

DOCUMENT : RAPPORT

CLIENT : MINISTRE DES HABOUS ET DES AFFAIRES ISLAMQUES
NEDHARAT DES HABOUS DE KSAR EL KEBIR.

PROJET : ETUDE GEOTECHNIQUE RELATIVE AU PROJET
DE CONSTRUCTION D'UN COMPLEXE
MULTISERVICES, D'UNE BIBLIOTHEQUE ET D'UNE
RESIDENCE POUR ETUDIANTS ET ETUDIANTES.

BON DE COMMANDE N° : 05/2025.

REF. : LM/ETU/0280/2025.



INTRODUCTION :

Dans le cadre du Projet de construction d'un complexe multiservice, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes ; **La Nédharat Des Habous De Ksar El Kebir** a confié au **Laboratoire Méditerranéen du Bâtiment et des Routes LMBR - Fès**, l'étude géotechnique de dit projet « **Bon de commande N° 05/2025** ».

Le présent rapport présente les résultats des reconnaissances et les essais au Laboratoire, il définit en outre :

- Les résultats des reconnaissances géotechniques par réalisation des sondages de reconnaissance (sondages mécaniques et sondages carottés).
- La détermination d'une éventuelle nappe phréatique.
- Les résultats des essais au laboratoire.
- Le niveau d'assise préconisé pour les fondations des constructions.
- Le type de fondation à adopter.
- La contrainte admissible et le tassement du terrain.
- Le mode de terrassement à envisager.
- Etude de la Liquéfaction des sols :
 - Description du phénomène
 - Explication du phénomène
 - Évaluation du potentiel de la liquéfaction à partir des essais du laboratoire
 - Les sols susceptibles, à priori, de se liquéfier
- La détermination des épaisseurs des différentes couches entrant dans la constitution du corps de dallage et des voies et proposition des variantes en fonction de la couche du roulement.
- Les dispositions parasismiques qui doivent être pris en considération afin de permettre aux bâtiments de résister convenablement aux secousses sismiques.
- Les recommandations et les mesures constructives nécessaires à prévoir.



I. SITUATION ET DESCRIPTION DU PROJET :

I-1/Situation du projet :

Le site du projet de construction d'un complexe multiservice, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes est situé à l'Ouest de la ville de Ksar El Kebir relevant de la province de Larache, région de Tanger Tétouan el Hoceima.

Il est situé au point des coordonnées géodésiques suivantes :

Latitude	Longitude
35°0'23.60"N	5°55'45.07"O

Et limité par des points des coordonnées Lambert suivantes :

Matricule	X	Y
B.1	451 487.29	489 740.73
B.2	451 656.22	489 675.21
B.3	451 605.67	489 596.57
B.4	451 501.21	489 646.77
B.5	451 455.99	489 668.61
B.6	451 461.65	489 680.55
B.7	451 468.81	489 696.36
B.8	451 472.90	489 705.56
B.9	451 476.53	489 714.04
B.10	451 480.39	489 723.56
B.11	451 483.41	489 730.98
B.12	451 486.18	489 738.12

- ✓ L'accès au site du projet est à partir de la Route Provinciale **RP4404** reliant la **RN1** et le centre de la ville Ksar El Kebir.
- ✓ L'assiette du projet est donnée sur les photos ci-après.





Figure 1 :
Vue aérienne du site du
projet sur google earth.



I-2/Description du projet :

Le projet, objet du titre foncier T.6207/03, est une construction d'un complexe multiservice, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes.

L'assiette du projet s'étend sur une superficie totale de $1^{\text{ha}} 47^{\text{a}} 90^{\text{ca}}$.



II. GEOMORPHOLOGIE ET GEOLOGIE :

II-1- Aperçu Géomorphologique :

Le site est caractérisé par une géomorphologie relativement plate.

Il est situé à la cote altimétrique **12m /NGM**.



Photos 1 et 2 : Montrant des vues du site du projet.

II-2- Aperçu géologique :

II-2a- Cadre structural et tectonique :

Selon la carte structurale du Maroc, éditée par la direction de la géologie du ministère de l'énergie et des mines, la région d'étude est rattachée à la zone des nappes pré-rifaines occidentales à tectonique plissante accompagnée généralement d'une schistosité et plus précisément à la plaine alluviale de Loukos.

II-2b- Cadre Litho- stratigraphique :

Le terrain d'étude appartient au domaine Prérifain, qui est un domaine caractérisé par des collines généralement molles, à dominance argilo-marneuse.

Le Miocène inférieur au niveau de Prérif est caractérisé par des dépôts argilo-marneux très épais. Ce Prérif est en bonne partie immergé, formant la limite sud d'un sillon intra- et mésorifain relativement profond. Par contre, peut être dès le Miocène moyen et plus tard au Miocène supérieur, la situation va évoluer vers l'inversion des reliefs. Au Miocène supérieur (Tortonien), l'inversion de relief est complète, le sillon prérifain s'effondre au long d'un domaine rifain surélevé.



Le prérim tout entier est constitué par un gigantesque écoulement, glissé par un « autochtone vrai » aux structures simples. Le glissement des nappes prérimaines est progressif, étalé sur des dizaines des centaines des milliers d'années.

Des plissements tardifs ont isolé des synclinaux de Miocène post-nappes à l'intérieur des domaines pré-et méso-rifain. Les mêmes mouvements ont provoqué la surrection d'anticlinaux où l'érosion a mis à jour, sous la "nappe" prérimaine.

La série litho-stratigraphique caractérisant la région du site est comme suit :

- 3 La formation de la marne grise d'âge Tortonien généralement jaunâtre en surface.
- 3 La formation de la marne sableuse de Messinien
- 3 Affleurement par endroits de l'argile Triasique.

II-2c- Cadre Hydrogéologique :

Lors de notre reconnaissance (**Décembre 2025**) nous n'avons relevé aucune venue d'eau au niveau des sondages de reconnaissance, et à des profondeurs réalisés.

III. RECONNAISSANCE DU SITE :

La reconnaissance géotechnique au niveau du site du projet, a été effectuée au moyen de :

- ✓ **Quatre (04)** sondages carottés allant à **10.0m** de profondeur.
- ✓ **Six (06)** sondages mécaniques allant à **5.00m** de profondeur.

L'implantation et les coupes lithologiques de tous les sondages réalisés sont présentées respectivement en **annexes IV et V** et les photos ci-après illustrent ces sondages.

L'implantation de ces sondages est récapitulée dans le tableau suivant :

Sondage de reconnaissance géotechnique :	Cordonnées géodésiques :		
	Latitude	Longitude	Altimétrie/NGM
Sondage carotté Sc ₁	33°0'23.49"N	5°55'43.09"O	11.90
Sondage carotté Sc ₂	33°0'23.13"N	5°55'45.23"O	11.90
Sondage carotté Sc ₃	33°0'24.61."N	5°55'45.82"O	12.00
Sondage carotté Sc ₄	33°0'24.19"N	5°55'47.33"O	11.80
Sondage mécanique Pm ₁	33°0'23.44."N	5°55'41.92"O	12.00
Sondage mécanique Pm ₂	33°0'22.18"N	5°55'43.67"O	12.00
Sondage mécanique Pm ₃	33°0'24.18"N	5°55'44.20"O	11.80
Sondage mécanique Pm ₄	33°0'23.28"N	5°55'46.28"O	11.90
Sondage mécanique Pm ₅	33°0'25.07"N	5°55'46.62"O	12.00
Sondage mécanique Pm ₆	33°0'23.88"N	5°55'47.95"O	11.80



❖ Sondages carottés :

Sondage Sc₁ :

- 0.00m – 0.60m : Terre végétale.
 - 0.60m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
 - 5.00m – 10.00m : Marne brunâtre consistante.
- Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 3 et 4 Montrant :

- Les travaux de la réalisation du sondage carotté Sc₁.
- Les caisses des matériaux intacts extraits du sondage Sc₁ (prof 0.00-10.00m).

Sondage Sc₂ :

- 0.00m – 0.80m : Terre végétale.
 - 0.80m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
 - 5.00m – 10.00m : Marne brunâtre consistante
- Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 5 et 6 Montrant :

- Les travaux de la réalisation du sondage carotté Sc₂.
- Les caisses des matériaux intacts extraits du sondage Sc₂ (prof 0.00-10.00m).

Sondage Sc3 :

- 0.00m – 0.60m : Terre végétale.
 - 0.60m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
 - 5.00m – 10.00m : Marne brunâtre consistante.
- Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 7 et 8 Montrant :

- Les travaux de la réalisation du sondage carotté Sc3.
- Les caisses des matériaux intacts extraits du sondage Sc3 (prof 0.00-10.00m).

Sondage Sc4 :

- 0.00m – 0.70m : Terre végétale.
 - 0.70m – 5.50m : Marne jaunâtre à brunâtre.
 - 5.50m – 10.00m : Marne brunâtre consistante.
- Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 9 et 10 Montrant :

- Les travaux de la réalisation du sondage carotté Sc4.
- Les caisses des matériaux intacts extraits du sondage Sc4 (prof 0.00-10.00m).



❖ Sondages mécaniques :

Sondage Pm₁ :

- 0.00m – 0.80m : Terre végétale.
 - 0.80m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
- ☞ Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 11 et 12 Montrant Les travaux de la réalisation du sondage mécanique Pm₁.

Sondage Pm₂ :

- 0.00m – 0.40m : Terre végétale.
 - 0.40m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
- ☞ Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 13 et 14 Montrant Les travaux de la réalisation du sondage mécanique Pm₂.

Sondage Pm₃ :

- 0.00m – 0.60m : Terre végétale.
 - 0.60m – 1.80m : Marne brunâtre lâche.
 - 1.80m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
- ☞ Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 11 et 12 Montrant Les travaux de la réalisation du sondage mécanique Pm₃.

Sondage Pm₄ :

- 0.00m – 0.50m : Terre végétale.
 - 0.50m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
- ☞ Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 13 et 14 Montrant Les travaux de la réalisation du sondage mécanique Pm₄.

Sondage Pm₅ :

- 0.00m – 0.40m : Terre végétale.
 - 0.40m – 5.00m : Marne jaunâtre à brunâtre.
- ☞ Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 11 et 12 Montrant Les travaux de la réalisation du sondage mécanique Pm₅.

Sondage Pm₆ :

- 0.00m – 0.50m : Terre végétale.
 - 0.50m – 4.80m : Marne jaunâtre à brunâtre.
- ☞ Niveau piézométrique : Néant (Décembre 2025).



Photos 13 et 14 Montrant Les travaux de la réalisation du sondage mécanique Pm₆.

IV. ESSAIS DE LABORATOIRE :

IV-1-Essais réalisés :

Dans le but de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des formations mise en évidence, le laboratoire **LMBR/Fès** a réalisé des essais en laboratoire dont les détails sont donnés par les tableaux ci-après.



IV-2-Résultats et interprétation

ESSAIS PHYSIQUES :

Analyse granulométrique par tamisage.

Réf. Ech.	Nature lithologique	Lieu du prélèvement	Teneur en eau W(%) NM 15.1.152 NM ISO 17892-1	Masse volumique sèche en (g/cm³) NM13.1.119	Analyse granulométrique par tamisage NM ISO 17892-4			Limites d'Atterberg NM13.1.007 NM13.1.012			Classifica- -tion Selon :	
					<0,06 mm	<2 mm	<50 mm	WL %	WP %	IP %	LCPC	GMTR
5227/1	Marnes jaunâtre à brunâtre.	Se ₁ 0,50-6,00m/TN	13,5	1,76	92,7	100	100	50	26	24	At	A ₅
5227/2		Se ₂ 0,80-5,00m/TN	14,5	1,77	95,6	100	100	54	28	26	At	A ₅
5227/3		Se ₃ 0,60-5,00m/TN	15,5	1,77	93,0	100	100	54	29	25	At	A ₅
5227/4		Se ₄ 0,70-5,50m/TN	12,5	1,76	92,1	100	100	50	26	24	At	A ₅
5221/1	Marnes jaunâtre à brunâtre.	Pm ₁ 0,80-5,00m/TN	11,7	1,75	99,3	100	100	54	29	25	At	A ₅
5221/2		Pm ₂ 0,40-5,00m/TN	16,8	1,76	97,8	100	100	53	29	24	At	A ₂ /A ₅
5221/3		Pm ₃ 1,80-5,00m/TN	10,5	1,77	97,7	100	100	49	25	24	At	A ₂ /A ₅
5221/4		Pm ₄ 0,50-5,00m/TN	13,0	1,75	98,0	93	93	52	27	25	At	A ₅
5221/5		Pm ₅ 0,40-5,00m/TN	13,9	1,77	97,3	100	100	56	29	27	At	A ₅
5221/6		Pm ₆ 0,50-4,80m/TN	10,4	1,76	98,1	100	100	50	26	24	At	A ₂ /A ₅

Analyse granulométrique par sédimentation (NM ISO 17892-4).

➤ Principe

L'essai exige que la fraction de chaque échantillon qui traverse le tamis de 0,063 mm fasse l'objet d'un essai. Aucun matériau d'une taille supérieure à 2 mm ne doit être admis dans le tube cylindrique de sédimentation lors de l'essai.

➤ Exécution de l'essai

La masse humide initiale nécessaire d'éprouvette de sol dépend de la granulométrie des particules présentes et de la teneur en eau. L'éprouvette initiale du sol, avant préparation, doit être suffisamment conséquente pour fournir 20 g à 30 g de matériau de dimension inférieure à 0,063 mm.

Une concentration de suspension d'environ 25 g de sédiment plus petit que 0,063 mm par litre de solution est considérée comme idéale.





Fig 1 : Densimètre et éprouvette pour essai de sédimentation.

Les analyses granulométriques par sédimentation, sur les différentes formations rencontrées au niveau des sondages mécanique et carottés sont données dans le tableau suivant.

Réf. Ech.	Nature lithologique	Lieu du prélèvement	Analyse granulométrique par sédimentation NM ISO 17892-4		
			0.002 mm	0.006 mm	0.02 mm
5227/1	Marnes jaunâtre à brunâtre	Sc ₁ 0.50-6.00m/TN	52,2	75,8	82,0
5227/2		Sc ₂ 0.80-5.00m/TN	53,9	77,0	84,7
5227/3		Sc ₃ 0.60-5.00m/TN	52,4	76,1	82,3
5227/4		Sc ₄ 0.70-5.50m/TN	51,9	75,4	81,5
5221/1	Marnes jaunâtre à brunâtre	Pm ₁ 0.80-5.00m/TN	56,2	81,6	88,3
5221/2		Pm ₂ 0.40-5.00m/TN	55,3	80,3	86,9
5221/3		Pm ₃ 1.80-5.00m/TN	55,3	80,3	86,9
5221/4		Pm ₄ 0.50-5.00m/TN	57,9	80,3	86,9
5221/5		Pm ₅ 0.40-5.00m/TN	57,7	80,0	86,6
5221/6		Pm ₆ 0.50-4.80m/TN	60,5	80,3	86,9



⚙️ ESSAIS MECANIQUES ET RHÉOLOGIQUES :

📌 Essai œdométrique NM 13.1.003

1-Principe d'essai :

L'essai s'effectue sur plusieurs éprouvettes provenant d'un même échantillon et prélevés sensiblement au même niveau. Chaque éprouvette de sol est placée dans une enceinte cylindrique rigide (Oedomètre). Et un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette est maintenue saturée pendant l'essai (voir figure 1).

La charge est appliquée par paliers maintenue constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini. Les variations de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

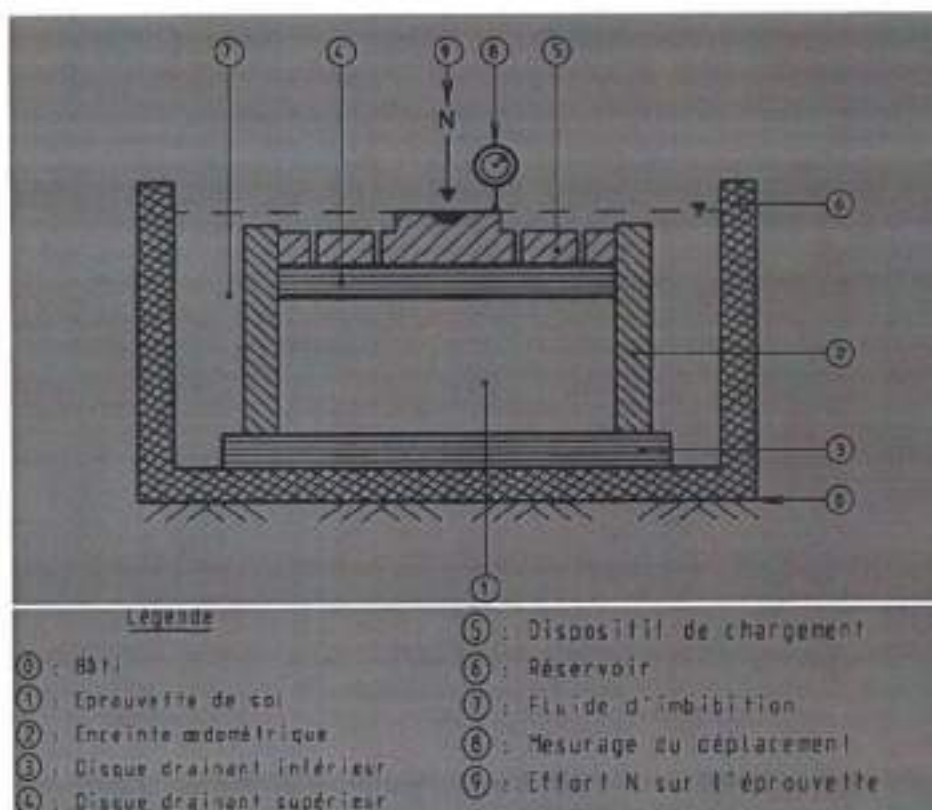


Figure 1 : Principe de l'œdomètre

2- Appareillage :

L'appareil spécifique à l'essai (Oedomètre) comprend :

- *Le bâti permettant d'appliquer les contraintes de chargement sur l'éprouvette ;
- *Une cellule dans laquelle l'éprouvette est placée ;
- *Un système de mesure permettant de connaître les variations de hauteur de l'éprouvette en fonction du temps.

La réalisation de l'essai nécessite en outre l'appareillage courant pour l'extraction des échantillons de leur conteneur, la préparation des éprouvettes et la détermination des teneurs en eau et des masses volumiques des échantillons de sol.

3- Mode opératoire :

3-1 Détermination de la cellule oedométrique sur son bâti de chargement

Une mesure de déformation de la cellule est effectuée avec un éprouvette témoin métallique placée entre les deux disques drainants, éventuellement recouverts de papier filtre, en passant par les mêmes paliers de chargement que pour l'essai, afin de déterminer l'amplitude des corrections à prendre en compte. Suivants les cas, cette mesure est effectuée avant ou après l'essai lui-même.

Elle reste utilisable pendant un délai maximal de six mois sans modification de matériel.

Cette mesure de déformation de l'appareillage est nécessaire en présence de sols gonflants et lors d'essais sous des contraintes supérieurs à 1.6Mpa.

3-2 Préparation de l'éprouvette

L'intérieur de la bague, de diamètre D, ou de l'enceinte oedométrique recevant l'éprouvette, est légèrement enduit de graisse non dégradable par l'eau.

L'éprouvette est carottée au moyen de la bague oedométrique, ou taillée avec soin aux dimensions de l'enceinte oedométrique dans laquelle elle est introduite. Elle est arasée sur les deux faces parallèles de la bague ou de l'enceinte puis pesée.

Compte tenu de la dimension d_{max} des particules solides qui constituent l'éprouvette, cette dernière a, une fois confectionnée, une hauteur H_i d'au moins 10mm et telle que :

$$6 d_{max} \leq H_i \leq 0.4D$$

3-3 Déroulement de l'essai

L'essai consiste à soumettre l'éprouvette d'aire de section transversale A à une série de paliers de chargement et de déchargement d'intensité constante et à mesurer, pour chacun d'eux, la variation de hauteur de cette éprouvette au cours du temps.

Le palier de chargement de rang n correspond à une contrainte verticale moyenne sous la charge $N(n)$ appliquée à l'éprouvette.

D'un palier à l'autre, le taux d'accroissement de la contrainte i est défini.

Selon l'objectif poursuivi et l'état de l'éprouvette soumise à l'essai, des procédures différentes sont suivies.



3-4 Durée des paliers

a) Paliers de chargement

Les paliers de chargement sont maintenues 24h que la durée d'application de la charge ait permis de dépasser la valeur t_{100} correspondant conventionnellement à la fin de la consolidation.

Pour les sols gonflants, la durée des paliers de chargement est réduite de telle sorte que l'éprouvette ne présente aucun gonflement.

b) Paliers de déchargement

Les paliers de déchargement sont maintenus au moins 24h, le passage d'un palier au suivant ne se fait que si la déformation relative est inférieure à 5.10^{-4} pour une durée de 8h

c) Mesurage du déplacement vertical en fonction du temps

Les relevés de déplacement vertical sont faits en respectant sont faits en respectant le mieux possible les intervalles de temps suivants entre l'instant de l'application de la charge et la mesure :

0 ; 15s ; 30s ; 1min ; 2min ; 4min ; 8min ; 15min ; 30min ; 60min ; 2h ; 4h ; 8h ; 24h ; (si besoin).

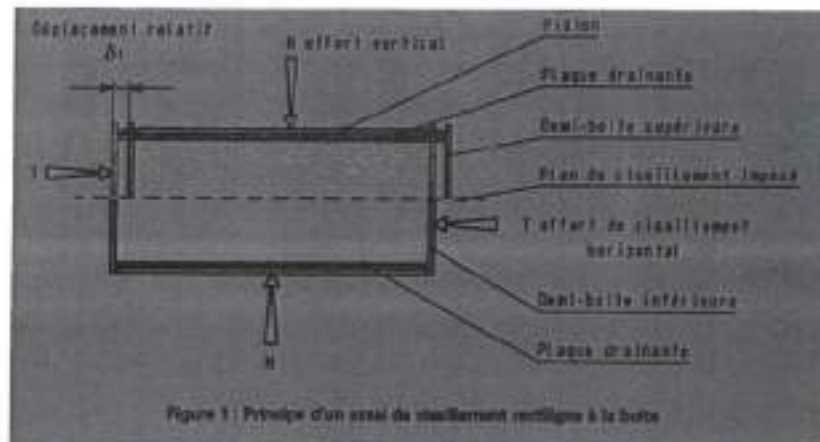
🔧 Essai de Cisaillement rectiligne à la boîte NM 13.1.021.

I – Principe d'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des deux demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai ;
- Produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif à la vitesse constante ;
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant.





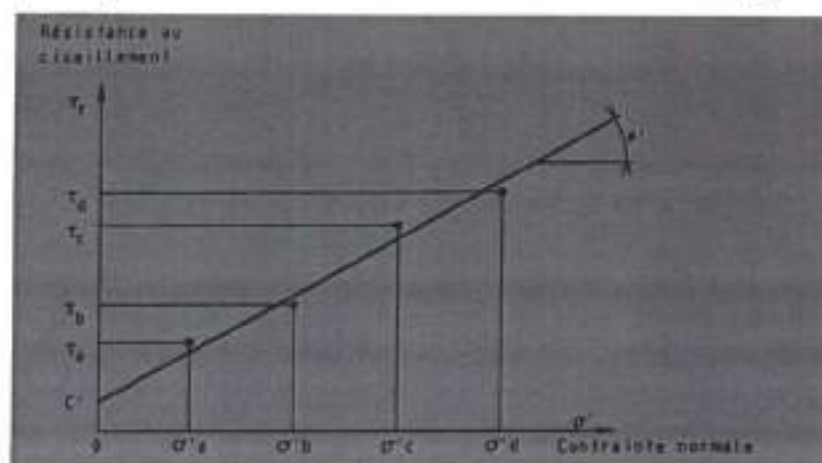
On distingue 3 types d'essais, à choisir en fonction des données nécessaires à l'étude géotechnique :

- L'essai consolidé non drainé (NCR) afin de déterminer les caractéristiques à court terme.
- L'essai consolidé drainé qui reproduit parfaitement les conditions géostatiques du sol in situ et assure un contrôle du comportement du sol de manière plus satisfaisante,
- L'essai consolidé, saturé et non drainé pour des caractéristiques à long terme (CCL).

1- But d'essai :

Les valeurs de la résistance au cisaillement ainsi définies sont portées sur un graphique en fonction de la contrainte normale, s'appliquant sur le plan de rupture.

La courbe obtenue est approximativement une droite appelée « droite intrinsèque », l'angle que fait cette droite avec l'axe des abscisses est appelée « angle ϕ » et l'ordonnée à l'origine de cette droite est appelée « valeur C » ; L'équation de cette droite est donc : $\tau = c' + \sigma \tan \phi$



II- Mode opératoire

1- Préparation des plaques drainantes

Les plaques sont saturées avec de l'eau désaérée et tout surplus d'eau en surface est éliminé juste avant leur mise en place. Elles sont recouvertes d'un papier filtre lorsque des particules de sol risquent de migrer vers les pores des plaques drainantes.

2- Préparation des éprouvettes

La hauteur des éprouvettes, une fois confectionnées, est telle que :

$$6d_{\max} \leq h \leq L/2$$

Dans ces conditions, le matériau essayé a des éléments dont la dimension maximale est :

- $d_{\max} \leq 5\text{mm}$ dans le cas de la boîte de 60mm de côté,
- $d_{\max} \leq 8\text{mm}$ dans le cas de la boîte de 100mm de côté.

► Pour les sols cohérents :

Les dimensions de la section droite de l'éprouvette doivent être ajustés au mieux à celles de la boîte et la hauteur (h) est telle que :

$$20 \leq h \leq L/2$$

Après pesage de l'échantillon, la plaque drainante sera placée dans le fond de la demi-boîte inférieure. L'éprouvette sera introduite dans les demi-boîtes solidarisiées au préalable. L'éprouvette sera calée dans la boîte de telle sorte que le plan de glissement la partage en deux parties sensiblement égales.

3- Réalisation de l'essai

Dès que l'éprouvette a été mise en place, les opérations suivantes se déroulent sans interruption :

3-1- Mise en place

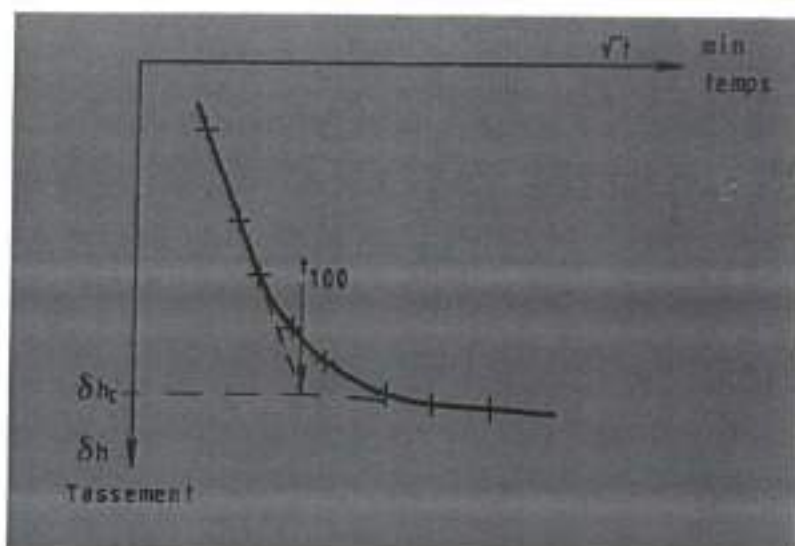
La boîte de cisaillement contenant l'éprouvette est placée dans le châssis étanche fixé sur le bâti. Tout en maintenant la solidarisation des demi-boîtes.

3-2- Saturation et consolidation

Le châssis contenant la boîte de cisaillement est rempli d'eau déminéralisée. Le déplacement vertical δh du piston est mesurée en fonction du temps pendant 1h au moins et jusqu'à stabilisation. La stabilisation est considérée comme obtenue dès que les mesures permettent de déterminer une direction asymptotique comme indiqué à la figure ci-dessous.



Figure : Détermination de la fin de consolidation d'une éprouvette dans la boîte de cisaillement



3-2- Cisaillement

- a) Déterminer à l'issue de la phase de consolidation, la vitesse maximale de cisaillement par la relation suivante exprimée en micromètres par minutes :

$$V_{\max} = \frac{125}{t_{100}} \quad \text{avec} \quad V_{\max} \leq 25$$

Où :

t_{100}

t_{100} est le temps exprimé en minutes, déterminé par la construction indiquée à la figure ci-dessus.

- b) Libérer le système de solidarisation des demi-boîtes.
 c) Agir sur les vis de la boîte supérieure afin de supprimer le contact entre les deux demi-boîtes et les ramener immédiatement les vis à leur position antérieure.
 d) Imposer le déplacement relatif des demi-boîtes à une vitesse constante $V < V_{\max}$
 e) Arrêter le cisaillement :
 - Soit lorsque la variation de l'effort (T), pour un intervalle de mesure correspondant à un déplacement horizontal δl de 0,5mm, est inférieure à 1/100 de l'effort maximal.
 - Soit lorsque le déplacement horizontal δl a atteint au moins 5 mm.

III- Expression des résultats :

1- Pour chaque éprouvette :

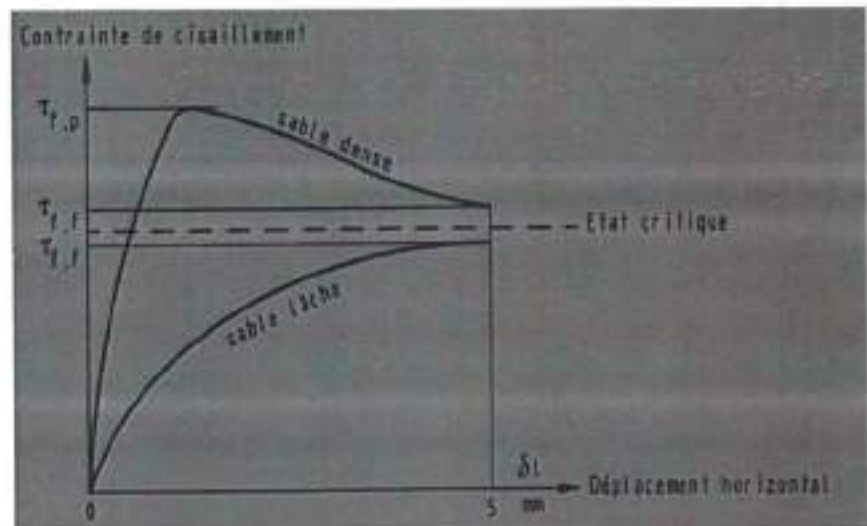
✧ Pour chaque éprouvette on calcule :

- La contrainte normale effective σ' à partir de l'expression : $\sigma' = N / A$
- La contrainte de cisaillement τ par la relation : $\tau = T / A$
- La teneur en eau du sol avant essai et enfin de cisaillement.
- La masse volumique sèche ρ_d de l'éprouvette avant essai, après stabilisation de l'évolution de son épaisseur δh_c sous l'effort appliqué N.
- L'indice des vides et le degré de saturation avant essai à partir de la masse volumique ρ_s

✧ On trace les courbes suivantes pour toutes les éprouvettes :



- De la contrainte de cisaillement τ en fonction du déplacement horizontal δl ;
- Du déplacement vertical δh du piston en fonction du déplacement horizontal δl .

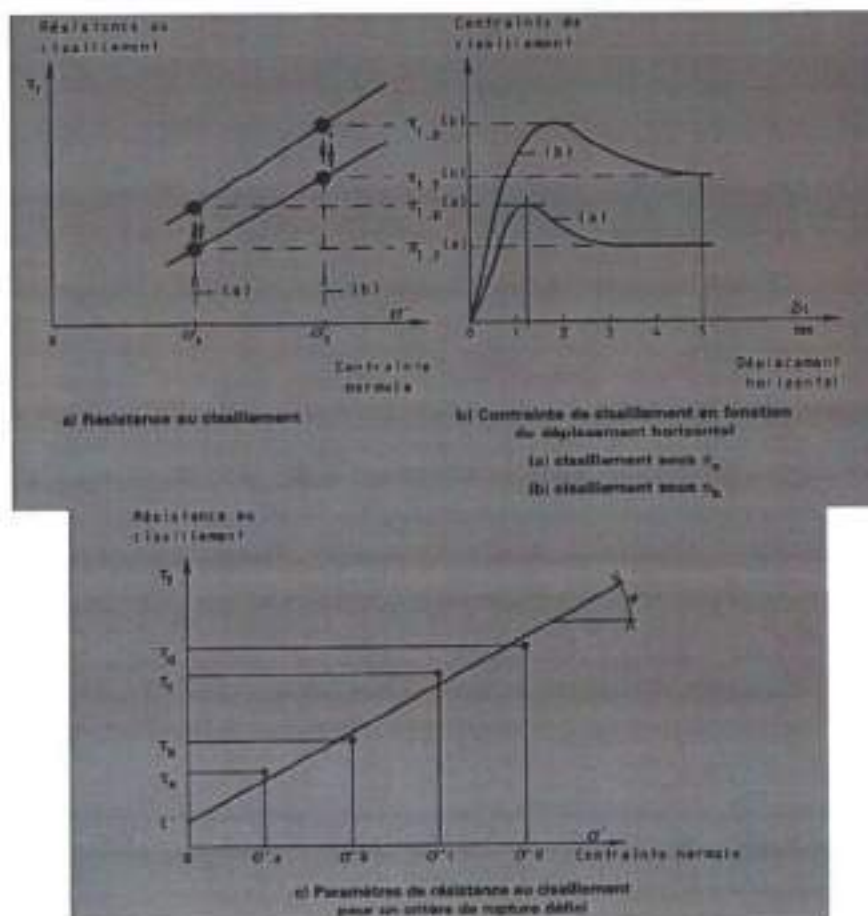


2- Pour l'ensemble des éprouvettes :

On représente sur le même graphique $(\sigma' - \tau_f)$ les couples des points $(\sigma' - \tau_{f,p})$ et $(\sigma' - \tau_{f,f})$.

On détermine par un ajustement linéaire l'équation de la droite correspondant à chaque critère de rupture (pic, état final). Les paramètres de résistance au cisaillement rectiligne sont obtenus :

- A partir de la pente des droites pour les angles φ'_p et φ'_f
- à partir de l'ordonnée à l'origine des droites pour les cohésions c'_p et c'_f



♦ **Essais de cisaillement et de compressibilité à l'œdomètre avec mesure de perméabilité :**

Sur des échantillons non remaniés prélevés au niveau des formations rencontrés au niveau du sondage mécanique S (lot 1152), nous avons effectué les essais mécaniques (cisaillement rapide) et de compressibilité à l'œdomètre avec mesure de perméabilité, dont les résultats sont comme suit :

➤ **sur la formation de la marne jaunâtre à brunâtre :**

Sur des échantillons non remaniés prélevés au niveau de ces formations, nous avons effectué les essais mécaniques (cisaillement Lent) et de compressibilité à l'œdomètre dont les résultats sont comme suit :

Echantillon n°	5221/1	5221/2	5227/5	5227/6	5227/7
Sondage N°	Pm ₁	Pm ₂	Sc ₁	Sc ₂	Sc ₃
Profondeur (m)	2.00- 2.20m/TN	2.00- 2.20m/TN	3.00- 3.20m/TN	3.00- 3.20m/TN	2.50- 2.70m/TN
Nature de l'échantillon	Marne jaunâtre à brunâtre.				
- Structure					
- Consistance					
- Couleur					
- Inclusion					
NM 13.1.021					
- Type d'essai	CCL	CCL	CCL	CCL	CCL
- C_p'(Bar)	0.86	0.61	0.37	0.80	0.46
- ϕ_p'(degré)	18°	16°	24°	18°	21°
NM 13.1.003					
- δc(t/m ²)	6.0	4.8	8.0	6.4	6.5
- I_c	0.255	0.265	0.250	0.225	0.250
- δg(t/m ²)	-	-	-	-	-
- I_g	0.026	0.025	0.030	0.030	0.030
ISO 17892-11					
Coefficient de perméabilité k (m/s)	1.5×10^{-8}	1.8×10^{-8}	1.3×10^{-8}	2.0×10^{-8}	1.6×10^{-8}

➤ Donc on peut déduire que les formations marneuses ont:

- La cohésion est relativement moyenne.
- L'angle de frottement est moyenne.

➤ La classification selon le manuel de mécanique des sols.

$I_c < 0.020$: Sol incompressible

$0.020 < I_c < 0.050$: sol très peu compressible

$0.050 < I_c < 0.100$: sol peu compressible

$0.100 < I_c < 0.200$: sol moyennement compressible

$0.200 < I_c < 0.300$: sol assez fortement compressible

$0.300 < I_c < 0.500$: sol très compressible



$I_c > 0.500$: sol extrêmement compressible

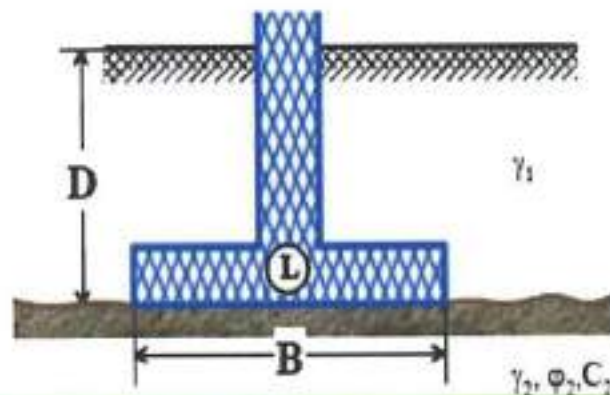
- Les formations de la marne jaunâtre à brunâtre sont assez fortement compressibles et moyennement gonflants à gonflants.

- Les formations marneuses jaunâtres à brunâtres présentent une perméabilité très faible et peuvent, de ce fait, être considérées comme pratiquement imperméables.

IV-2-Propositions sur les fondations :

D'après les sondages de reconnaissances réalisés (mécaniques et carottés), le terrain du projet se trouve sur une formation compressible et gonflante. De ce fait nous proposons de prévoir un vide sanitaire ou un sous-sol à partir de 2.50m/TN minimale.

Détermination de la contrainte ultime que sous une fondation superficielle soumise à une charge verticale répartie à partir des essais du laboratoire (DTU 13.12)



Coupe verticale sur semelle superficielle

$$q_u = \frac{1}{2} S_f \gamma B N_f + S_q \gamma D N_q + S_c C N_c$$

S_f, S_q, S_c : sont les coefficients de forme de la semelle.

N_f, N_q, N_c : sont les paramètres fonction de ϕ .

C : cohésion du sol.

ϕ : angle de frottement interne du sol.

γ : poids volumique du sol.

Cette formule comporte **3 termes** :

- ❖ Le premier terme est appelé **terme de surface**, il est proportionnel à B.
- ❖ Le deuxième terme est appelé **terme de profondeur**, il est proportionnel à D.
- ❖ Le troisième terme est appelé **terme de cohésion**, il est proportionnel à C.

Pour les semelles isolées, filantes :

$$S_f = 1 - 0.2 \frac{B}{L}$$

$$S_q = 1$$

$$S_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$$



☞ Valeurs des paramètres N_γ , N_q , N_c selon D.T.U 13.12 :

φ	N_γ	N_q	N_c
0		1.00	5.14
5		1.56	6.47
10	1.00	2.49	8.45
11	1.20	2.71	8.80
12	1.43	2.97	9.29
13	1.69	3.26	9.80
14	1.99	3.59	10.4
15	2.33	3.94	11.0
16	2.72	4.33	11.6
17	3.14	4.77	12.3
18	3.69	5.25	13.1
19	4.29	5.60	13.9
20	4.97	6.40	14.8
21	5.76	7.07	15.8
22	6.68	7.83	16.9
23	7.73	8.66	18.1
24	8.97	9.60	19.3
25	10.4	10.7	20.7
26	12.0	11.8	22.2
27	13.9	13.2	24.0
28	16.1	14.7	25.8
29	18.8	15.4	27.9

φ	N_γ	N_q	N_c
30	21.8	18.4	30.1
31	25.5	20.6	32.7
32	29.8	23.2	35.5
33	34.8	26.1	38.7
34	40.9	29.4	42.2
35	48.0	33.3	46.1
36	56.6	37.8	50.6
37	67.0	42.9	55.7
38	79.5	48.9	61.4
39	94.7	56	67.9
40	113.0	64.2	75.4
41	133.0	73.9	83.9
42	164.0	85.4	93.7
43	199.0	99.0	105.0
44	244.0	115.0	118.0
45	297.0	135.0	135.0
46	366.0	159.0	152.0
47	455.0	187.0	174.0
48	570.0	223.0	199.0
49	716.0	276.0	230.0
50	914.0	344.0	267.0

☞ Application numérique :

Fondation : Semelle filante (1.50m x 10.0m)	
Ancrage	D = 0.50/PFT (3.00m/TN)
S_γ	1.00
S_q	1.00
S_c	1.00
N_γ	8.97
N_q	9.60
N_c	19.3
C' en bar	0.33
ϕ'	24°
γ en t/m ³	1.75

⇒ $q_u = 8.89 \text{ bar}$

PFT ' Plate Forme Terrassée'

Selon le DTU 13-12, la contrainte du dimensionnement doit être limitée à $q_u/3$,

soit donc : $q = q_u/3 = 8.89/3 \approx 2.96 \text{ bar}$.

Et plus d'un coefficient réducteur complémentaire $F \approx 2$, qui limite la contrainte

Portante à l'échelle globale :

La contrainte de service sera donc, limitée à 1.5 bar soit 15T/m².



IV-3-Tassements évalués à partir de l'oedomètre.

En géotechnique, le tassement d'une couche de sol sous une charge appliquée peut être décomposé en trois types principaux : le tassement immédiat, le tassement primaire (ou consolidation primaire) et le tassement secondaire.

Voici les différences entre les deux premiers :

1. Tassement immédiat

Le tassement immédiat, également appelé tassement élastique, correspond à la déformation instantanée d'un sol élastique en réponse à l'application d'une charge. Ce type de tassement se produit généralement immédiatement après l'application de la charge, sans délai de temps significatif, et il est dû à la compression instantanée de la structure des grains solides du sol.

- **Conditions :** Ce tassement est fréquent dans les sols à grains grossiers (sables, graviers) ou dans des couches de sol non saturées.
- **Modélisation :** Le tassement immédiat est souvent calculé à l'aide des modules de déformation élastiques du sol, par exemple le module oedométrique, ou encore par des méthodes d'élasticité linéaire pour estimer la déformation sous une charge répartie.

La formule générale du tassement immédiat, pour des couches de sol homogène en réponse à une charge répartie est :

$$S_i = \frac{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}{E_s} \quad ; E_s = \frac{E_o}{(1 - \nu^2)} \quad \text{et} \quad E_o = \frac{\Delta\sigma}{\Delta e} (1 + e_o)$$

où :

- **q** est la charge appliquée (kPa),
- **B** est la largeur de la fondation (1.50m pour une semelle filante),
- **ν** est le coefficient de Poisson,
- **E_s** est le module de Young du sol.
- **E_o** est le module oedométrique du sol (en conditions de consolidation).

Application numérique

$S_i = 3.52$ cm pour la marne jaunâtre à brunâtre.



2. Tassement primaire (ou consolidation primaire)

Le tassement primaire, ou tassement par consolidation, est un processus qui se produit dans les sols fins et saturés (comme les argiles) en raison de l'expulsion progressive de l'eau des pores sous l'effet de la surcharge appliquée. Ce processus dépend de la perméabilité du sol et du coefficient de consolidation.

- **Conditions :** Ce tassement est typique des sols argileux saturés, où la faible perméabilité ralentit le drainage de l'eau.
- **Modélisation :** La consolidation est souvent modélisée à l'aide de la théorie de Terzaghi, avec le coefficient de consolidation c_v , qui contrôle le taux de dissipation de la pression interstitielle dans le temps. Le tassement primaire est un processus qui suit une loi logarithmique en fonction du temps.

La formule du tassement primaire, à partir du module œdométrique E_o , est :

$$S_p = \frac{\Delta\sigma \cdot H}{E_o}$$

où :

- $\Delta\sigma$ est l'augmentation de contrainte verticale appliquée,
- H est l'épaisseur de la couche compressible,
- E_o est le module œdométrique du sol (en conditions de consolidation).

Application numérique : $S_p = 0.32\text{cm}$ pour la marne jaunâtre à brunâtre.

Le tassement total S_T total serait la somme des deux tassements :

$$S_T = S_i + S_p = 3.84 \text{ cm}$$

Pour les tassements, un exemple d'estimation de tassement est effectué pour cette couche pour une semelle filante de dimension $(1.50 \times 10.00) \text{ m}^2$, recevant une surcharge de 15 t/m^2 sur la marne jaunâtre à brunâtre, avec une fiche d'ancrage de 2.50 à 3.00 m/TN .

La méthode utilisée est celle des tranches successives avec l'adoption du coefficient d'influence de la surcharge bâtie. Nous obtenons ainsi un tassement estimatif de $\Delta H \approx 3.84 \text{ cm}$, pour les données définies plus hautes. Les valeurs du tassement sont admissibles pour ce genre de construction.



V. CALCUL DE COEFFICIENT DE RAIDEUR :

❖ Paramétré dynamique du sol

Les présentes règles s'appliquent dans le cadre du modèle de calcul très simplifié consistant à admettre que, sous une fondation superficielle, la relation liant en tous points le déplacement vertical «Y» et la pression « P » exercée par le sol.

Elles ont pour but de donner une évaluation du coefficient k à partir des essais œdométriques. Une telle modélisation peut être utile pour évaluer la répartition des sollicitations sous une fondation.

❖ Principe

Le principe retenu consiste à évaluer le tassement s de la fondation sous l'effet d'une pression uniforme.

Le calcul du module de réaction K_v à partir d'un essai oedométrique est important pour l'évaluation des interactions sol-structure, particulièrement dans les fondations superficielles: Un essai œdométrique permet de déterminer la déformation d'un échantillon de sol sous une contrainte unidirectionnelle. Il mesure le coefficient de compressibilité volumique, qui est l'inverse du module de déformation œdométrique E_o .

❖ Relation entre E_{od} et K_v .

Le module œdométrique E_{od} est une mesure de la rigidité du sol sous une dalle ou une plaque rigide. Il est donné par la formule :

$$E_{od} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\delta}$$

Où $\Delta\sigma$ est la variation de contrainte et $\Delta\delta$ déformation.

est la variation de

$$K = \frac{E_o}{B(1 - \nu^2)}$$

Pour relier E_{od} et K_v , on utilise souvent :

Où :

- E_o est le module de déformation œdométrique obtenu à partir de l'essai oedométrique.
- B est la largeur de la fondation ou de la plaque.
- ν est le coefficient de Poisson du sol.

En se basant sur l'essai œdométrique réalisé sur le sol d'assise, composé de la formation rencontrée de la marne jaunâtre à brunâtre.

➤ Données de calcul :

$\nu = 0.35$ pour les sols fins (très argileux).

$B = 1.5m$ (dimension de la semelle filante de $1.50 \times 10.0m$)

$E_{od} \approx 49.13bar$.

➤ Application numérique : Valeur de $K_v = 37.3bar = 373T/m^2$



VI. LIQUEFACTION DES SOLS :

1. DESCRIPTION DU PHENOMENE :

La liquéfaction est un phénomène dans lequel la résistance au cisaillement d'un sol est réduite par les secousses d'un séisme ou d'un autre chargement rapide. La liquéfaction se produit dans les sols pulvérulents saturés d'eau ; la présence d'eau provoque une pression interstitielle sur les particules de sol, ce qui fait la diminution des contraintes effectives régnant dans le sol et donc une diminution de sa résistance au cisaillement qui, à l'état ultime, peut devenir nulle.

Avant un séisme, la pression de l'eau est relativement basse. Cependant, les secousses d'un séisme peuvent causer une augmentation considérable de la pression d'eau interstitielle jusqu'au point où les particules de sol peuvent facilement se déplacer l'une par rapport à l'autre.

2. EXPLICATION DU PHENOMENE :

La liquéfaction est un phénomène qui se produit sous sollicitation sismique (éventuellement, en bord de mer sous l'effet de la houle ou par suite d'une activité sismique). Le passage d'une onde sismique provoque, dans certaines formations géologiques, la perte de résistance d'un matériau sableux saturé en eau dans un état lâche, liée à une augmentation de la pression interstitielle engendrée par les déformations cycliques. La déconsolidation brutale du matériau se traduit par la déstructuration du sol, rendant particulièrement instables les constructions reposant sur ces formations.

Le phénomène de liquéfaction concerne certaines formations géologiques, Définies par :

- ❖ Leur nature : sables, limons, vases
- ❖ Leur cohésion : formations peu compactes
- ❖ Leur degré de saturation en eau : la formation doit être saturée en eau
- ❖ Leur granulométrie : granulométrie uniforme, comprise entre 0,05 et 1,5 mm.

La liquéfaction est donc effective lorsque les pressions interstitielles avoisinent la pression de confinement, diminuant ainsi (jusqu'à annuler) les contraintes effectives du matériau. Il est donc pour cela nécessaire que le matériau considéré soit saturé. De plus, il apparaît que la granulométrie du matériau considéré a une certaine importance, les sols susceptibles de liquéfier sous chargement cyclique étant limoneux à sableux.

À l'état initial, les grains sont au repos ; ils sont dans un environnement saturé et dans un état relativement lâche. Ils sont en contact les uns avec les autres,



permettant la transmission des efforts s'exprimant à plus grande échelle par la notion de contraintes effectives. Lors d'un chargement dynamique, une réorganisation des grains se produit. En conditions non drainées, cette réorganisation se traduit par une montée en pression de l'eau interstitielle puisque les grains n'occupent plus un volume suffisant pour entretenir la transmission des contraintes effectives initiales. Celles-ci s'annulent donc, ce qui a pour conséquence la montée en pression de l'eau interstitielle jusqu'à égaler les contraintes totales. Les contacts entre les grains sont alors très faibles et l'ensemble se comporte comme un liquide ; il y a liquéfaction du matériau.

3. EVALUATION DU POTENTIEL DE LA LIQUEFACTION A PARTIR DES ESSAIS AU LABORATOIRE :

Les sols fins tel que les argiles et les marnes avec :

- Un degré de saturation $S_r = 100\%$.
- Un diamètre $D_{15} \geq 0.005\text{mm}$
- Limite de liquidité $WL\% \leq 35\%$
- Le rapport W_{nat}/WL est ≥ 0.90

Le tableau ci-dessous permet leur comparaison aux limites de liquéfiabilité des sols fins :

Paramètre géotechnique :	Sol d'assise :	Mesures	Condition de liquéfiabilité
D_{15} (mm)	Marnes jaunâtres à brunâtres.	$< 0.002\text{mm}$	$\geq 0.005\text{mm}$
$WL\%$		49 à 56	$\leq 35\%$
W_{nat}/WL		0.214 à 0.313	≥ 0.90

Selon l'analyse des résultats, on constate que les sols de la marne jaunâtre à brunâtre sont **non liquéfiables**.

VII. FONDATEMENTS DES CONSTRUCTIONS :

Ainsi, d'après la reconnaissance géotechnique et le relevé visuel détaillé in situ, nous préconisons ce qui suit :

🔧 Type de fondation :

📌 **Variante 1** : - Semelles filantes entrecroisées (dans les deux sens), et assises sur 30cm de gros béton.

-Voiles périphériques.

📌 **Variante 2** - Radier général assis sur un Matelas d'homogénéisation

en matériaux d'apport stables du type grave traitée à 4% du ciment (0/40 mm ; $IP \leq 8\%$), correctement compactée en couche de 0.20m à $I_c \geq 95\%$ de l'OPN, suivie d'un matelas d'homogénéisation en matériaux d'apport stables du type grave non traitée (0/40 mm ; $IP \leq 8\%$), correctement compactée en couche successives de 0.20m à $I_c \geq 95\%$ de l'OPN.

- Voiles périphériques

- ☞ Sols d'assise : Marne jaunâtre à brunâtre.
- ☞ Fiche d'ancrage : à partir de 2.50m à 3.00m par rapport au terrain naturel
- ☞ Contraintes de service : -sera limitée à 1.50 bars soit 15t/m².

VIII. ETUDE DU CORPS ET DE DALLAGE DE LA CIRCULATION:

VIII/ A - Résultats des essais d'identification des sols rencontrés :

L'analyse des résultats des essais sur les sols de fond de forme (annexe VI), a permis de considérer, selon la classification du laboratoire des ponts et chaussées LCPC, une seule famille des sols à savoir :

☞ Famille de la marne jaunâtre à brunâtre : A₃

VIII/ B - Essais mécaniques sur sols du fond de forme :

Sur la famille ainsi définie, il a été réalisé des essais mécaniques de compactage Proctor modifié PM et de poinçonnement CBR, les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux suivants :

➤ Essai Proctor modifié :

	Référence	Proctor modifié	
		δ_{max} (t/m ³)	Wopt (%)
Famille A ₃	5221/7	1.78	12.60

➤ Essai de portance C.B.R :

Référence	Caractéristiques	Essai immédiat (d) (%)			Essai après immersion (i) (%)			C.B.R (d) C.B.R (i)
		14 OPN c/c	25 OPN c/c	56 OPM c/c	14 OPN c/c	25 OPN c/c	56 OPM c/c	
Famille 5221/7 A ₃	C.B.R	8.2	10.2	13.2	5.8	7.1	9.0	1.40
	W (%)	12.6	12.6	12.6	13.8	14.7	15.6	à
	G (%)	-	-	-	1.25	1.11	0.09	1.47

On note que :

• Pour cette formation de la marne jaunâtre à brunâtre :

- ☞ La chute de portance après imbibition est moyenne à relativement importante pour cette famille.
- ☞ Le gonflement après imbibition est moyen.

Les résultats obtenus permettent de classer cette famille en :

☞ ST₁ : CBR = 7,0.



Toutefois, il faut soigner l'assainissement de la plate-forme pour maintenir une bonne portance des sols du fond de forme.

VIII/C PROPOSITION DES STRUCTURES :

C1-/ Méthodologie:

La méthode de dimensionnement utilisée est celle du catalogue pour le dimensionnement des voiries des lotissements en zones urbaines. Elle est basée sur :

- L'indice de sollicitation de la voie.
- La portance du sol de la plate-forme.

C2 -/ Trafic :

L'agressivité du trafic est classée selon son importance, par un indice de sollicitation des dallages de circulation.

❖ Voie d'accès et parking.

C3-/ Sols de fond de forme :

La campagne de reconnaissance et les essais de laboratoire ont mis en évidence que les sols de fonds de forme sont essentiellement constitué, après décapage de la terre végétale, de la marne jaunâtre à brunâtre.

C4 -/ Dimensionnement :

Les données et les résultats fournis par la présente étude et rentrant dans le dimensionnement de la structure de la voirie projetée sont les suivants :

- **Climat :** Zone **humide** selon le catalogue marocain des structures type des chaussées neuves.
- **Classe trafic :** Voir 7-2
- **Portance des sols de la plate- forme :** - $ST_1 = P_1$.

Pour ces paramètres d'entrée et moyennant un dispositif de drainage, les structures proposées sont comme suite :

Variante 1 :

Couche du roulement en enrobé bitumineux.

10cm AC + 15cm GNF₁ + 15cm GNA + 5cm EB.
10cm AC + 20cm GNF₂ + 15cm GNA + 5cm EB.
10cm AC + 25cm GNF₃ + 15cm GNA + 5cm EB.

10cm AC + 15cm GNF₁ + 20cm GNB + 5cm EB.
10cm AC + 20cm GNF₂ + 20cm GNB + 5cm EB.
10cm AC + 25cm GNF₃ + 20cm GNB + 5cm EB.



Variante 2 :

Couche du roulement en dalle imprimée armée.

10cm AC + 15cm GNF₁ + 15cm GNA + dallage armé.
10cm AC + 20cm GNF₂ + 15cm GNA + dallage armé.
10cm AC + 25cm GNF₃ + 15cm GNA + dallage armé.

10cm AC + 15cm GNF₁ + 20cm GNB + dallage armé.
10cm AC + 20cm GNF₂ + 20cm GNB + dallage armé.
10cm AC + 25cm GNF₃ + 20cm GNB + dallage armé.

Variante 3 :

Couche du roulement en dalle pavage autobloquant.

10cm AC + 15cm GNF₁ + 15cm GNA + Pavé.
10cm AC + 20cm GNF₂ + 15cm GNA + Pavé.
10cm AC + 25cm GNF₃ + 15cm GNA + Pavé.

10cm AC + 15cm GNF₁ + 20cm GNB + Pavé.
10cm AC + 20cm GNF₂ + 20cm GNB + Pavé.
10cm AC + 25cm GNF₃ + 20cm GNB + Pavé.

Avec :

- **EB** : Enrobé bitumineux.
- **GNA** : Grave non traitée pour couche de base type A.
- **GNB** : Grave non traitée pour couche de base type B.
- **GNF₁** : Grave non traitée pour couche de fondation type 1.
- **GNF₂** : Grave non traitée pour couche de fondation type 2.
- **GNF₃** : Grave non traitée pour couche de fondation type 3.
- **AC** : Couche anticontaminante.

Ces matériaux pour corps de chaussées et de dallages doivent être conformes aux spécifications du catalogue des structures rappelées en **annexe VII**.

VIII/D DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES :

- 3 La ligne rouge des voiries doit être surélevée par un remblai insensible à l'eau dans les parties inondées du lotissement.
- 3 Il est conseillé de garantir des densités sèches des remblais avec :
 - **90%** de la densité sèche de l'OPM dans le corps des remblais.
 - **95%** de la densité sèche de l'OPM dans les 50cm supérieurs des remblais.
- 3 Le sol du fond de forme à compacter doit avoir une teneur en eau de l'OPM.
- 3 Des dispositions relatives à l'assainissement pour les aires de circulation doivent être proposées par le BET chargé de l'étude afin d'assurer la pérennité des voiries à construire.



IX. ETUDE DES TRANCHEES D'ASSAINISSEMENT :

POSSIBILITÉ DE LA RÉUTILISATION DES DÉBLAIS EN REMBLAIS DES TRANCHEES:

À la lumière des résultats obtenus sur les sols rencontrés, on peut conclure que :

- Les marne jaunâtres à brunâtres sont non réutilisables en remblai des tranchées d'assainissement à leur état ; Pour leur réutilisation, il est nécessaire de les corriger ou de les traiter.

Toutefois, Pour chaque catégorie des sols rencontrés, une planche d'essai sera nécessaire dont le but de vérifier l'adéquation de la méthodologie et les moyens de mise en œuvre, et ce pour atteindre des objectifs suivants :

- L'épaisseur nominale des couches.
- La nature, le type des compacteurs.
- Le nombre de passe minimal et maximal.

MATÉRIAUX POUR LIT DE POSE :

- Le lit de pose en gravier sera réalisé dans le cas où le fond de fouille est en rocher, et dans le cas où l'on trouve d'eau.
- Le lit de pose en sable ou en terre fine non plastique ($IP < 8\%$).

STABILITÉ DES FOUILLES :

La largeur nominale de la tranchée en tout terrain sera définie comme suit :

Diamètre nominal de la conduite DN	Largeur nominale de la tranchée
DN<150	0.60m
150<DN<300	DN/1000 + (2 x 0.25m)
300<DN<500	DN/1000 + (2 x 0.30m)
500<DN<1000	DN/1000 + (2 x 0.40m)

E : Etant l'encombrement extérieur de l'about femelle en m.

- Les fruits des parois des tranchées à adopter sont définis comme suit :

- 0.1H/1V : pour les terrains rocheux.
- 0.5H/1V : pour les terrains meubles.

- En cas de la présence des eaux de la nappe phréatique lors de la période pluvieuse (remontée de la nappe phréatique, les matériaux d'apport aux fonds de fouilles doivent être en gravier ou de pierre cassée avec un drainage proprement dit et consolidation des sols en place en raison de l'instabilité des sols aquifères ou de risques d'affouillement par des eaux incluses.

- L'étayage, le blindage, les passerelles et l'entretoisement dans les tranchées du fruit instable (remblai instable, alluvions,...etc) seront nécessaire à fin de prévenir des accidents des ouvriers et de supporter avec sécurité les pentes latérales des fouilles.

- Enfin, nous recommandons vivement de ne pas laisser les fouilles ouvertes pendant longtemps pour éviter la déconsolidation des sols en place.



X. MODE DE TERRASSEMENT :

Les terrassements classiques intéresseront principalement les formations suivantes :

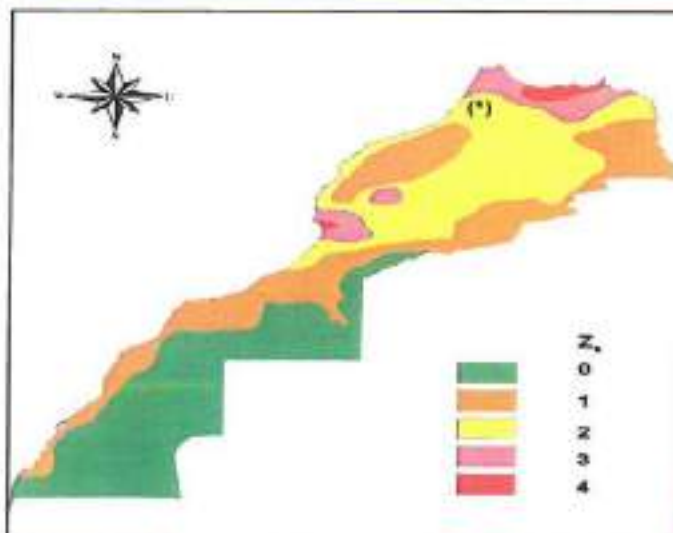
- Terre végétale.
- Marne jaunâtre à brunâtre.

Sont terrassables par des engins pneumatiques à godets.

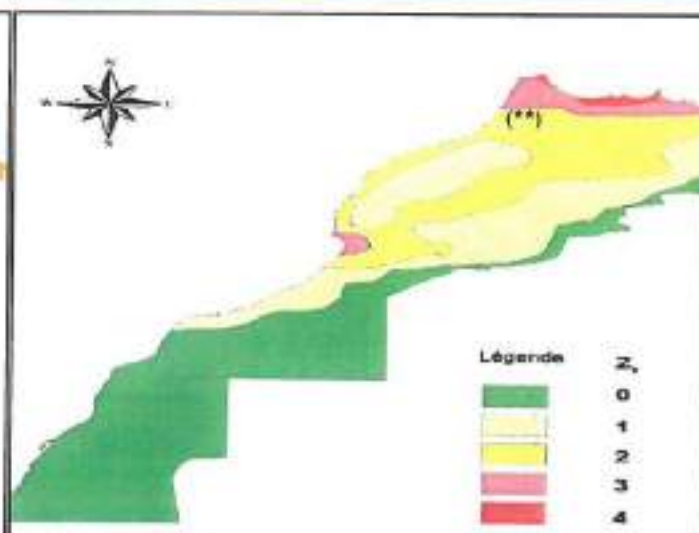
XI. DISPOSITION PARASISMIQUE :

Selon le règlement de construction parasismique RPS 2011 applicable aux bâtiments (publié au Bulletin Officiel le 21/11/2013), les paramètres qui doivent être pris en considération afin de permettre aux bâtiments de résister convenablement aux secousses sismiques sont récapitulés dans le tableau suivant :

Paramètres parasismiques	Coefficients
Zone sismique (Zs)*	2
Zone sismique (Zv)**	2
Vitesse maximale au sol (m/s)	0.10
Classe	II
Facteur de priorité par asismique	1.2
Type du site	S ₂
Coefficient du site	1.2
Système de contreventement	Voiles + Portique
Coefficient d'accélération du sol (A)	0.08
Niveau de ductilité (ND)	ND1
Coefficient de ductilité (K)	2.0
Période fondamentale (T)	$T = 0.075 H^{3/4}$ (H : Hauteur totale du bâtiment)
Facteur d'amplification dynamique (D)	1.94
Facteur d'amortissement (ζ en %)	5



Carte des zones d'accéléérations maximales au sol



Carte des zones de vitesses maximales au sol



XII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :

Dans le cadre de l'étude géotechnique du terrain réservé au projet de construction d'un complexe multiservice, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes; et à la demande de la **Nédharat des habous de Ksar El Kebir « BON DE COMMANDE N° 05/2025 »**. Le Laboratoire Méditerranéen du Bâtiment et des Routes **LMBR** - Fès, a abouti à la conclusion et aux recommandations suivantes :

❖ **CONCLUSION :**

XII-1-LITHOLOGIE DU TERRAIN :

Les coupes lithologiques sont données en **annexe V**.

XII-2-CARACTÉRISTIQUES DES FORMATIONS RENCONTRÉES :

Les résultats des essais en Laboratoire sont présentés en **annexe VI** et ont été commentés dans le texte du présent rapport.

XII-3-TYPE DE FONDATION ET NIVEAU D'ASSISE :

Ainsi, d'après la reconnaissance géotechnique et le relevé visuel détaillé in situ, nous préconisons ce qui suit :

☞ **Type de fondation :**

☛ **Variante 1** : - **Semelles filantes entrecroisées** (dans les deux sens), et assises sur 30cm de gros béton.

-**Voiles périphériques.**

☛ **Variante 2** - **Radier général** assis sur un Matelas d'homogénéisation

en matériaux d'apport stables du type grave traitée à 4% du ciment (0/40 mm ; $IP \leq 8\%$), correctement compactée en couche de 0.20m à $I_c \geq 95\%$ de l'OPN, suivie d'un matelas d'homogénéisation en matériaux d'apport stables du type grave non -traitée (0/40 mm ; $IP \leq 8\%$), correctement compactée en couche successives de 0.20m à $I_c \geq 95\%$ de l'OPN.

- **Voiles périphériques**

☞ **Sols d'assise** : Marne jaunâtre à brunâtre.

☞ **Fiche d'ancrage** : à partir de **2.50m à 3.00m** par rapport au terrain naturel

Contraintes de service : -sera limitée à **1.50 bars** soit **15t/m²**.

Signalons que lors de notre reconnaissance (**Décembre 2025**) nous n'avons relevé aucune venue d'eau au niveau des sondages et des profondeurs réalisés.

❖ **RECOMMANDATIONS :**

1- pour la construction des bâtiments :

- ✓ Le terrassement nécessitera, **obligatoirement**, l'étalement des parois vis-à-vis des risques d'éboulement des formations superficielles lâches.



- ✓ Le bâtiment doit être protégé par un trottoir périphérique en béton de 1.50 à 2.00m de largeur évacuant les eaux loin de son emprise et assis sur un blocage en pierres rocheuses ou sur un tout – venant, insensible à l'eau, de bonnes caractéristiques de compactage (indice de compactage supérieur à 95% de l'OPN).
- ✓ Les murs voiles périphériques seront dimensionnés par le BET en tenant compte de la poussée des terres suivant un coefficient au repos $K_0 = 1$ en plus de la poussée des charges voisines éventuelles.
- ✓ Il est impérativement de laisser une distance sécuritaire avec les fondations des bâtiments mitoyens dans le but de respecter la règle de 3h/2v.
- ✓ Les niveaux de fondation au sein de même construction doivent être tels qu'une pente maximale de 3 de base pour 2 de hauteur.
- ✓ L'ensemble des fondations du projet devra être établi sur un sol d'assise le plus homogène possible, en nature et en compacité.
- ✓ Les fondations seront réalisées dans le respect des normes en vigueur et selon les règles de l'art. Ils seront exécutés en période climatique favorable ;
- ✓ Le rattrapage éventuel des niveaux de fondation pourra être fait par du gros béton.
- ✓ Il est vivement recommandé au client de faire procéder au moment de l'ouverture des fouilles de semelles, à une visite de chantier par un spécialiste du laboratoire. Cette visite a pour objet de vérifier que la nature des sols et la profondeur de l'horizon de fondation sont conformes aux données de l'étude.
- ✓ Enfin, tout incident important survenant en cours des travaux doit être immédiatement signalé au laboratoire pour lui permettre de reconsolider et d'adapter éventuellement les solutions initialement préconisées.

2- pour l'aménagement extérieur :

- 3 Il est conseillé de garantir des densités sèches des remblais avec :
 - 90% de la densité sèche de l'OPM dans le corps des remblais.
 - 95% de la densité sèche de l'OPM dans les 50cm supérieurs des remblais.
- 3 Le sol du fond de forme à compacter doit avoir une teneur en eau de l'OPM.
- 3 Des dispositions relatives à l'assainissement efficace de l'assiette du projet notamment afin d'assurer la pérennité des voiries et des dallages à construire.
- 3 Respecter les spécifications des matériaux du futur corps de chaussées détaillées en annexe VII.

Fin du texte

Le Directeur Technique
ABDEL FATTAH TERRASS

Le Directeur de LMBR/Fès
DAFIR RHELLAB

ANNEXES



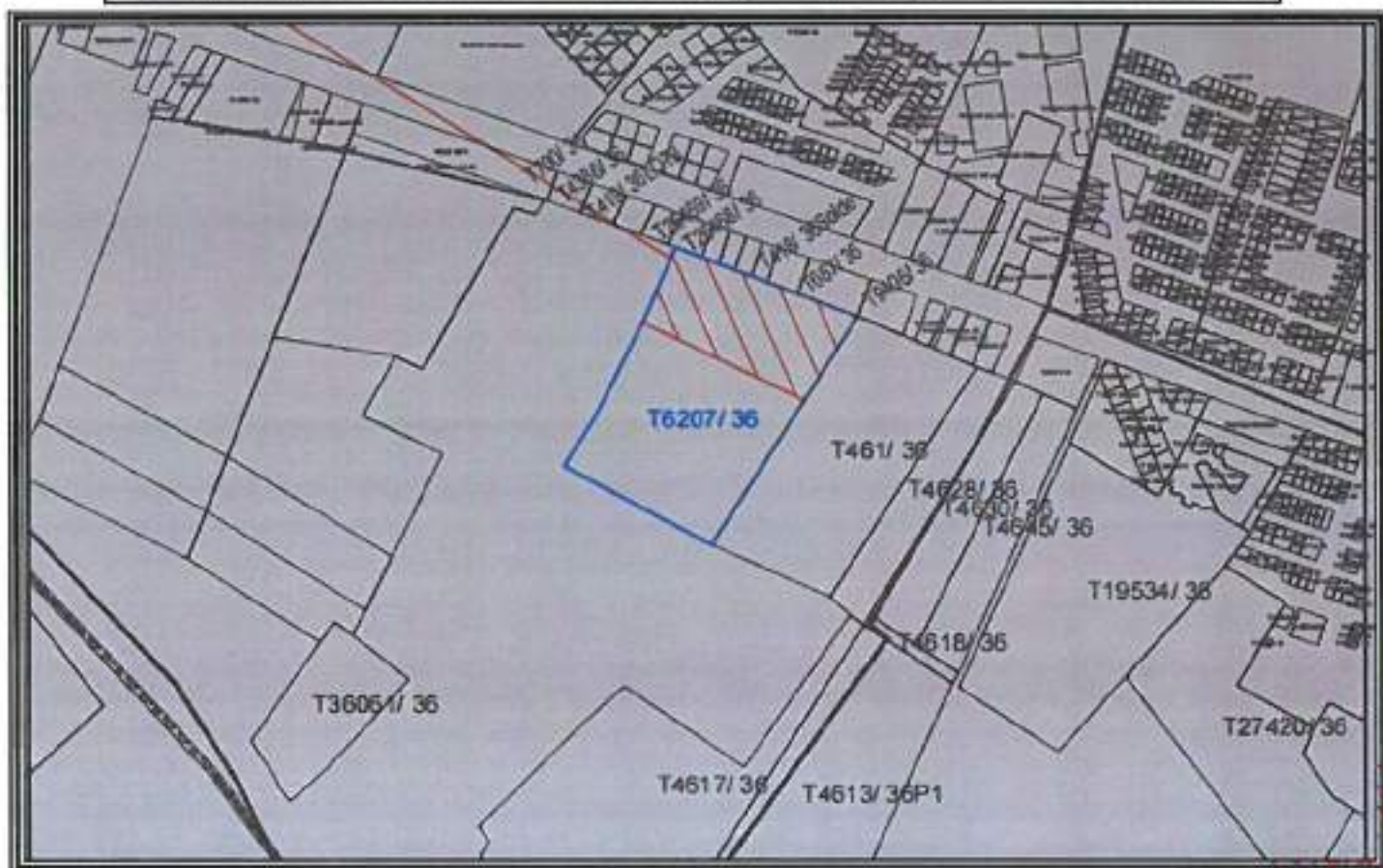
ANNEXE I

- Situation du projet



Situation du site du projet

Extrait de la carte topographique



Situation du site du projet

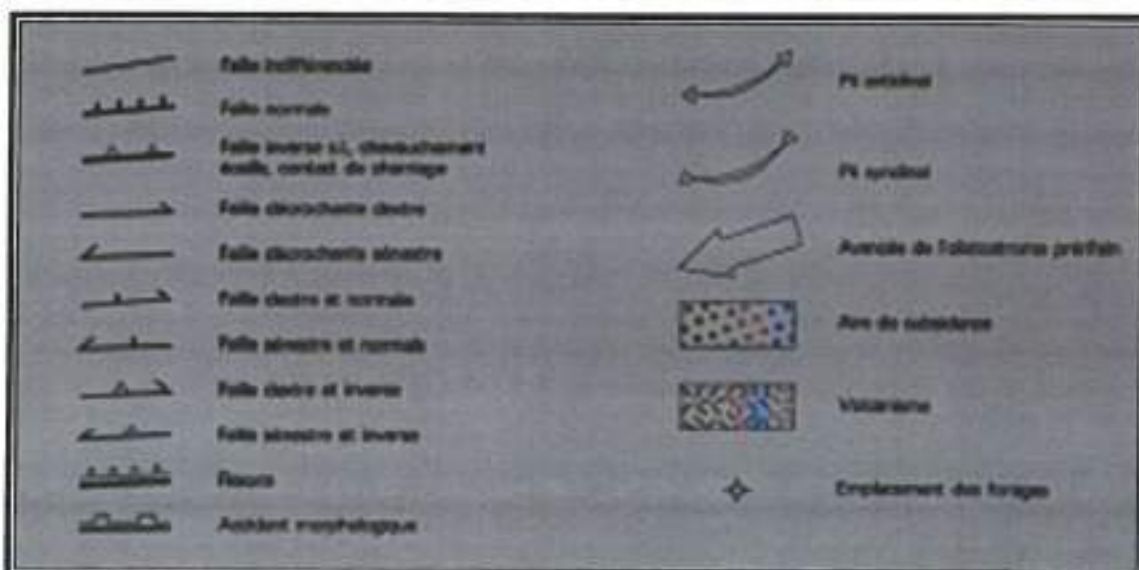
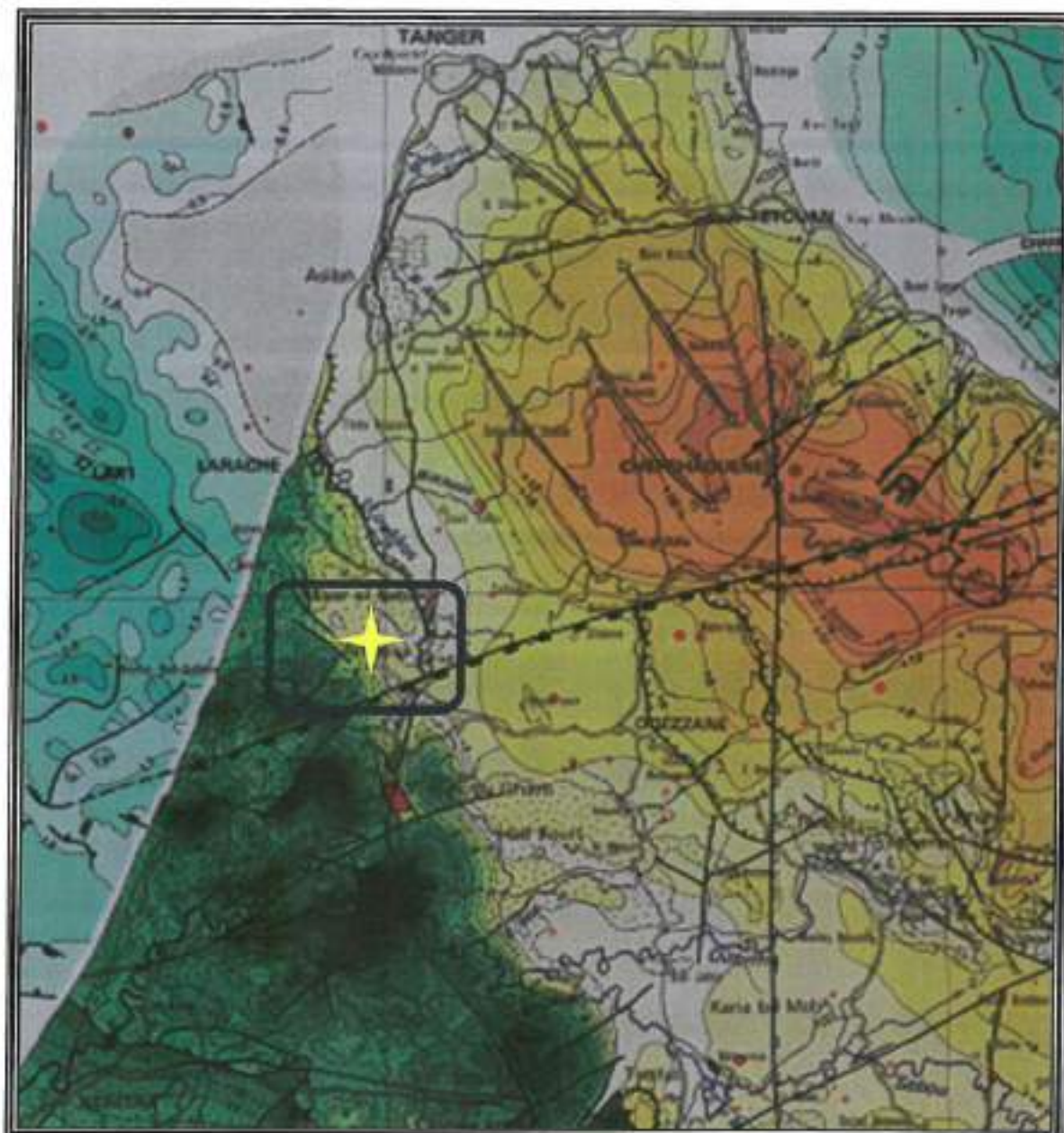


ANNEXE II

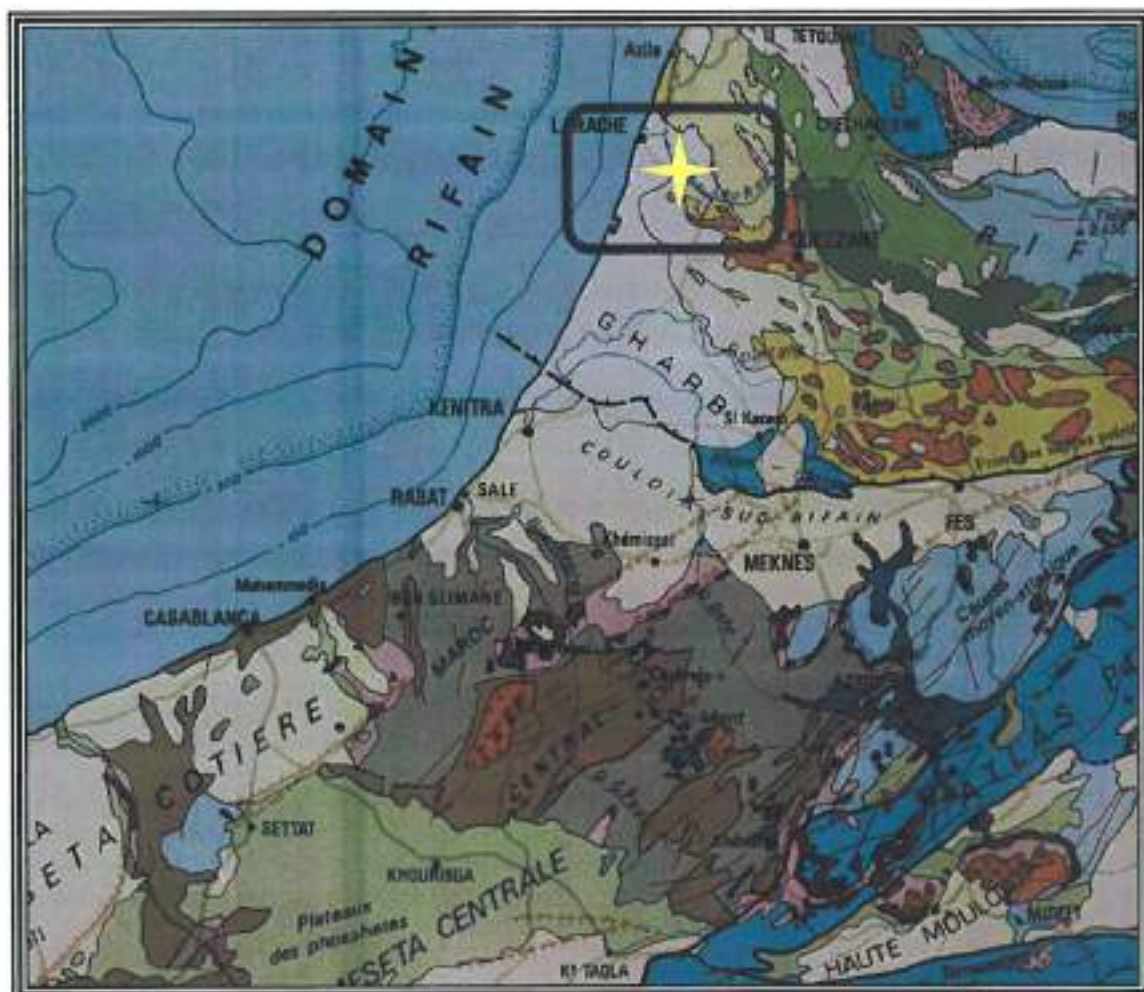
- Carte néotectonique
- Carte structurale
- Carte géologique



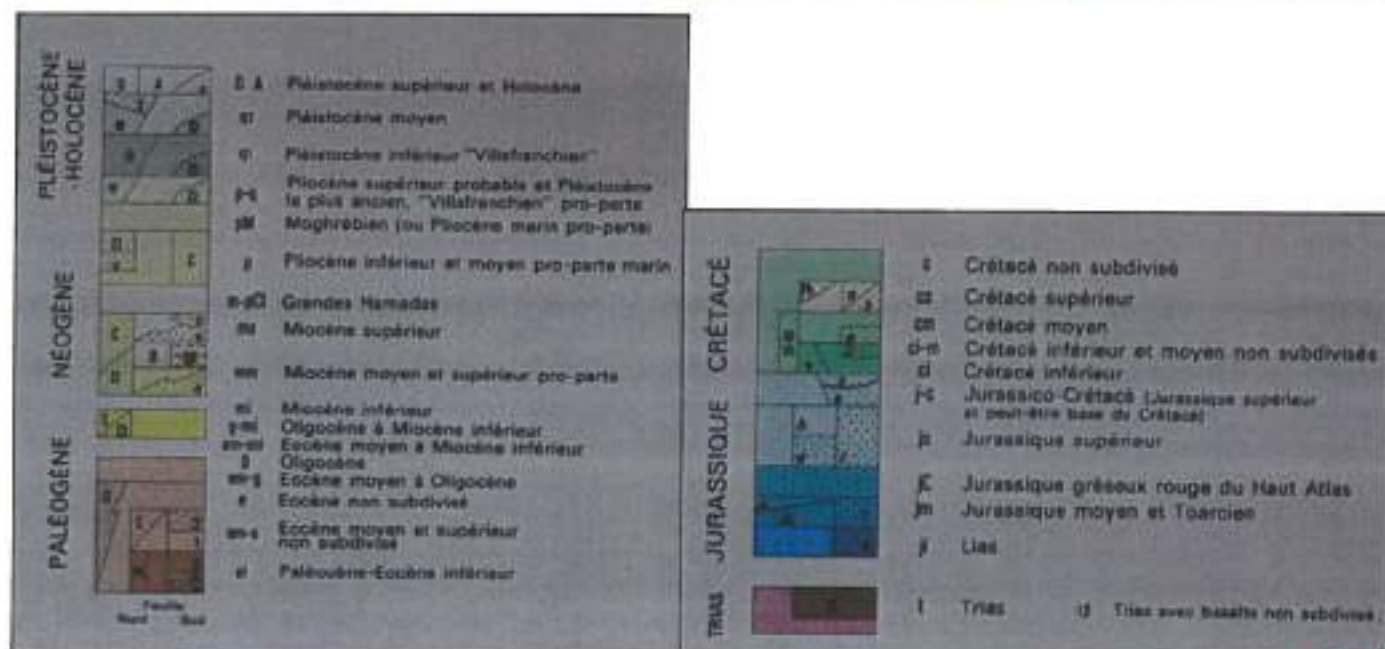
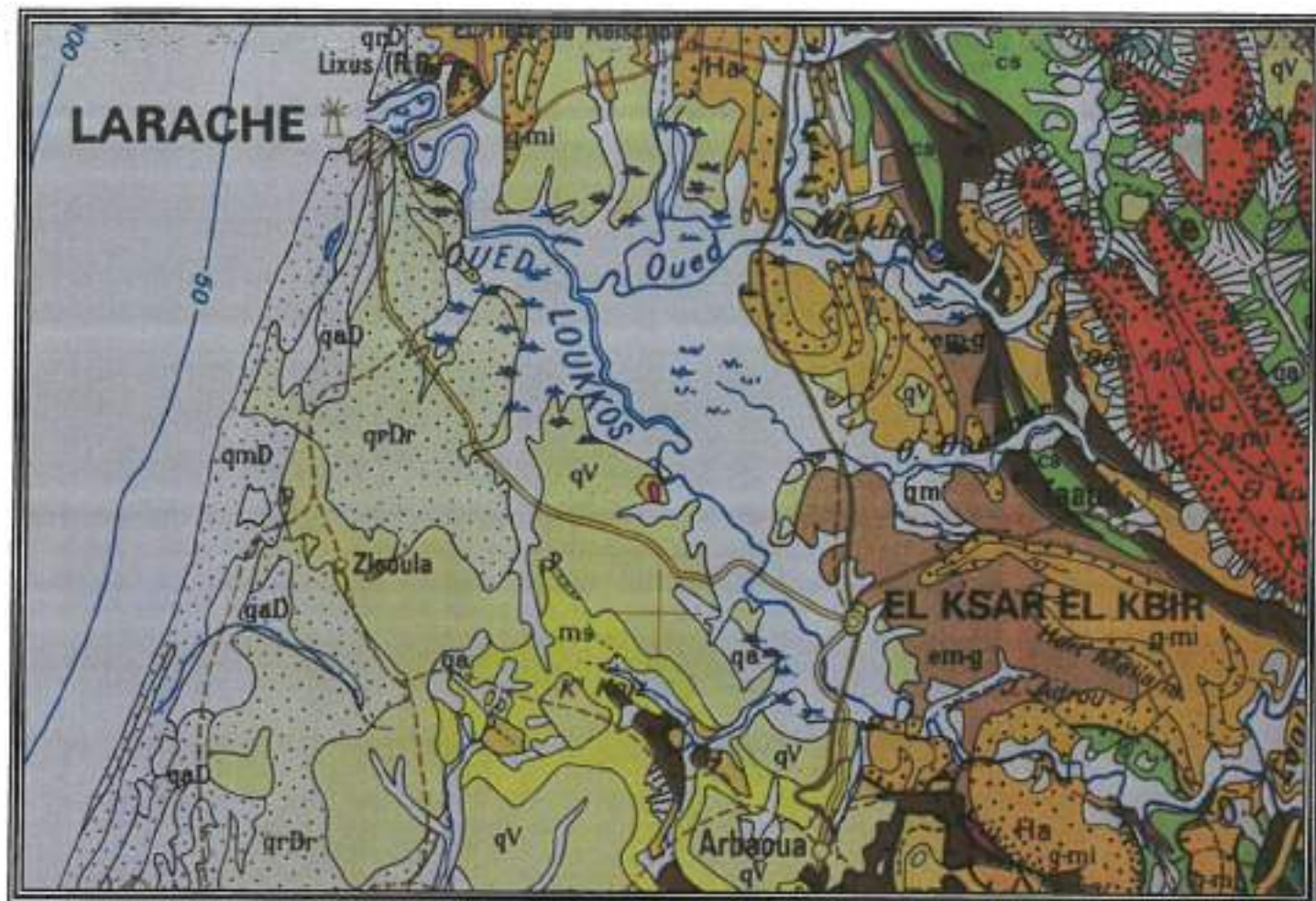
Carte néotectonique



Carte structurale



Extrait de la carte géologique de la région

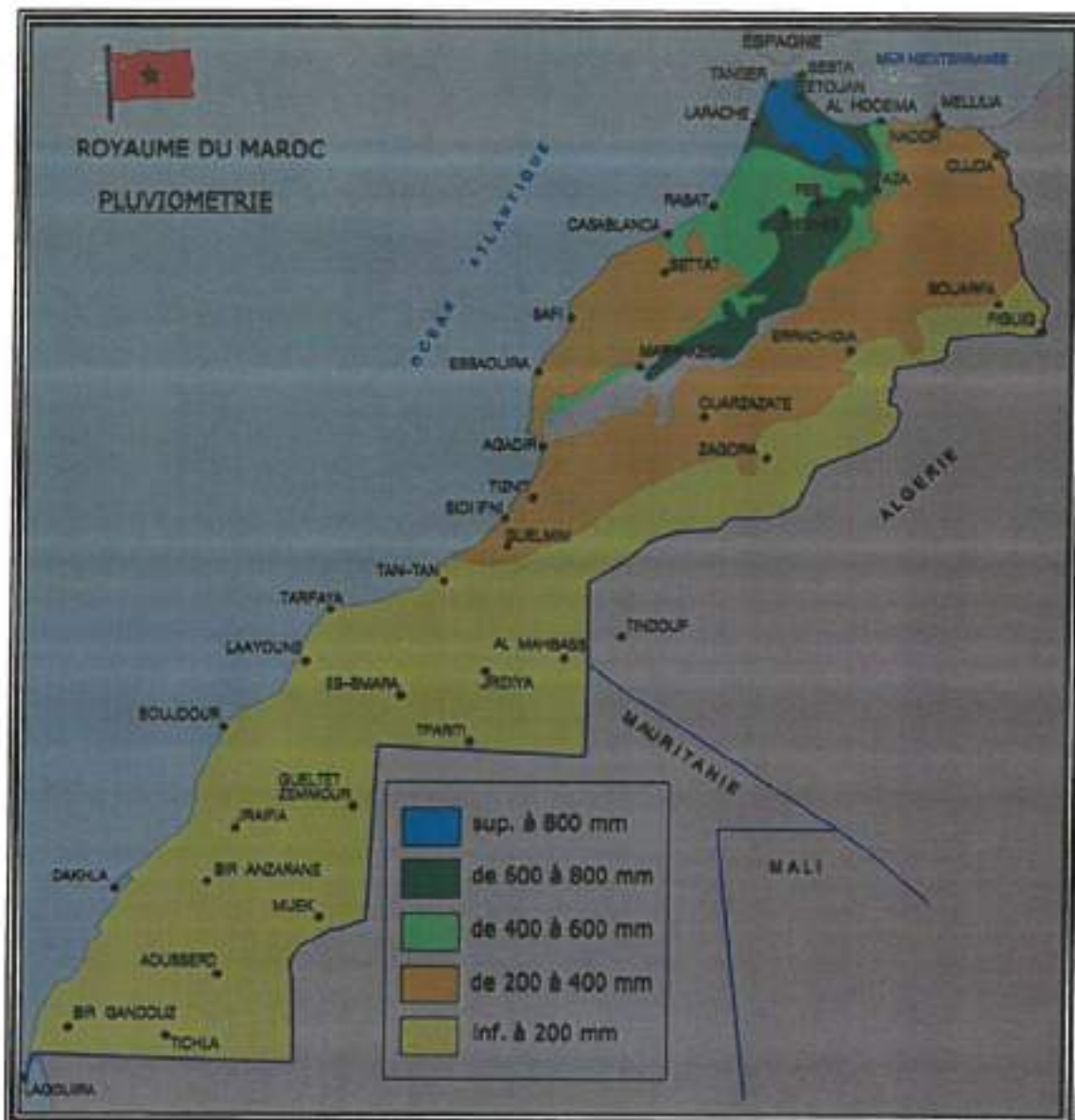


ANNEXE III

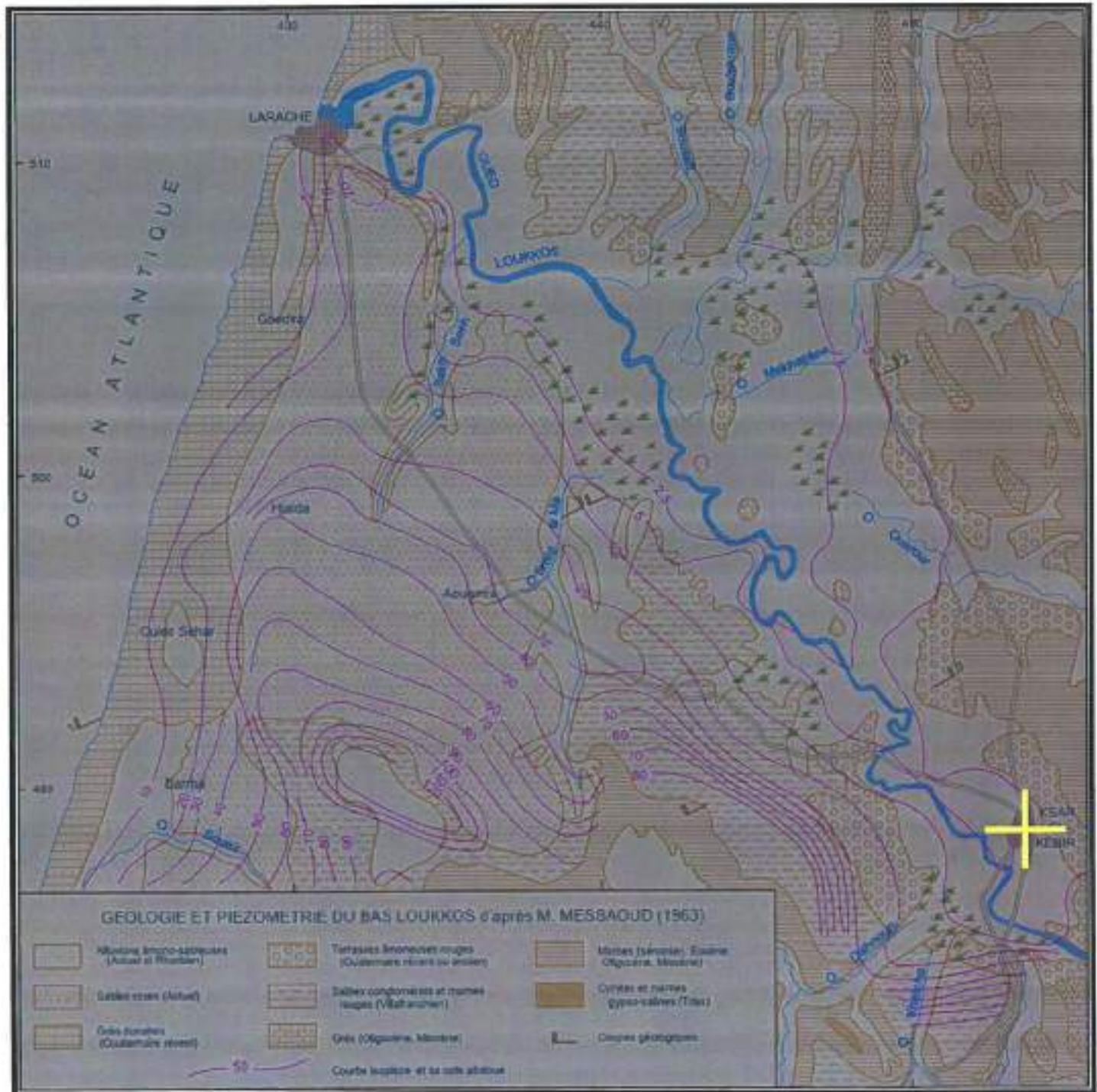
- ~ Carte pluviométrique
- ~ Carte hydrogéologique



❧ Carte pluviométrique du Maroc ❧



Extrait de la carte hydrogéologique de la plaine de Loukkos bas



ANNEXE IV

Implantation des sondages



✧ Implantation des sondages ✧



: Sondage carotté Sci



: Sondage mécanique Smi

ANNEXE V

Coupes des sondages mécaniques et des sondages carottés



Sondage n°: Pm ₁			Sondage : mécanique							Date du : 05/12/ 2025		
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025										Eau à : Néant		
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :	
				%H	%I	%H2	%Ip	%<0,08	%<2	%<50	LCPC	GMTR
0,00												
		Terre végétale.										
1,00												
2,00												
3,00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5221/1	11,7	1,75	54	25	99,3	100	100	AT	A ₃
4,00												
5,00												



Sondage n°: Pm ₂		Sondage : mécanique.					Date du : 05/12/ 2025					
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025							Eau à : Néant					
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :	
				%H	pl	%HT	%Hp	%<0,08	%<2	%<50	LCPC	GMTR
0.00												
		Terre végétale.										
1.00												
2.00												
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5221/2	16.8	1.76	53	24	97.8	100	100	AT	A ₃
4.00												
5.00												



Sondage n°: Pm1		Sondage : mécanique							Date du : 05/12/ 2025				
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025									Eau à : Néant				
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :		
				%H	pe	%H1	%Hp	%<0,08	%<2	%<50	LCPC	GMTR	
0.00													
		Terre végétale.											
1.00		Marne brunâtre lâche.											
2.00													
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5221/3	10.5	1.77	49	24	97.7	100	100	AT	A3	
4.00													
5.00													



Sondage n°: Pm ₂			Sondage : mécanique.							Date du 05/12/2025		
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025										Eau à : Néant		
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :	
				%H	%d	%H1	%H2	%d1,08	%<2	%<50	LCPC	GMTR
0.00												
		Terre végétale.										
1.00												
2.00												
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5221/4	13.0	1.75	52	25	98.0	100	100	AT	A ₃
4.00												
5.00												



Sondage n°: Pm:			Sondage : mécanique.							Date du : 05/12/ 2025		
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025										Eau à : Néant		
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :	
				%H	pe	%H?	%Ip	%<0.05	%<2	%<5	LCPC	GMTR
0.00												
		Terre végétale.										
1.00												
2.00												
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5221/5	13.9	1.77	56	27	97.3	100	100	AT	A3
4.00												
5.00												



Sondage n°: Pm ₆		Sondage : mécanique.				Date du : 05/12/ 2025						
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025						Eau à : Néant						
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :	
				%H	nd	%H1	%H2	%<0,08	%<2	%<50	LCPC	GMTR
0.00												
		Terre végétale.										
1.00												
2.00												
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5221/6	10.4	1.76	50	20	98.1	100	100	AT	A ₃
4.00												
5.00												



Sondage n°: Sc1		Sondage : Caroté								Date du : 9-13/12/2025		
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025										Eau à : Néant		
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :	
				%H	%d	%d1	%dp	%<0.05	%<2	%<50	LCPC	GMTR
0.00												
		Terre végétale.										
1.00												
2.00												
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5227/1	13.5	1.77	54	26	92.7	100	100	AT	A3
4.00												
5.00												
6.00												
7.00		Marne brunâtre consistante.										
8.00												
9.00												
10.00												



Sondage n°: Sc ₂		Sondage : Carotté					Date du : 9-13/12/2025						
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025							Eau à : Néant						
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification						Classification :			
				%H	pl	%H7	%dp	% < 0.08	% < 2	% < 50	LCPC	GMTR	
0.00		Terre végétale.	5227/2										
1.00													
2.00													
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.											
4.00													
5.00													
6.00													
7.00		Marne brunâtre consistante.											
8.00													
9.00													
10.00													



Sondage n°: Sc:			Sondage : Carotté.			Date du : 9-13/12/2025							
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025						Eau à : Néant							
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :		
				%d	pl	%dt	%dp	%<0.05	%<2	%<50	LCPC	GMTR	
0.00		Terre végétale.											
1.00													
2.00													
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.	5227/3	13.4	1.78	54	25	93.0	100	100	AT	A3	
4.00													
5.00													
6.00													
7.00		Marne brunâtre consistante.											
8.00													
9.00													
10.00													



Sondage n°: Sc ₄		Sondage : Carotté.					Date du : 9-13/12/2025					
Chantier : E.G d'un complexe multiservices, d'une bibliothèque et d'une résidence pour les étudiants et les étudiantes à la ville du Kser El Kébir BC N° 05/2025							Eau à : Néant					
Pr. (en m)	Coupe Litho	Description des formations	Ech	Identification							Classification :	
				%H	%L	%HV	%Lp	%dilat	%e-2	%e-50	LCPC	GMTR
0.00			5227/4	11.0	1.78	50	24	92.1	100	100	AT	A ₃
		Terre végétale.										
1.00												
2.00												
3.00		Marne jaunâtre à brunâtre.										
4.00												
5.00												
6.00												
7.00		Marne brunâtre consistante.										
8.00												
9.00												
10.00												

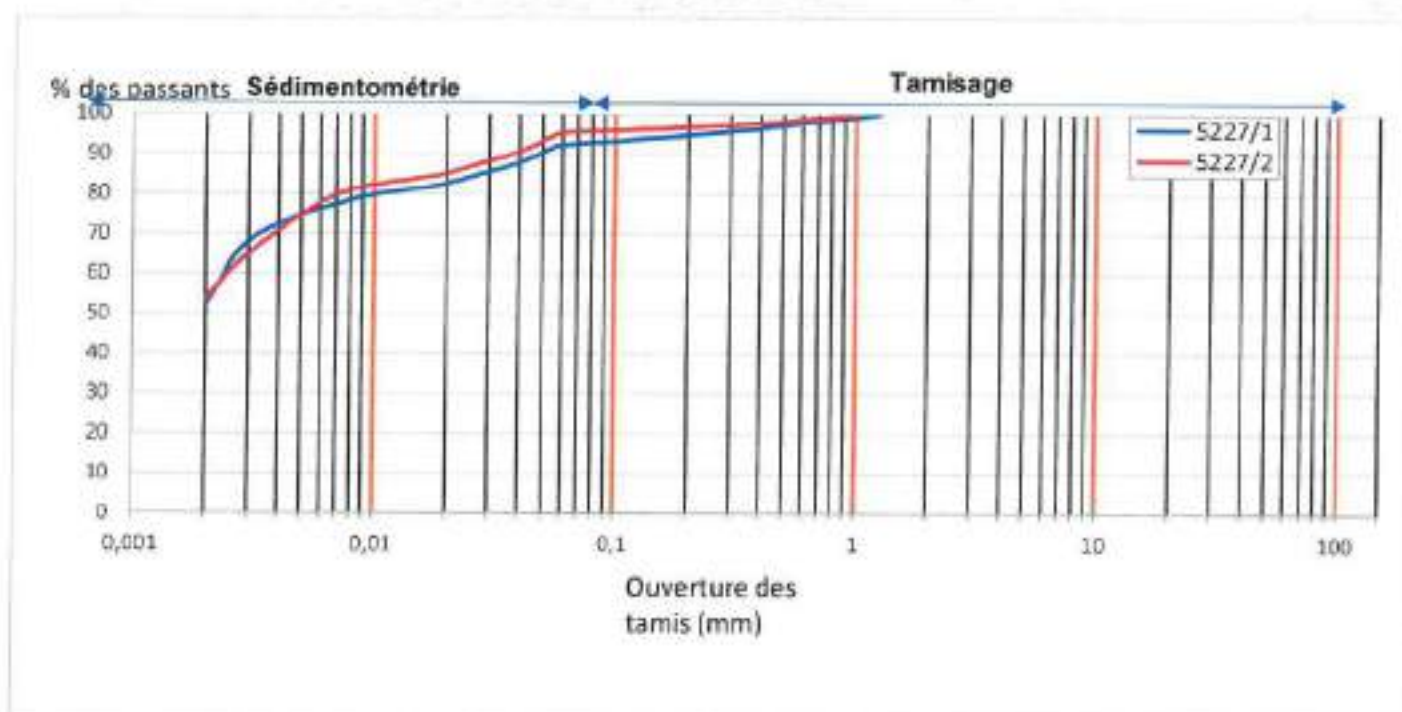


ANNEXE VI

Résultats des essais physiques et mécaniques



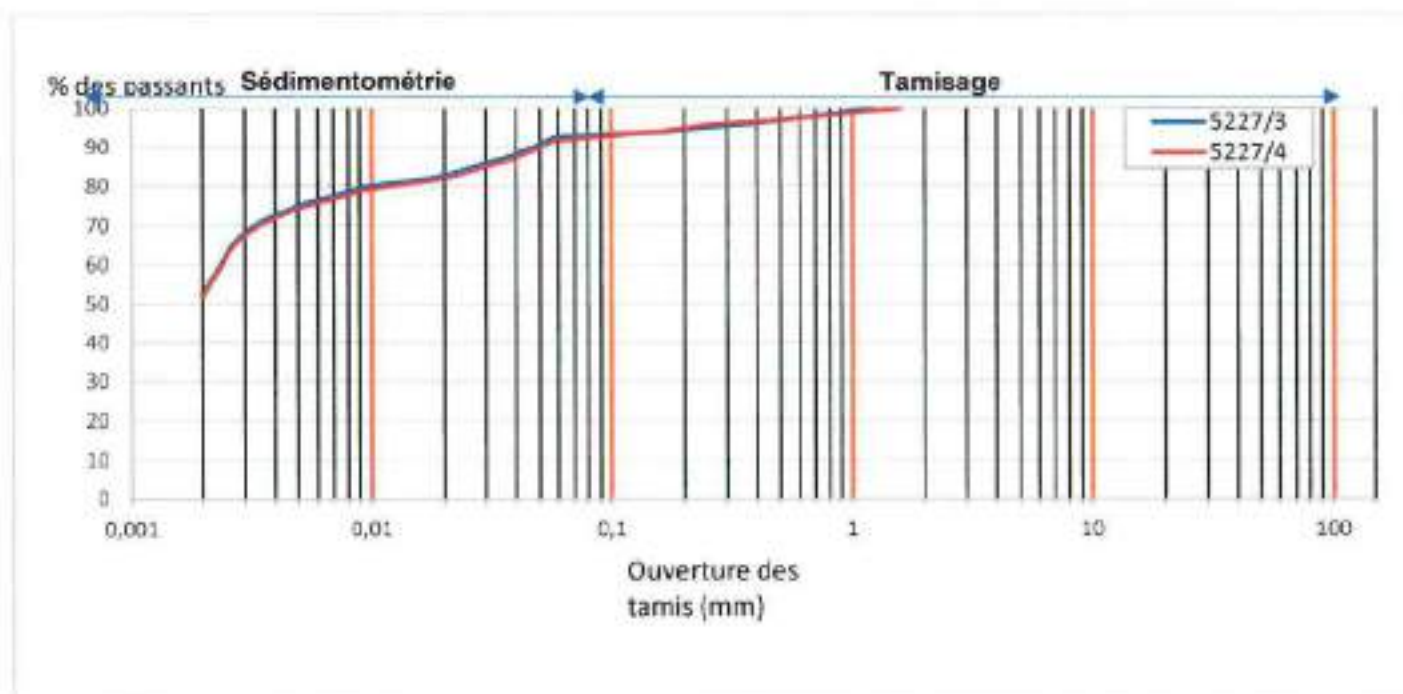
Analyse granulométrique par tamisage NM ISO17892-4



Légende	Réf. Ech.	Provenance	Nature lithologique
————	5227/1	S _{et} (0,50-5,00m)	Marnes brunes consistantes.
-----	5227/2	S _{c2} (0,80-5,00m)	



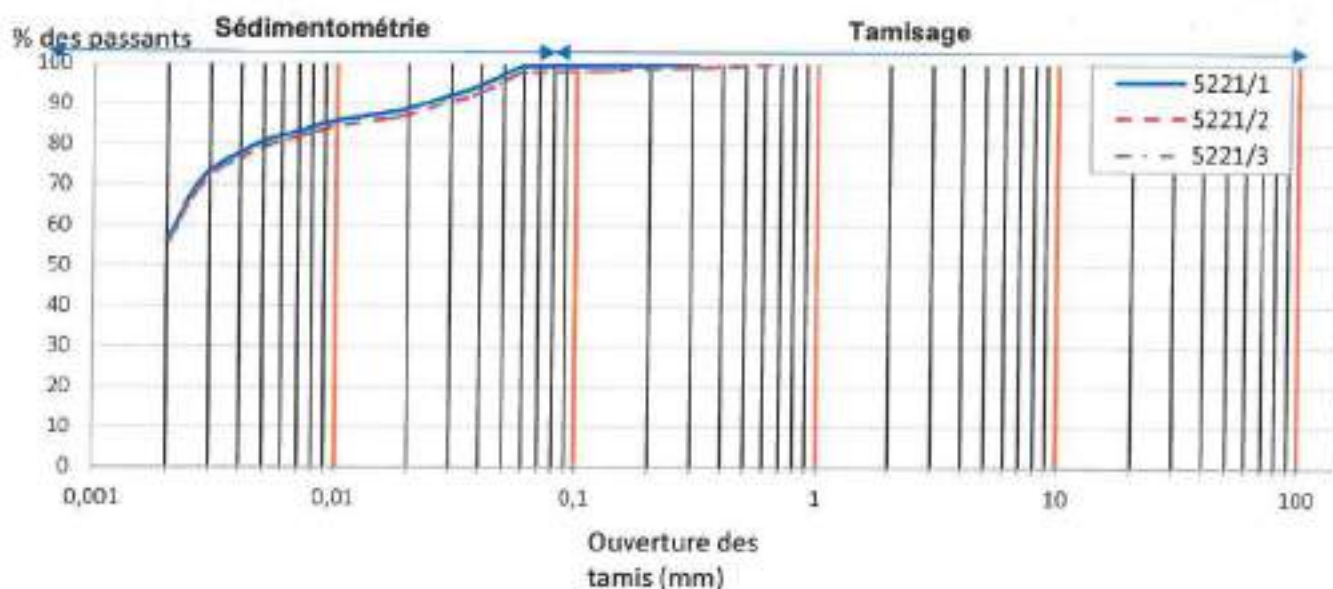
Analyse granulométrique par tamisage NM ISO17892-4



Légende	Réf. Ech.	Provenance	Nature lithologique
————	5227/3	Sc5 (0,60-5,00m)	Marnes brunes consistantes.
-----	5227/4	Sc4 (0,70-5,50m)	



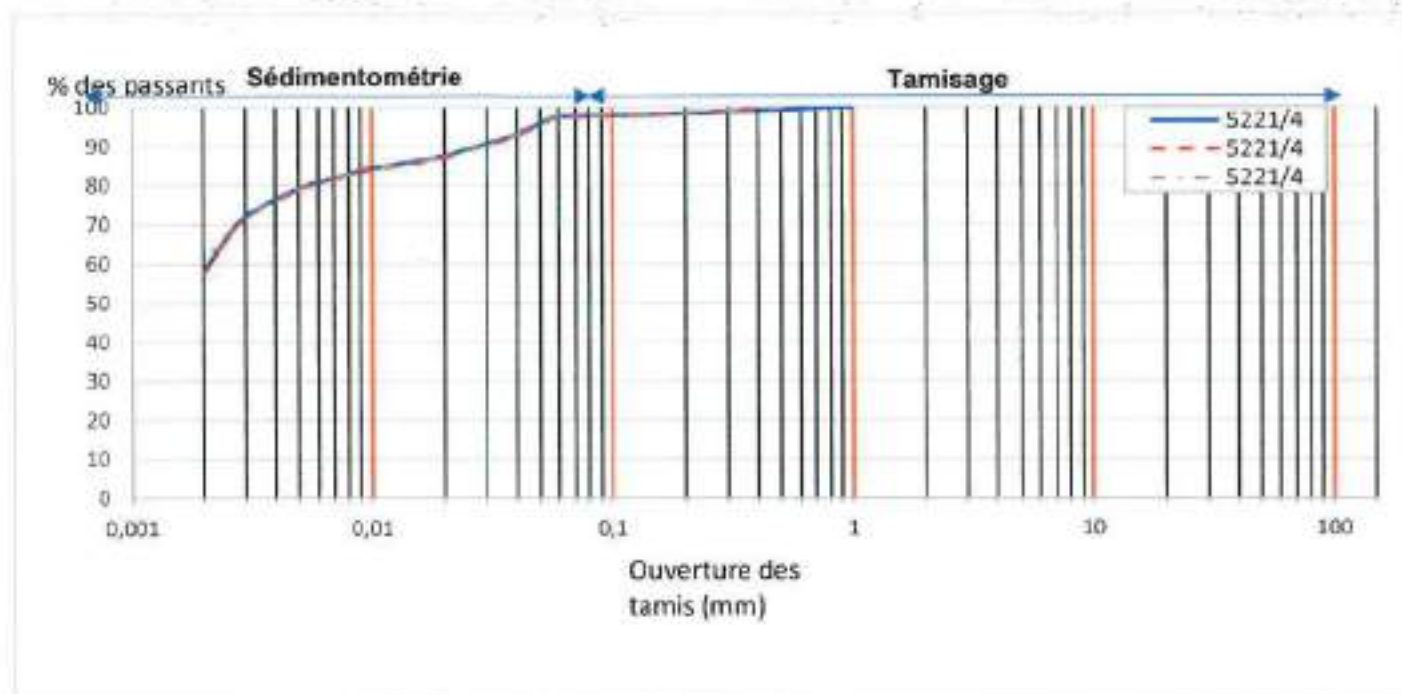
Analyse granulométrique par tamisage NM ISO17892-4



Légende	Réf. Ech.	Provenance	Nature lithologique
—	5221/1	P _{m1} (0.80-5.00m)	Marnes jaunâtre à brunâtre.
- - -	5221/2	P _{m2} (0.40-5.00m)	
· · ·	5221/3	P _{m3} (1.80-5.00m)	



Analyse granulométrique par tamisage NM ISO17892-4

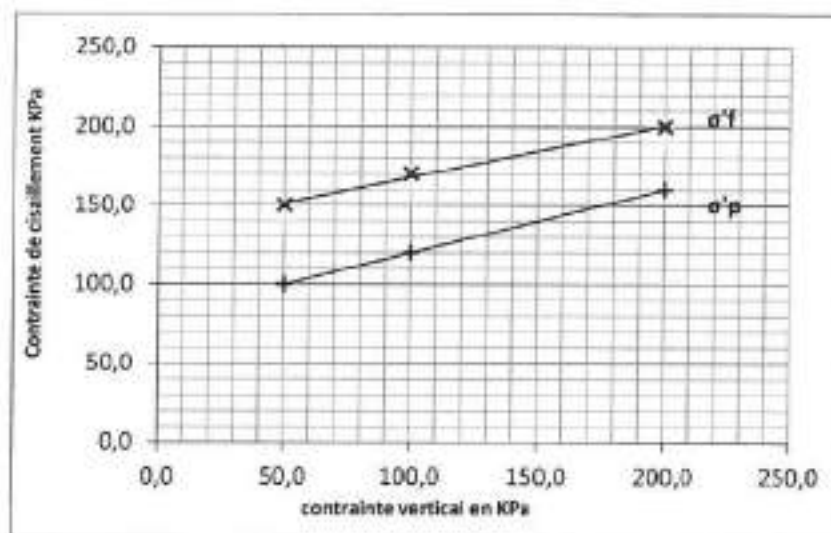
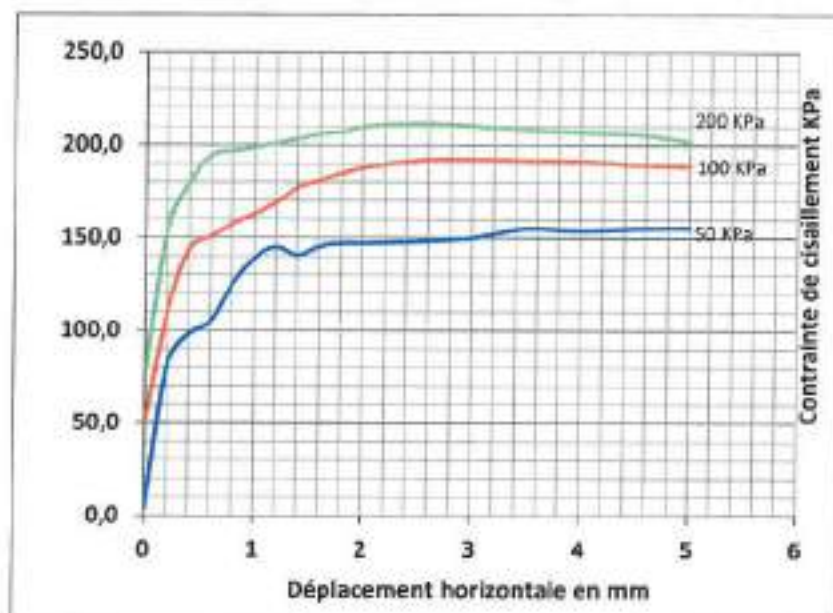


Légende	Réf. Ech.	Provenance	Nature lithologique
————	5221/4	P _{m4} (0.50-5.00m)	Marnes jaunâtre à brunâtre.
-----	5221/5	P _{m5} (0.40-5.00m)	
-----	5221/6	P _{m6} (0.50-5.00m)	



✍ CISAILEMENT RECTILIGNE NM 13.1.021 ✍

Sondage n°: P _{ml}	Réf. Ech : 5221/1	Prof. (m) : 2.00 -2.20m	Classification : AT
-----------------------------	-------------------	-------------------------	---------------------

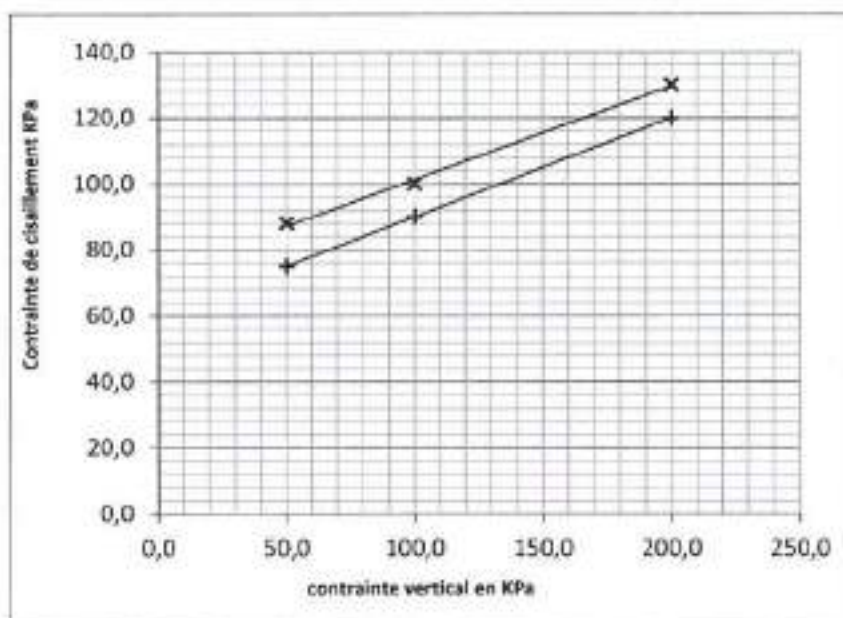
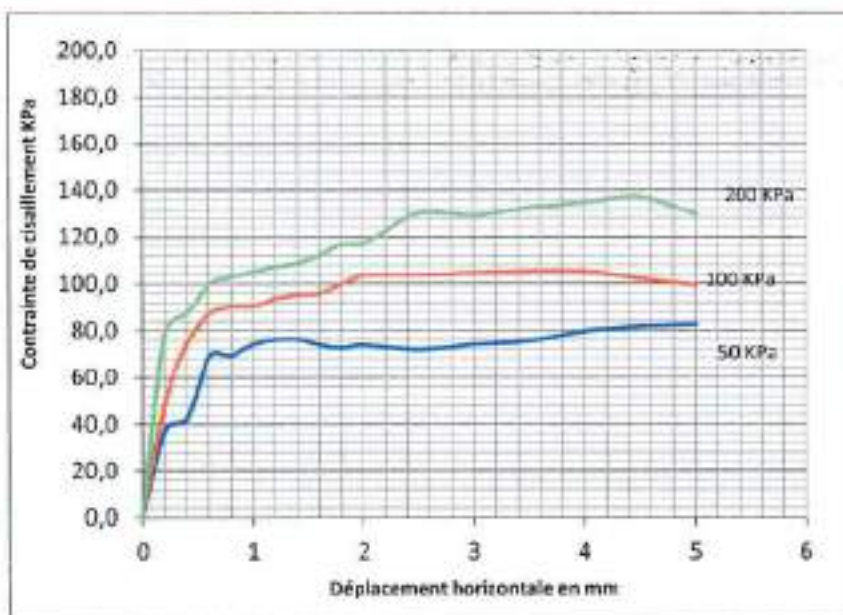


Eprouvettes n° :		1	2	3	Description de l'échantillon					
Diamètre		7.20	7.20	7.20	Nature		Marne jaunâtre à brunâtre.		WL	54
Hauteur		20	20	20	Couleur				IP	25
Etat initial	Wl%	13.5	14.4	15.00	Structure				WP	29
	γdi	1.70	1.72	1.74	Inclusions				VB	-
	Sl%	86.6	94.4	93.6	Consistance				-	-
Etat final	Wf%	15.5	16.5	16.8	<0.08 mm = 99.3%; <2 mm 100%; <50 mm = 100%					
	γdf	1.80	1.83	1.85	Cu :	Qu : °	Ccu :	Qcu :	Cp' : bar 0.86	Qp' : ° 18
	Sf%	100	100	100	CCL					



✂ CISAILEMENT RECTILIGNE NM 13.1.021 ✂

Sondage n°: P _{m2}	Réf. Ech : 5221/2	Prof. (m) : 2.00 -2.20m	Classification : AT
-----------------------------	-------------------	-------------------------	---------------------

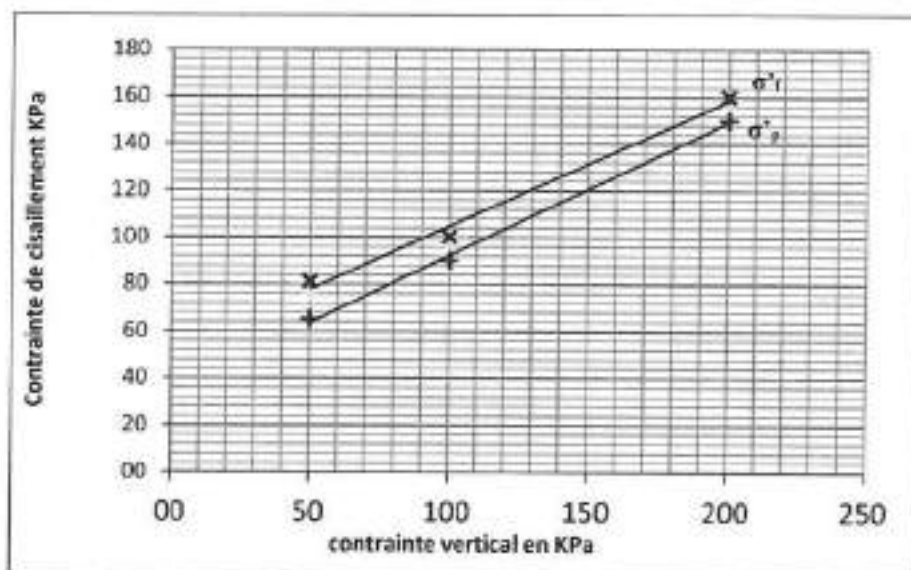
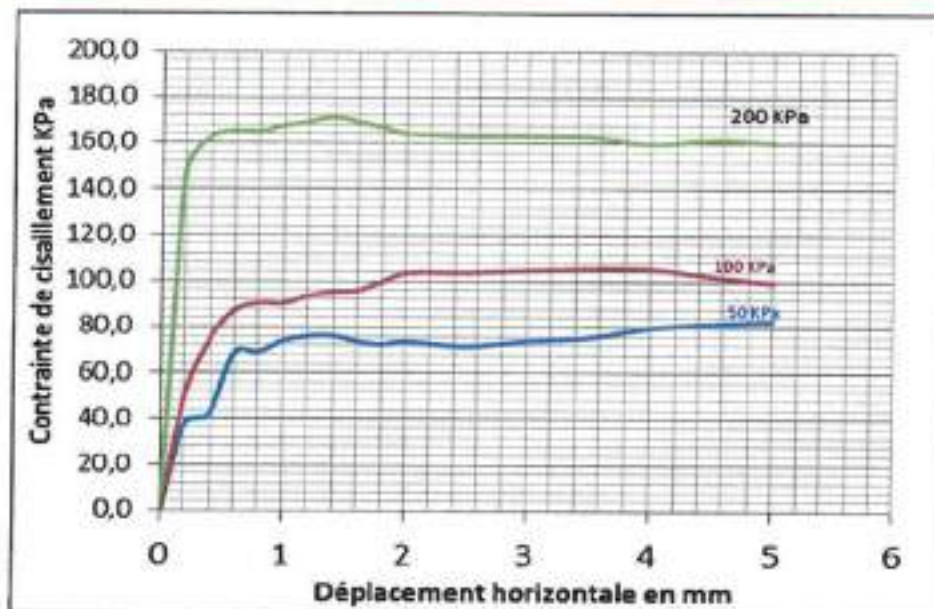


Echantillons n°:		1	2	3	Description de l'échantillon						
Diamètre		7,20	7,20	7,20	Nature		Marne jaunâtre à brunâtre.		WL	53	
Hauteur		20	20	20	Couleur				IP	24	
Etat initial	Wi%	9,5	9,4	9,00	Structure				WP	29	
	γdi	1,74	1,76	1,77	Inclusions				VB	-	
	Si%	56,6	54,4	53,6	Consistance				-	-	
Etat final	Wf%	11,5	10,5	9,8	<0,08 mm = 97,8%; <2 mm 100%; <50 mm = 100%.						
	γdf	1,84	1,86	1,88	Cu :		φu : °	Ccu :	φcu :	Cp : bar	φp : °
	Sf%	92,5	91,6	92,0					0,61		16
										CCL	



✂ CISAILEMENT RECTILIGNE NM 13.1.021 ✂

Sondage n°: Sc ₁	Réf. Ech : 5227/5	Prof. (m) : 3.00 -3.20m	Classification : At
-----------------------------	-------------------	-------------------------	---------------------

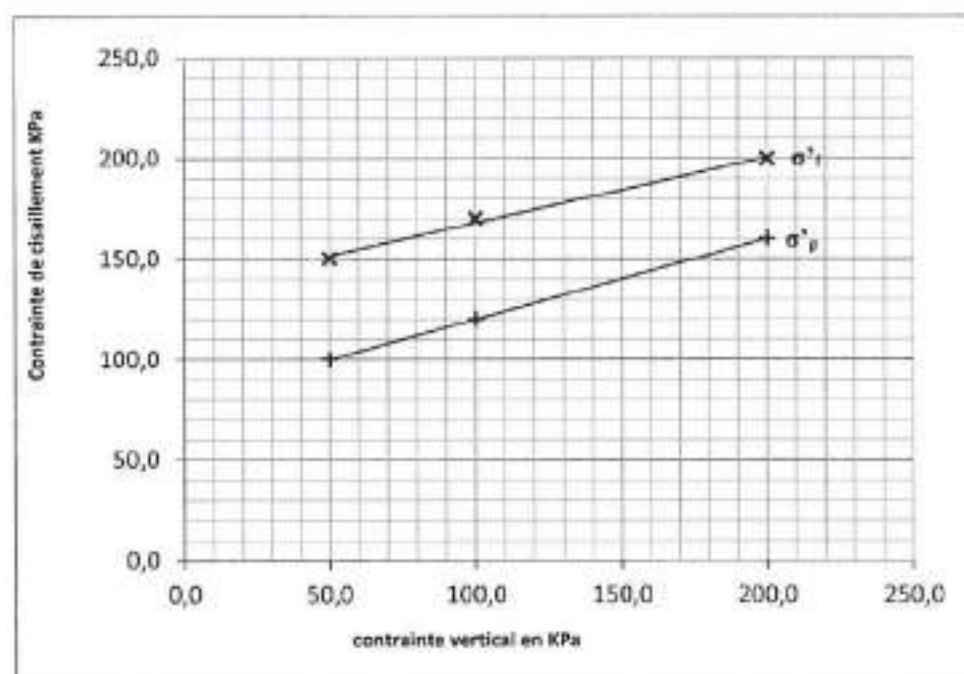
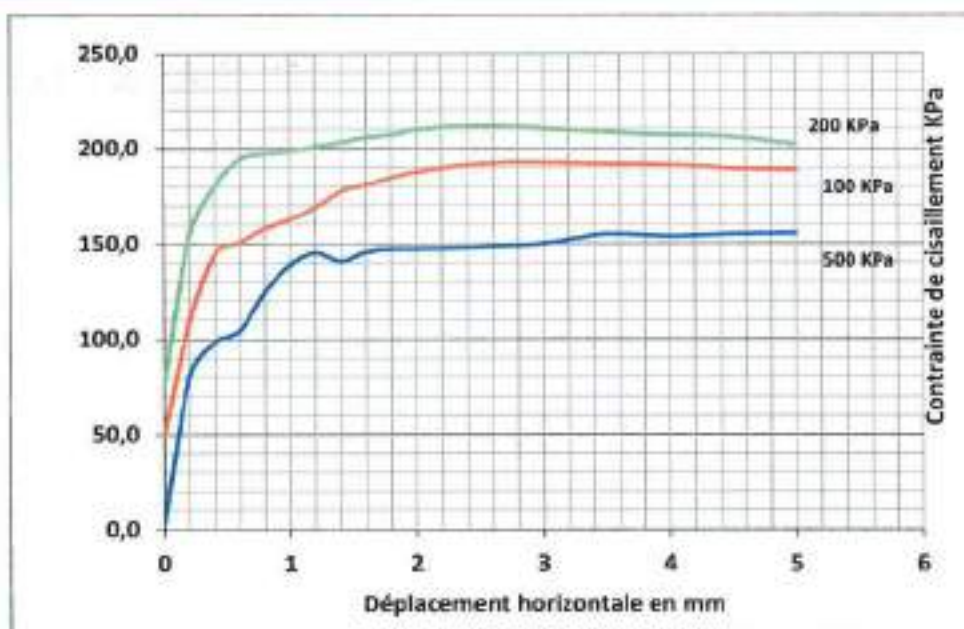


Eprouvettes n° :		1	2	3	Description de l'échantillon					
Diamètre		7.20	7.20	7.20	Nature		Marne jaunâtre à brunâtre.		WL	50
Hauteur		20	20	20	Couleur				IP	24
Etat initial	Wl%	13.6	14.2	14.6	Structure				WP	26
	γdi	1.70	1.72	1.74	Inclusions				VB	-
	Sl%	93.6	96.2	97.6	Consistance				-	-
Etat final	Wf%	15.4	16.2	16.8	<0.08 mm = 92.7%; <2 mm 100%; <50 mm = 100%					
	γdf	1.86	1.89	1.91	Cu : bar	Øu : °	Ceu :	Øeu :	Cp' : bar 0.37	Øp' : ° 24
	Sf%	100	100	100	-		-		CCL	



✧ CISAILLEMENT RECTILIGNE NM 13.1.021 ✧

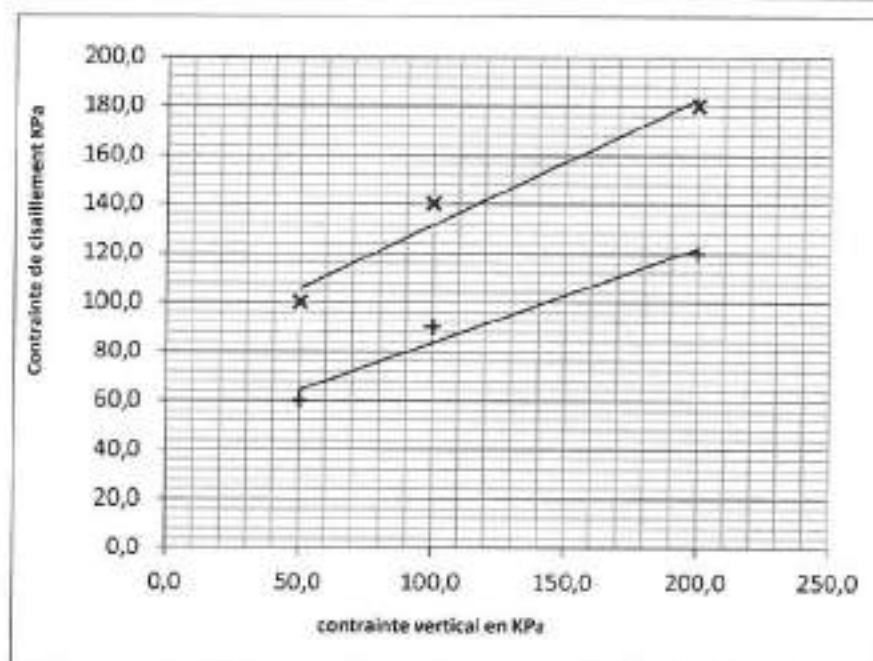
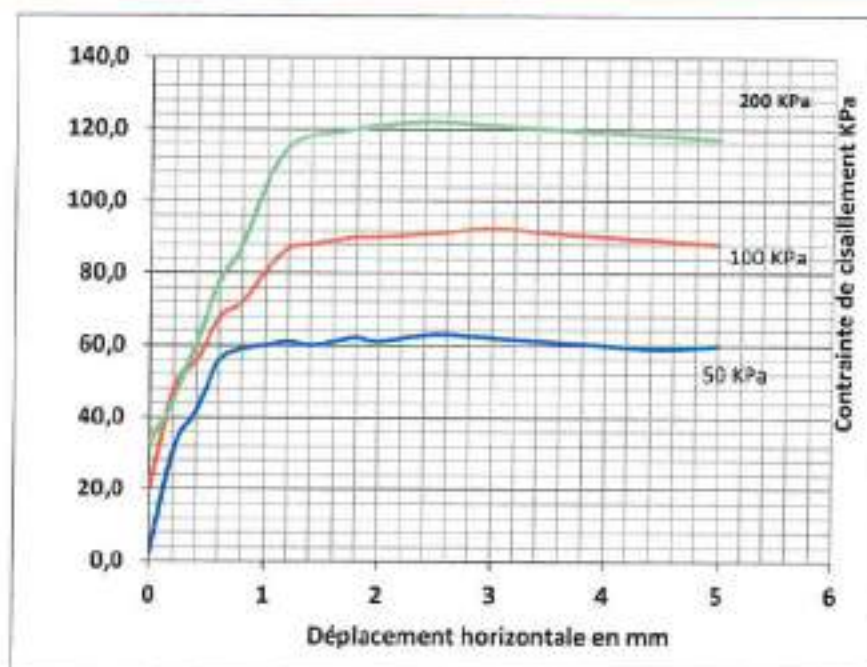
Sondage n°: Sc ₂	Réf. Ech : 5227/6	Prof. (m) : 3.00 – 3.20m	Classification : At
-----------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------



Eprouvettes n°:		1	2	3	Description de l'échantillon						
Diamètre		7.20	7.20	7.20	Nature		Marne jaunâtre à brunâtre.		WL	54	
Hauteur		20	20	20	Couleur				IP	26	
Etat initial		Wl%	12.5	13.4	13.80	Structure			WP	28	
		γ_{di}	1.73	1.74	1.77	Inclusions			VB	-	
		Si%	86.8	94.5	93.6	Consistance			-	-	
Etat final		Wf%	14.5	15.5	16.8	<0.08 mm = 95.6%; <2 mm 100%; <50 mm = 100%					
		γ_{df}	1.81	1.83	1.86	Cu :	$\phi_{cu} : ^\circ$	Ccu :	$\phi_{ccu} :$	C _p : bar	$\phi_p : ^\circ$
		Sf%	100	100	100	-	-	-	-	0.80	18
					CCL						

CISAILLEMENT RECTILIGNE NM 13.1.021

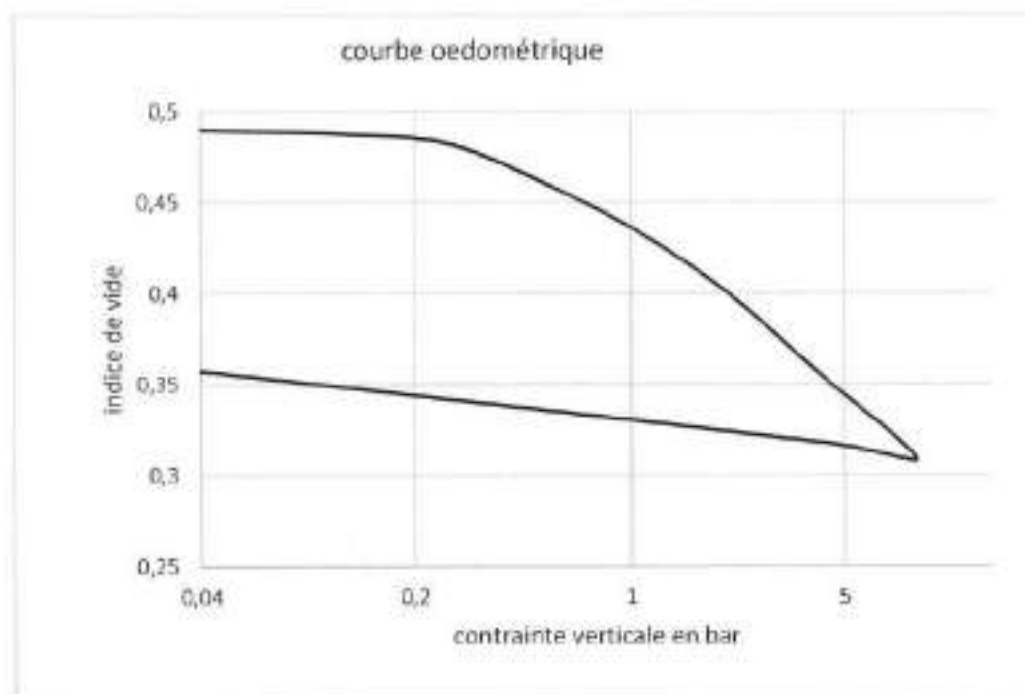
Sondage n°: Sc ₁	Réf. Ech : 5227/7	Prof. (m) : 2.50 -2.70m	Classification : At
-----------------------------	-------------------	-------------------------	---------------------



Echantillons n° :		1	2	3	Description de l'échantillon					
Diamètre		7.20	7.20	7.20	Nature	Marne jaunâtre à brunâtre.			WL	54
Hauteur		20	20	20	Couleur				IP	25
Etat initial	Wi%	14.5	15.4	16.80	Structure				WP	29
	γ _{di}	1.68	1.70	1.72	Inclusions				VB	-
	Si%	90.2	95.3	97.6	Consistance				-	-
Etat final	Wf%	16.5	17.5	18.8	<0.08 mm = 93.0%; <2 mm 100%; <50 mm = 100%					
	γ _{df}	1.77	1.79	1.80	Cu : bar	φ _u : °	C _{cu} :	φ _{cu} :	C _p :	φ _p :
	Sf%	100	100	100	-	-	-	-	0.46	0.46
CCL										

ESSAI OEDOMETRIQUE NM 13.1.003

Sondage n°: P _{ml}			Réf. Ech : 5221/1		Prof. (m) : 2.00 –2.20m		Classification : AT			
	Teneur en eau %	Pd spécifique humide g/cm ³	Indice des vides	Saturation %	Hauteur cm	Diamètre mm	Densité des grains	WL	IP	VB
Initial	12.4	1.92	0.491	93.5	2.00	71.00	2.70	54	25	6.0
Final	17.2	2.00	0.359	100	1.78					

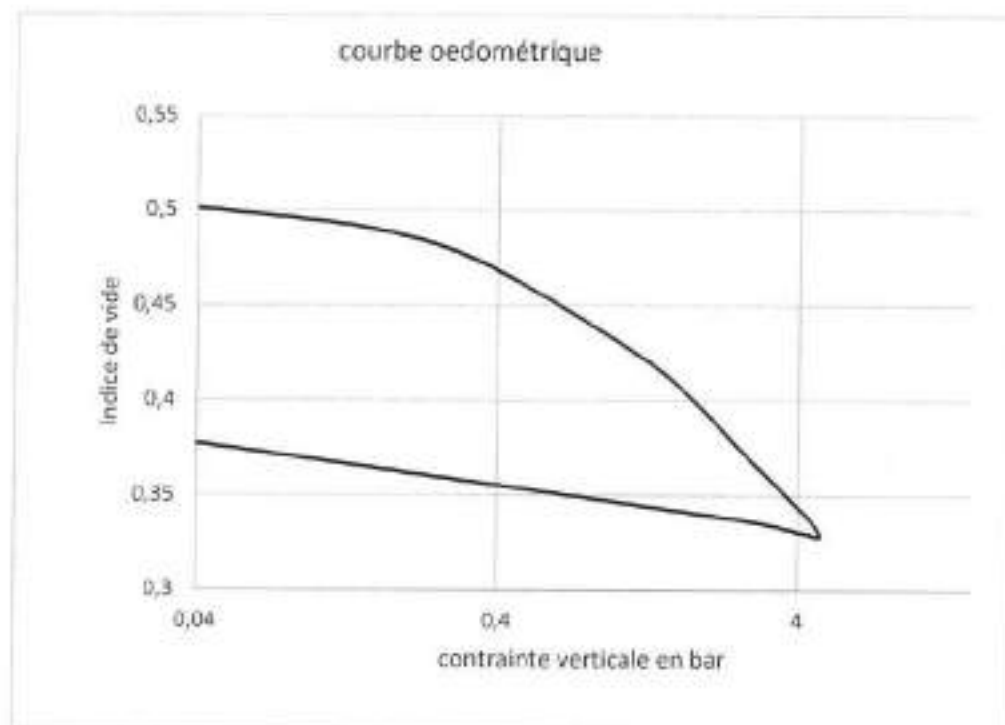


Indice de compression :	0.255	Description de l'échantillon	
Indice de gonflement :	0.026	Nature	Marnes jaunâtre à brunâtre.
Pression de pré consolidation :	0.60 bar	Couleur	
Amplitude de gonflement :		Consistance	
Amplitude de gonflement /% Tassement		Structure	
		Inclusion	
		<0.08 mm = 99.3%; <2 mm = 100%; <50 mm = 100%	



ESSAI OEDOMETRIQUE NM 13.1.003

Sondage n°: P _{m2}			Réf. Ech : 5221/2		Prof. (m) : 3.00 -3.20m		Classification : AT			
	Teneur en eau %	Pd spécifique humide g/cm ³	Indice des vides	Saturation %	Hauteur cm	Diamètre mm	Densité des grains	WL	IP	VB
Initial	14.2	1.92	0.507	100	2.00	71.00	2.70	53	24	5.7
Final	18.4	2.03	0.386	100	1.80					

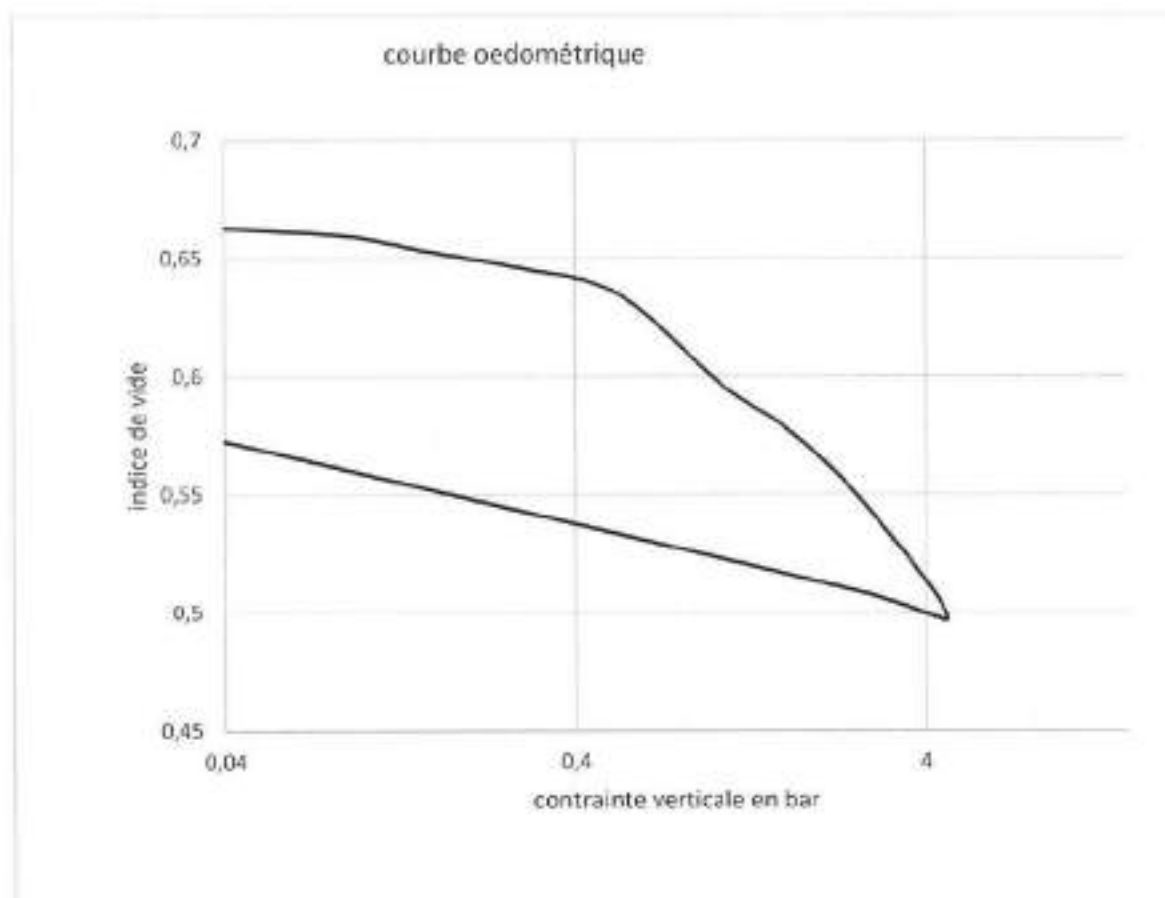


Indice de compression :	0.255	Description de l'échantillon Nature Couleur Consistance Structure Inclusion <0.08 mm = 97.8%; <2 mm = 100%; <50 mm = 100%	
Indice de gonflement :	0.025		
Pression de pré consolidation :	0.48 bar		
Amplitude de gonflement :			
Amplitude de gonflement / %			
Tassement			



ESSAI OEDOMETRIQUE NM 13.1.003

Sondage n°: Sc ₁			Réf. Ech : 5227/5		Prof.(m) :3.00 –3.20m		Classification : AT			
	Teneur en eau %	Pd spécifique humide g/cm ³	Indice des vides	Saturation %	Hauteur cm	Diamètre mm	Densité des grains	WL %	IP %	VB %
Initial	16.2	1.96	0.445	98	2.00	71.00	2.70	50	24	5.7
Final	20.1	2.05	0.325	100	1.79					

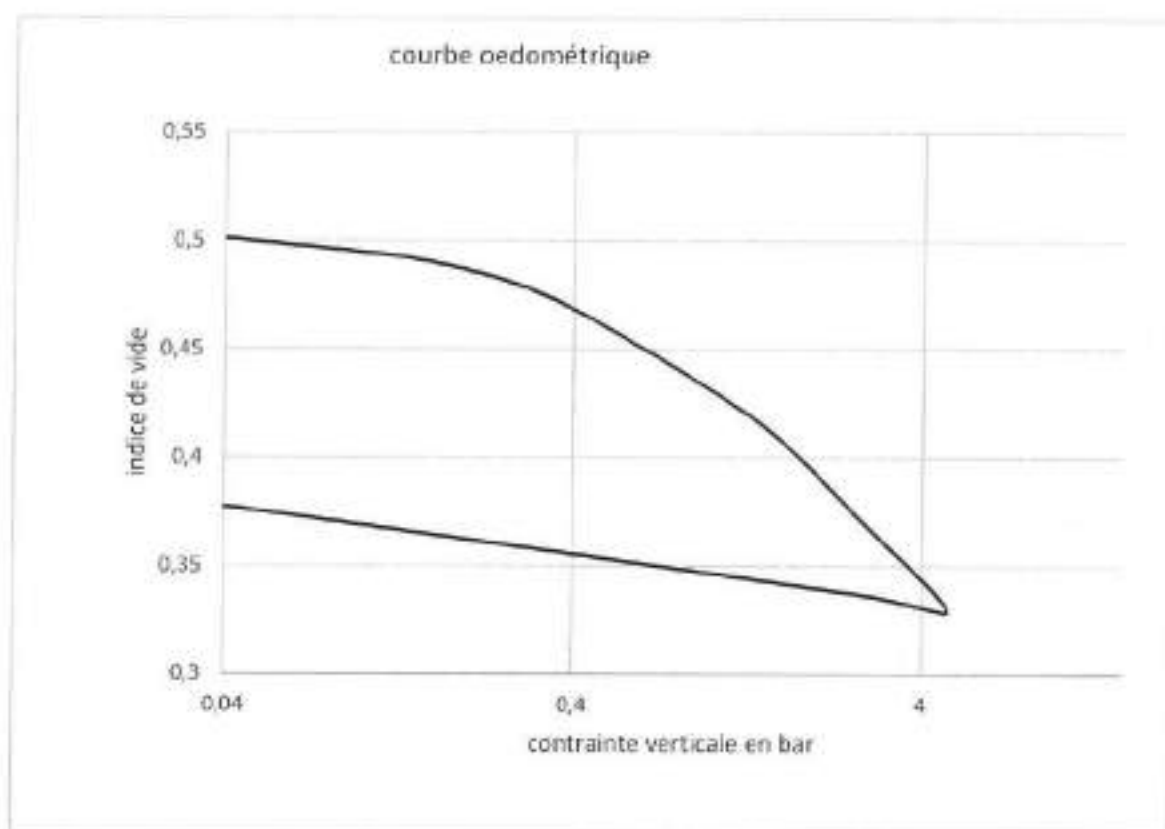


Indice de compression :	0.250	Description de l'échantillon		
Indice de gonflement :	0.030			
Pression de préconsolidation :	8.0 T/m ²	Nature	Marge jaunâtre à brunâtre.	
Amplitude de gonflement :		Couleur		
		Consistance		
		Structure		
		Inclusion		
Amplitude de gonflement / % Tassement		<0.08mm=92.7 %	<2mm= 100%	< 50mm=100%



ESSAI OEDOMETRIQUE NM 13.1.003

Sondage n°: Sc ₂			Réf. Ech : 5227/6		Prof.(m) :3.00-3.20m		Classification : At			
	Teneur en eau %	Pd spécifique humide g/cm ³	Indice des vides	Saturation %	Hauteur cm	Diamètre mm	Densité des grains	WL	IP	VB
Initial	13.6	1.92	0.511	97	2.00	71.00	2.70	54	26	6.1
Final	17.2	2.01	0.382	100	1.79					

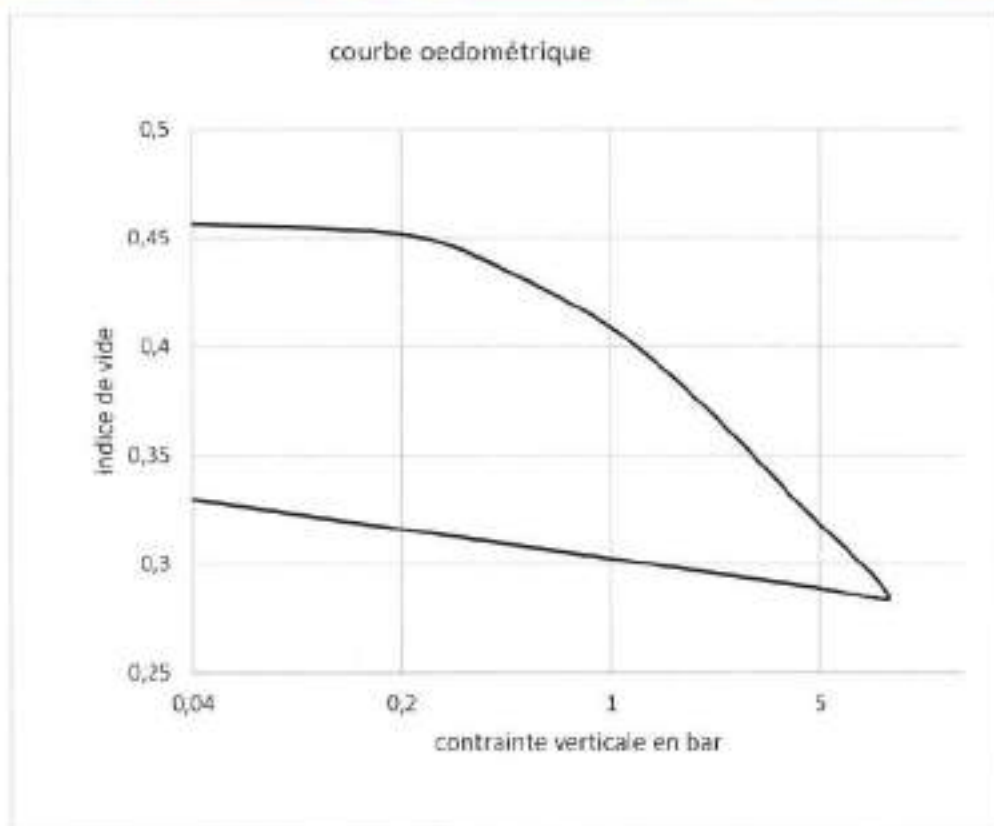


Indice de compression :	0.225	Description de l'échantillon	
Indice de gonflement :	0.03	Nature	Marnes jaunâtre à brunâtre.
Pression de pré consolidation :	0.64bar	Couleur	
Amplitude de gonflement :		Consistance	
Amplitude de gonflement / % Tassement		Structure	
		Inclusion	
		<0.08 mm = 95.6%; <2 mm = 100%; <50 mm = 100%	



ESSAI OEDOMETRIQUE NM 13.1.003

Sondage n°: Sc ₂			Réf. Ech : 5227/7		Prof.(m) :2.50 -2.70m		Classification : At			
	Teneur en eau %	Pd spécifique humide g/cm ³	Indice des vides	Saturation %	Hauteur cm	Diamètre mm	Densité des grains	WL	IP	VB
Initial	14.2	1.94	0.457	88	2.00	71.00	2.70	54	25	6.0
Final	18.6	2.04	0.331	100	1.80					



Indice de compression :	0.250	Description de l'échantillon Nature Couleur Consistance Structure Inclusion <0.08 mm = 93.0%; <2 mm = 100%; <50 mm = 100%	
Indice de gonflement :	0.03		
Pression de pré consolidation :	0.65 bar		
Amplitude de gonflement :			
Amplitude de gonflement /.....%			
Tassement			



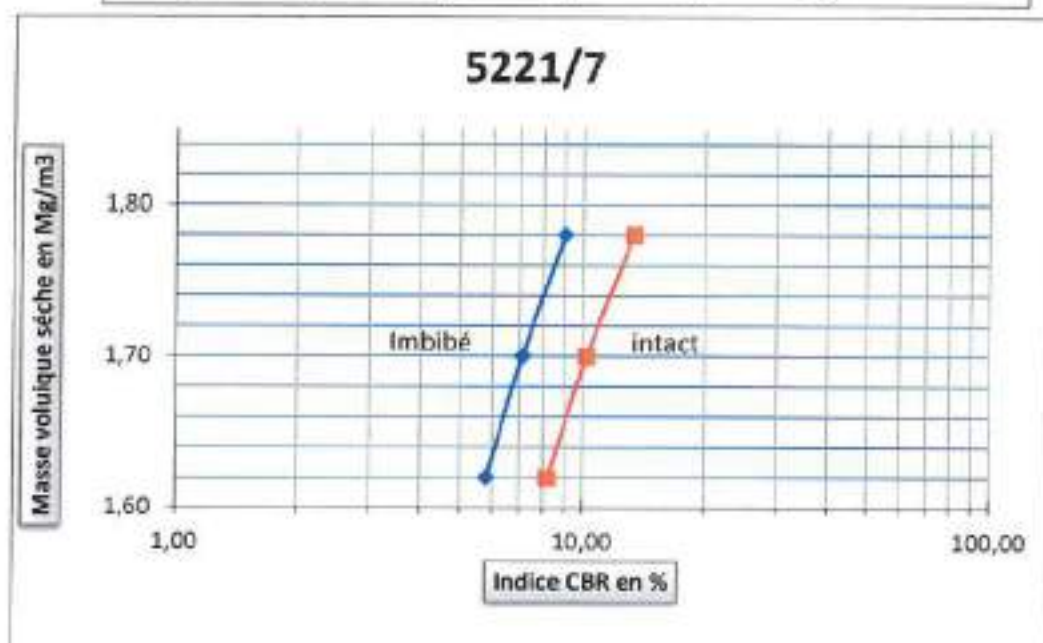
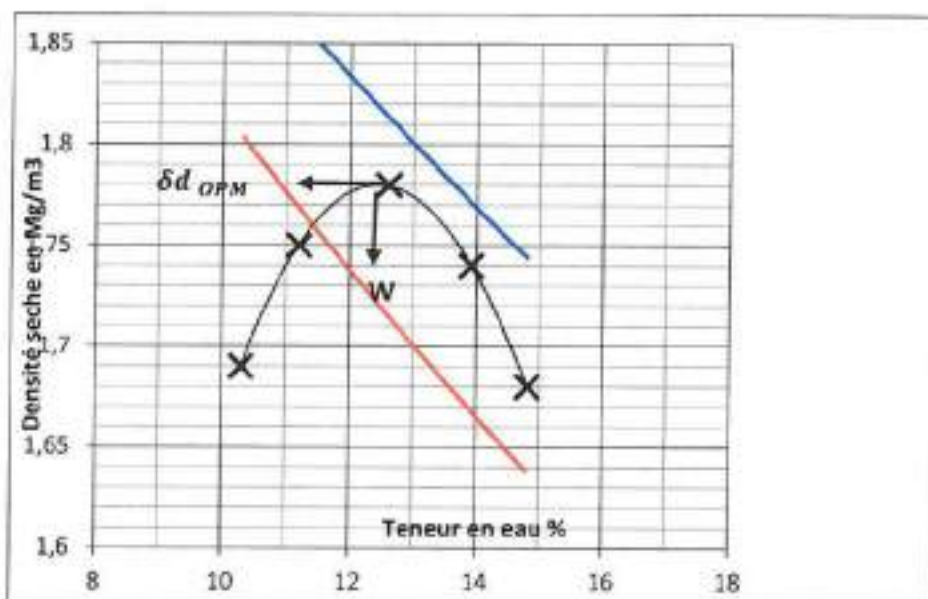
DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DE COMPACTAGE D'UN SOL NM 13.1.023

MESURE D'INDICE CBR NM 13.1.128

Famille AT (A3)

Réf : 5221/7

ESSAI PROCTOR MODIFIÉ	ESSAI CBR (W%)			
Densité Sèche Maximale à l'OPM en t/m ³ = 1.78	Nb. Coups par couche	Moulage	Après Imbibition	Gonflement en %
Teneur en eau Optimale à l'OPM en % = 12.60	□ 56 OPM Δ 25 OPM ○ 14 OPM	12.60 12.60 12.60	13.80 14.70 15.60	0.07 1.05 1.25



ANNEXE VII

Spécifications des matériaux pour corps de dallage



SPECIFICATIONS DES MATERIAUX

MATERIAUX POUR COUCHE ANTICONTAMINANTE :

Un matériau pour couche anticontaminante doit répondre aux spécifications suivantes :

- Dmax du matériau anticontaminant $< 1/3$ de l'épaisseur de la couche anticontaminante.
- D₁₅ des matériaux filtrant $\leq 4,5$ D₈₅ du sol de la plate forme.
- IP $< 20\%$.

GRANULATS POUR ASSISE NON TRAITEE

1\ Granulats pour G.N.F1 et G.N.F2

Les spécifications de ces granulats sont les suivantes :

Granularité passant au tamis de mm							Dureté		Propreté LP	C.A	Epaisseur de la couche	Compactage	Angularité	
60	40	20	10	6.3	2	0.08	L.A	M.D.E					Trafic	Ic
80 à 100%	55 à 89 %	32 à 69 %	25 à 59 %	17 à 53 %	7 à 40 %	2 à 10 %	T0, T1 T2 <40	<35	(Z.N.A) <8	<20	Minimum de 15 m	Egal ou supérieure à 95% de l'OPM	T0 T1, T2	>30
							T3, T4 <40	-	(Z.N.D) <12	idem	idem	idem	T3 T4	0

2\ Granulats pour G.N.F.3

Les spécifications de ces granulats sont les suivantes :

Granularité passant au tamis de mm							Dureté		Propreté LP	C.A	Epaisseur de la couche	Compactage	Angularité	
60	40	20	10	6.3	2	0.08	L.A	M.D.E					Trafic	Ic
100 %	80 à 100 %	47 à 90 %	30 à 70 %	20 à 64 %	10 à 48 %	2 à 14 %	T0, T1 T2 <35	<25	(Z.N.A) <6 Z.A<8	<20	Minimum de 15 m	Egal ou supérieure à 95% de l'OPM	T0 T1, T2	>30
							T3, T4 <40	<25	idem	idem	idem	idem	T3 T4	0

3\ Granulats pour G.N.A ET GNB

Granularité passant au tamis de mm						Dureté		Propreté		Epaisseur	Compactage	Angularité	
31.5	20	10	6.3	2	0.08	L.A	M.D.E	LP	E.S.			Qualité	Ic
100 à 90 %	68 à 90 %	43 à 78 %	35 à 64 %	22 à 43 %	4 à 11 %	<30	<20	T0 T1 T2 T3 N.P T4 <6	>30	Minimum 15 cm	Trafic T0, T1, T2 ≥ 98% O.P.M.	G.N.A	Concas Pur et 100%
												G.N.B	95 à 100%



MATERIAUX POUR ENROBE BITUMINEUX (E.B. 0/10)

Les matériaux pour E.B. sont constitués d'un mélange de plusieurs fractions granulaires de granulats, de sable et de filler répondant aux spécifications suivantes :

Classe du fuseau	Granularité % Passant au tamis de (en mm)				Dureté	Propreté	Angularité
	10	6	2	0.08	L.A.	E.S.	IC
0/10	100	65 à 80	30 à 45	5 à 9	Inférieur à 25	(sur fraction 0/5 mm) supérieur à 40	Concassé pur

CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES & MECANQUES DES PAVES AUTOBLOQUANTS UNIDIRECTIONNELS

selon la norme NF EN 1338

CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES			Résistance à la rupture en traction par fendage (en MPA)
Epaisseur (e) mm	Longueur (L) mm	Largeur (l) mm	Rmoy ≥3.6 Rmin ≥2.9
<100 : ±3 mm ≥100 : ±4 mm La différence entre deux épaisseurs sur un même pavé doit être de ≤3 mm	<100 : ±2 mm ≥100 : ±3 mm	<100 : ±2 mm ≥100 : ±3 mm	
Aucune prescription relative aux dimensions minimum ou maximum des pavés n'est fixée par la norme : le producteur déclare ce qu'il fabrique ; toutefois ces dimensions déclarées doivent rester dans les tolérances fixées par le texte normatif ainsi pour la longueur, la largeur et l'épaisseur des pavés rectangulaires			

