier (distance de sécurité à nous communiquer)**
- Scarification ou rabotage de tout matériaux de surface traités ou en béton,
- La mise à disposition d'informations précises sur la position exacte de tous les ouvrages enterrés que les travaux de fondations pourraient rencontrer,
- DR et piquetage de réseaux,
- Les réparations d'ouvrages accidentés, en particulier câbles et réseaux non signalés ou mal repérés,
- Les travaux que pourraient nécessiter le terrain avant l'exécution de nos travaux : les avant-trous de reconnaissance éventuels, les dévoiements et/ou suppression de tout obstacle enterré (anciennes fondations, réseaux électriques, de gaz ou d'eau...) et de tout obstacle aérien (réseaux électriques, télécommunications...),
- Les protections rendues nécessaires pour assurer la protection des moyens humains et matériels liés au site (protection de caténaires ou de câbles électriques, moyens de sauvetage aquatique le long des cours d'eau, surveillance de chantier en zone sensible...),
- La responsabilité de la société INCLUSOL TS au titre d'endommagement de réseaux enterrés sera entièrement exonérée, et elle en sera si besoin entièrement relevée et garantie, en cas de manquement du cocontractant et/ou du maître d'ouvrage et/ou responsable de projet à leurs obligations légales et réglementaires en matière de DT-DICT et de marquage ou un piquetage au sol permettant, pendant toute la durée du chantier, de signaler le tracé de l'ouvrage (a. R 554-27 du code de l'environnement).
- Les clôtures, gardiennage, signalisation, éclairage de chantier, y compris les déplacements ou adaptations de ces protections si le phasage des travaux le justifie,
- **Etude de sol complémentaire, mission géotechnique G2 ou G4, sondages complémentaires, analyse de l'agressivité**
- **Remise en état de la plateforme après notre intervention,**
- **Evacuation de nos déblais,**
- **Matelas de répartition,**
- **Recépage profond des inclusions sous fondations (> 1.0m par rapport à la plateforme de travail),**
- **Recépage profond des inclusions sous dallage (> 0.3m par rapport à la plateforme de travail),**
- Base vie

ASSURANCES :

Nos polices d'assurance ne couvrent pas les projets dont le coût global est supérieur à 26 000 000 € H.T pour les ouvrages de bâtiment et 6 000 000 € H.T pour les ouvrages de génie civil.

Pour des projets excédents ces limites, nous vous demandons de bien vouloir nous indiquer le coût global de l'ouvrage. Une surprime d'assurance particulière serait dans ce cas appliquer à notre proposition financière.

A défaut nous déclinons toute responsabilité concernant la non couverture par notre assureur.

CONDITIONS GENERALES DE VENTES :

- Application de la norme AFNOR NFP 03 001 de Décembre 2000,
- Nos prix sont fermes et définitifs pour une durée de **3 mois**.
- Nos conditions financières s'entendent avec une remise de 10 % des enregistrements.
- Paiement par chèque ou virement à 30 jours sur situation de travaux fin de mois,
- Toute situation de travaux, même définitive, non contestée dans un délai de 15 jours est réputée acceptée,
- Aucun escompte ne sera accordé pour paiement anticipé,
- Tout défaut de paiement à l'échéance convenue (y compris retenue ou provision opérée sans notre accord écrit) autorise l'entrepreneur à arrêter le chantier sans qu'une mise en demeure soit nécessaire et sans indemnité pour le client,
- Une réception des fondations spéciales ou de renforcement de sol a lieu en fin des travaux d'INCLUSOL TS de façon contradictoire avec l'entreprise de gros œuvre. Toute construction ultérieure sur les éléments de fondations spéciales ou sur les éléments de renforcement de sol en tiennent lieu en l'absence de procès-verbal.
- La retenue de garantie ou la caution bancaire qui s'y substitue doit être restituée au plus tard un an après cette réception.
- Fournir impérativement au minimum trois semaines avant la date prévisionnelle de notre intervention sur site le numéro de DT (Déclaration de Travaux) du maître d'ouvrage.

CONFIDENTIALITE :

Le client s'engage à ne pas divulguer les éléments de cette offre, d'aucune façon que ce soit, à tout tiers.

Les solutions techniques variantes proposées par INCLUSOL TS sont la propriété exclusive d'INCLUSOL TS qui se réserve l'ensemble des droits de propriété industrielle.

Ces solutions variantes sont proposées à titre confidentiel et ne peuvent être exploitées par un tiers sans l'autorisation écrite préalable de la société INCLUSOL TS.

Si vous acceptez cette proposition technique et financière, nous vous prions de bien vouloir nous la retourner signée et tamponnée avec la mention « Lu et approuvé » à notre adresse.

Fait à Château-Thébaud le 04 Avril 2025.

L'Ingénieur d'affaires,
David CLEMENTE