



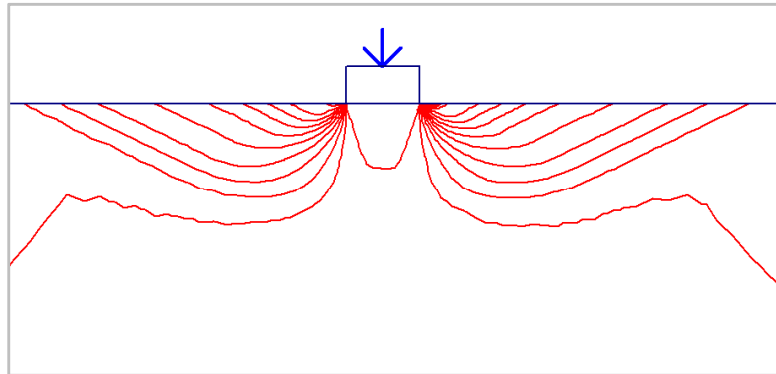
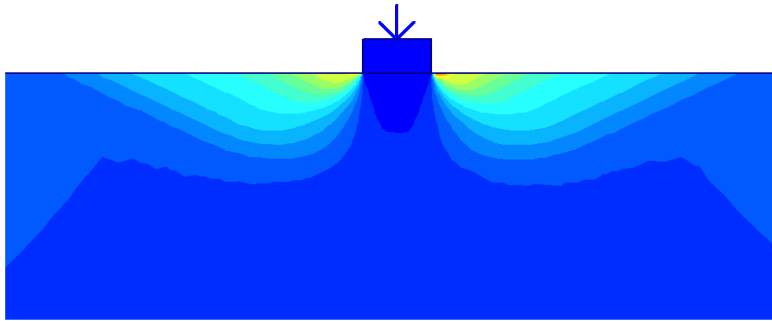
Thèse de Doctorat en Sciences

MODÉLISATION NUMÉRIQUE DE L'ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE ET CALCUL DES FONDATIONS SUPERFICIELLES SUR PENTE

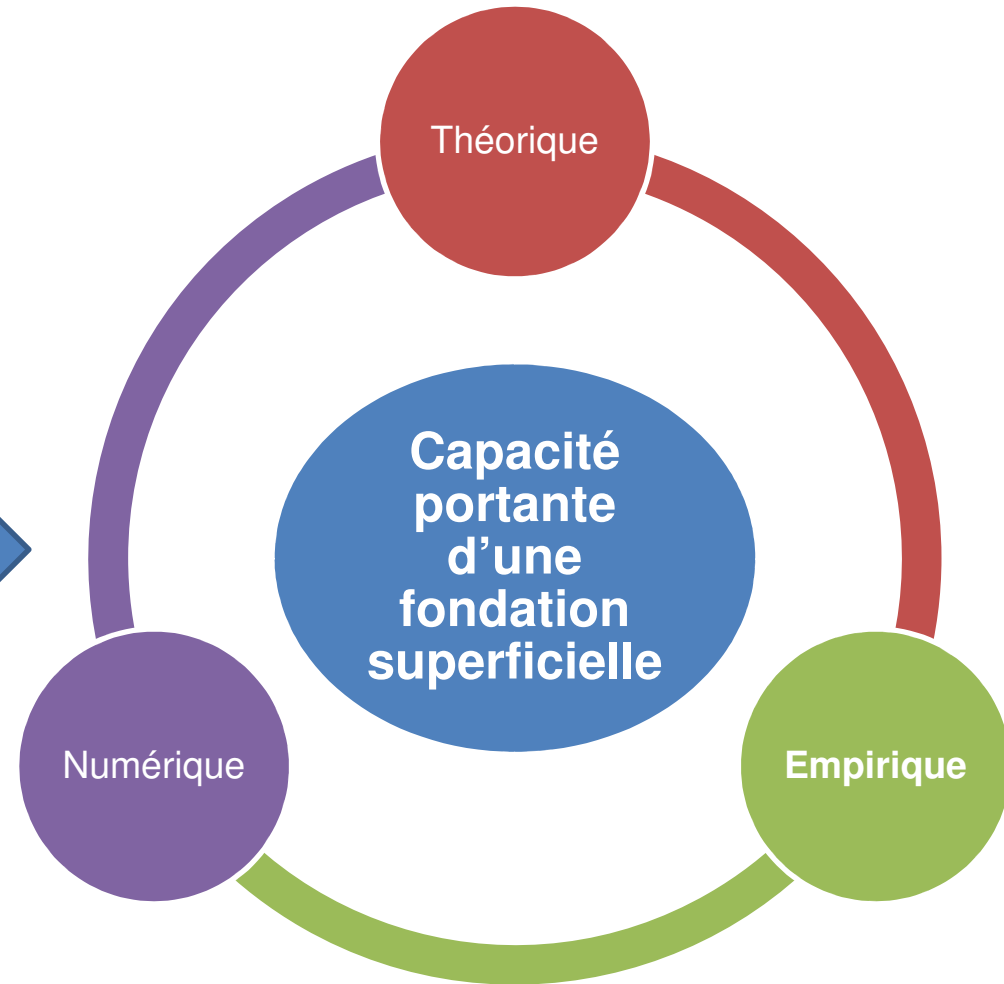
Présenté par : **OUABEL Houari**

DJEDID Abdelkader	Professeur	Université de Tlemcen	Président
ZADJAOUI Abdeldjalil	Professeur	Université de Tlemcen	Directeur de thèse
BENCHOUK Assia	MCA	Université de Tlemcen	Co-Directeur de thèse
BOUROKBA MERABENT Souad Amel .	MCA	USTO- Oran	Examinatrice 1
HOUMADI Youcef	Professeur	Centre UBB Témouchent	Examineur 2

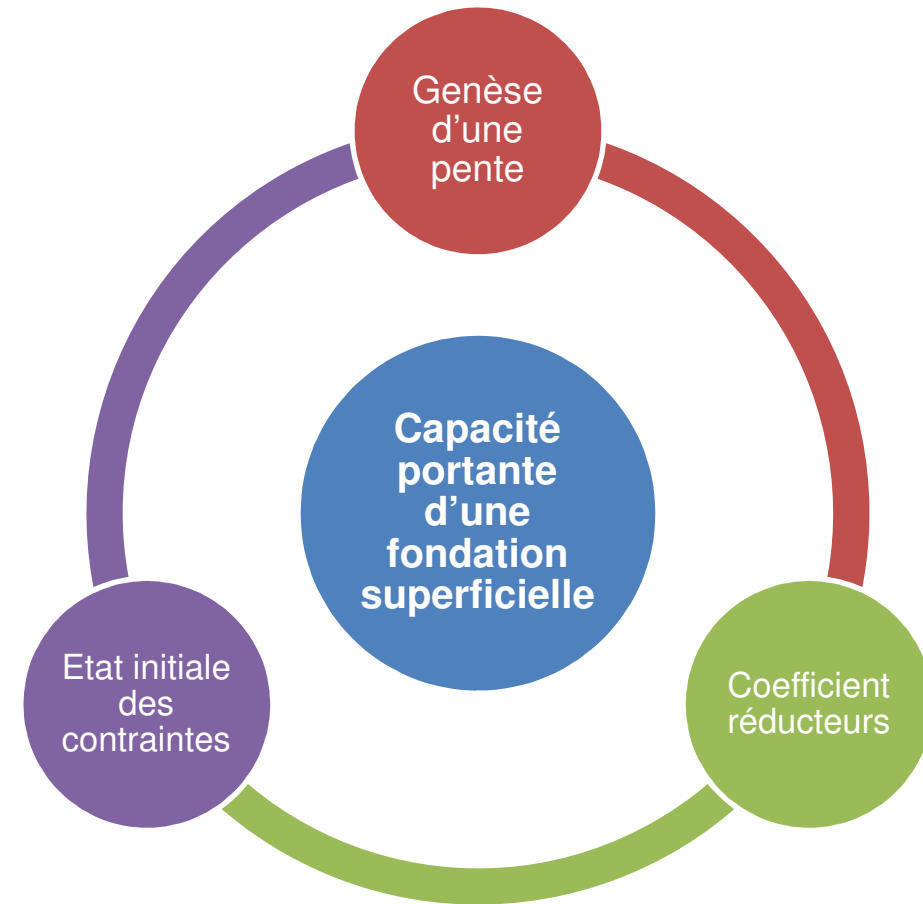
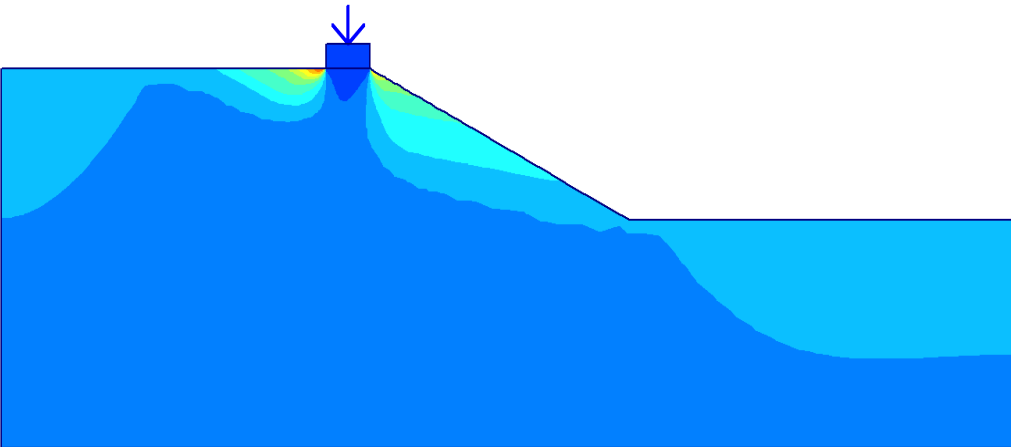
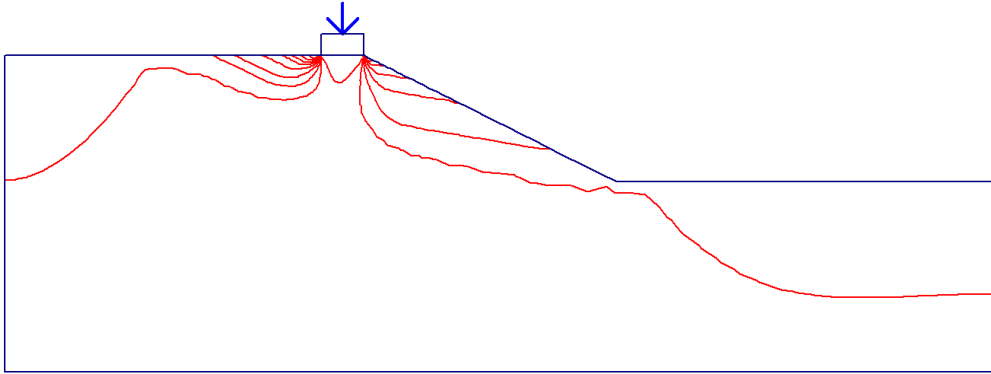
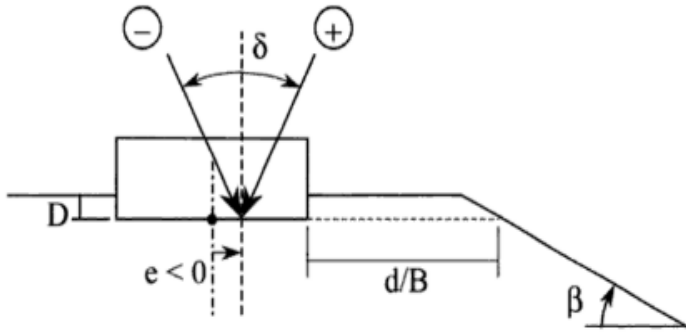
INTRODUCTION GÉNÉRALE



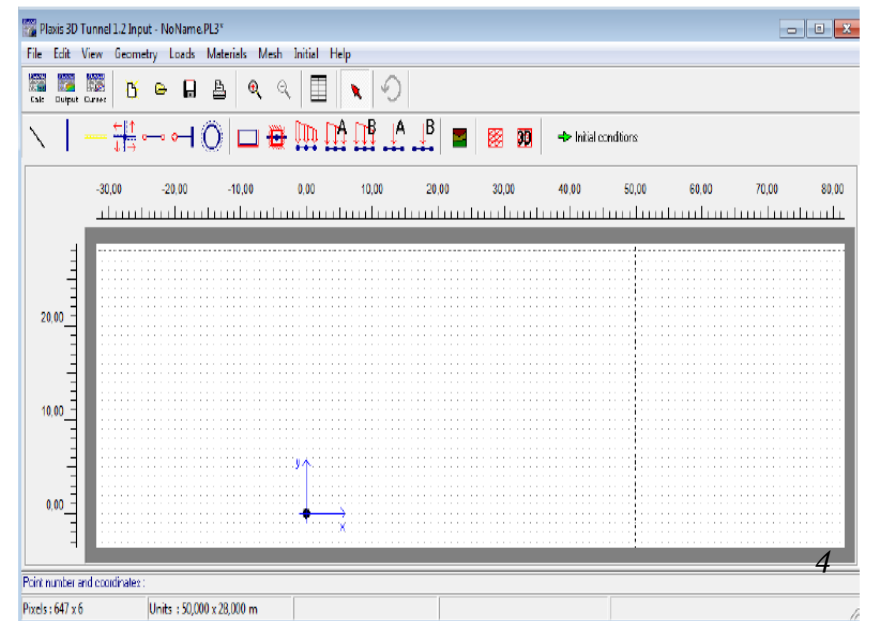
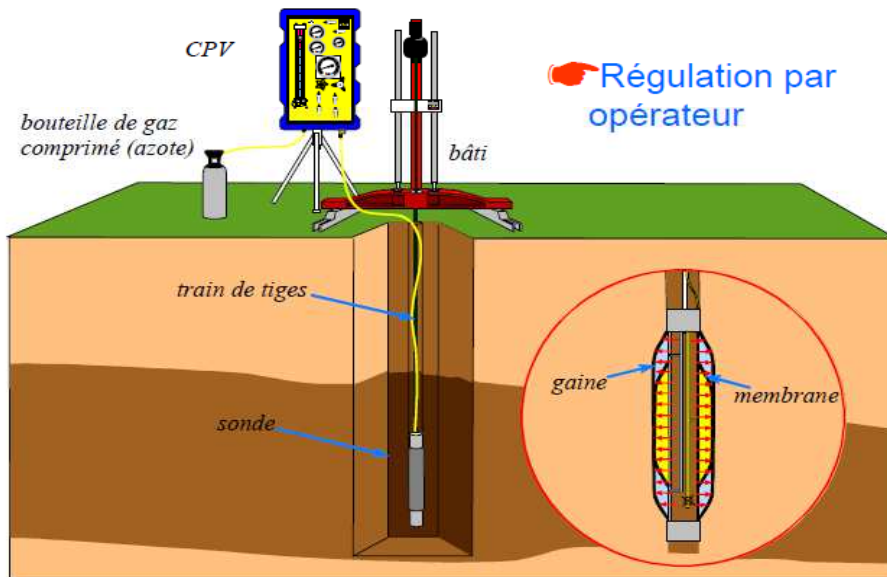
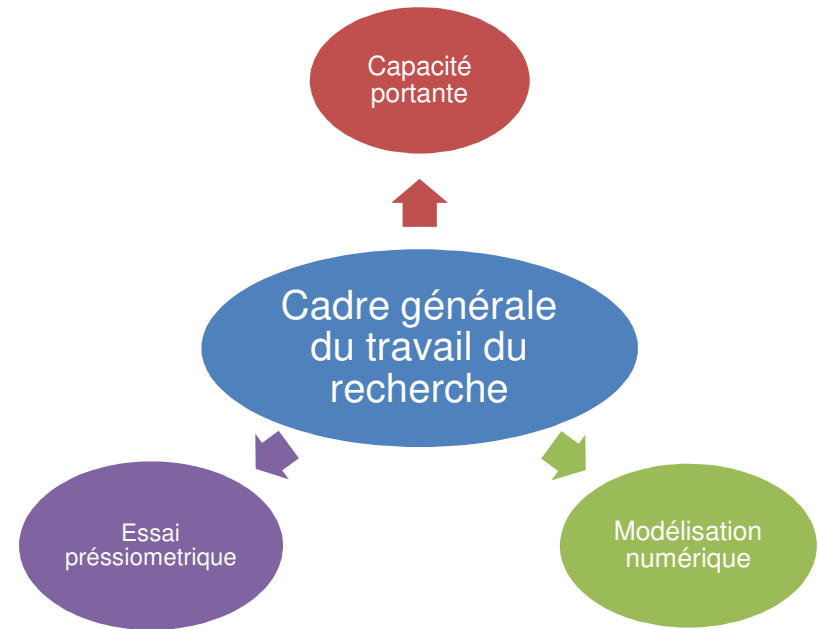
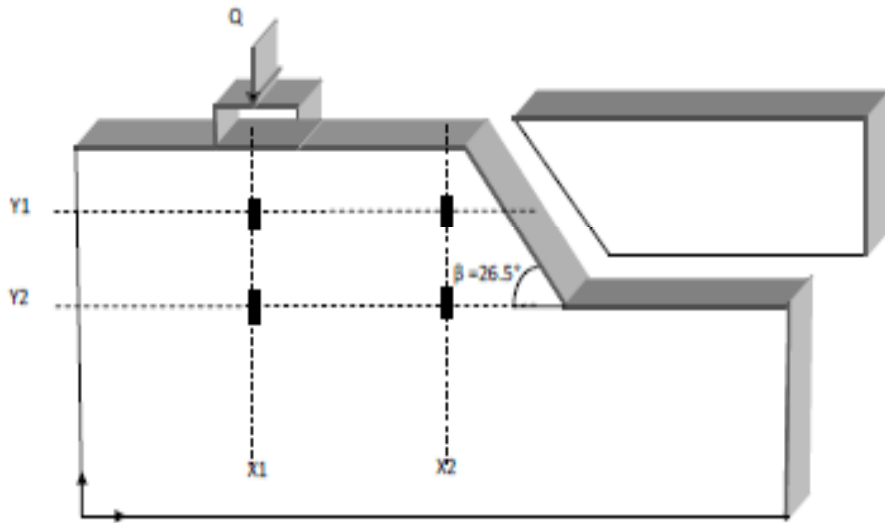
Massif horizontal



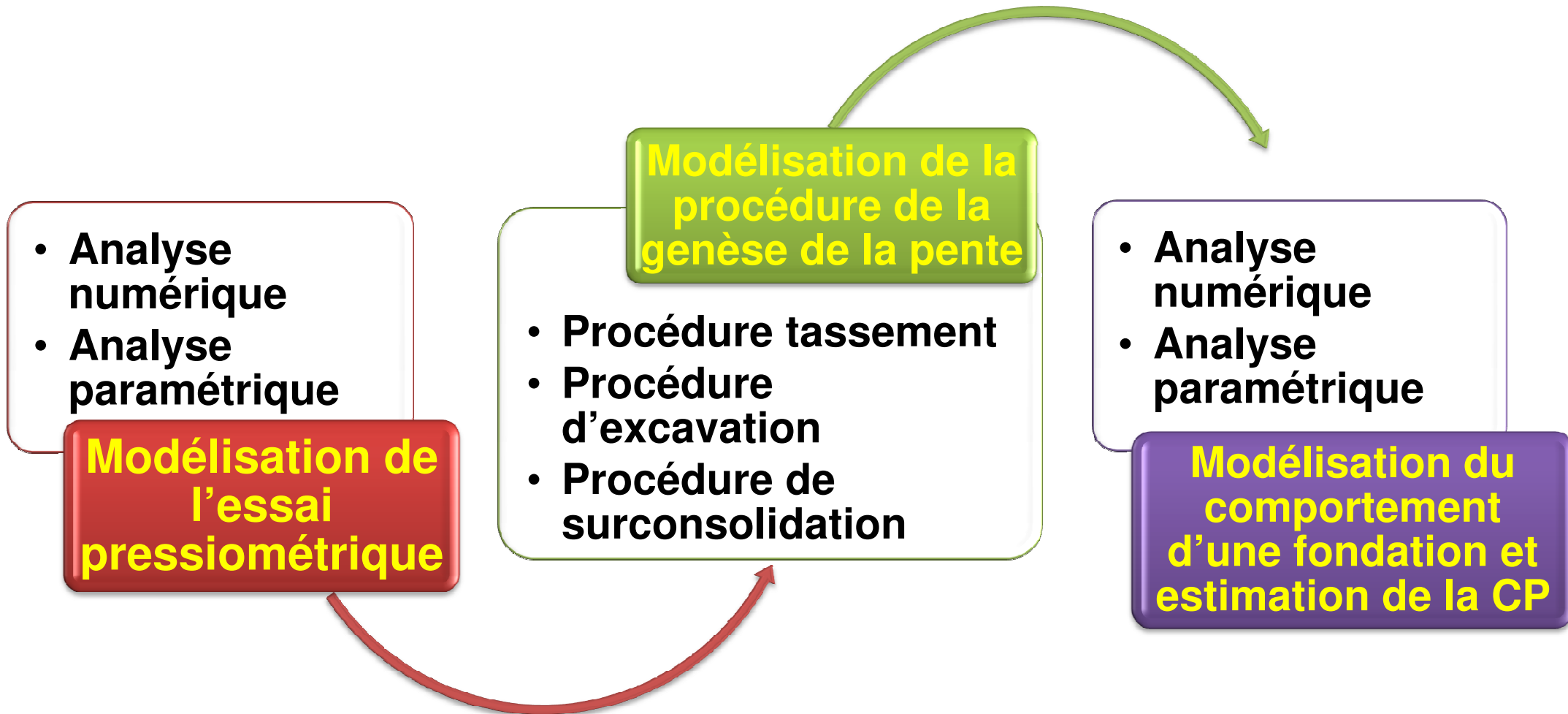
PROBLÉMATIQUE



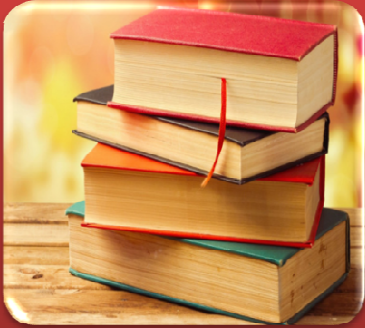
PROBLÉMATIQUE



OBJECTIFS



PLAN DE PRÉSENTATION



Partie I: Analyse bibliographique et état de l'art

- Interprétation théorique de l'essai pressiométrique
- Différentes approches pour l'évaluation de la capacité portante CP
- Détermination de l'état de contrainte initiale sur une pente



Partie II: Analyse numérique

- Simulations numériques de différentes procédures de la genèse d'une pente
- Modélisation numérique de l'essai pressiométrique
- Simulation du comportement d'une fondation superficielle et estimation numérique de la capacité portante



Partie III: Analyse paramétrique

- Paramètres géotechniques (la pression limite et la capacité portante).
- Paramètres géométriques (la pression limite et la capacité portante).

PARTIE 1

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET ÉTAT DE L'ART

ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

**Louis Ménard
(1933 – 1978)**



Michel Gambin

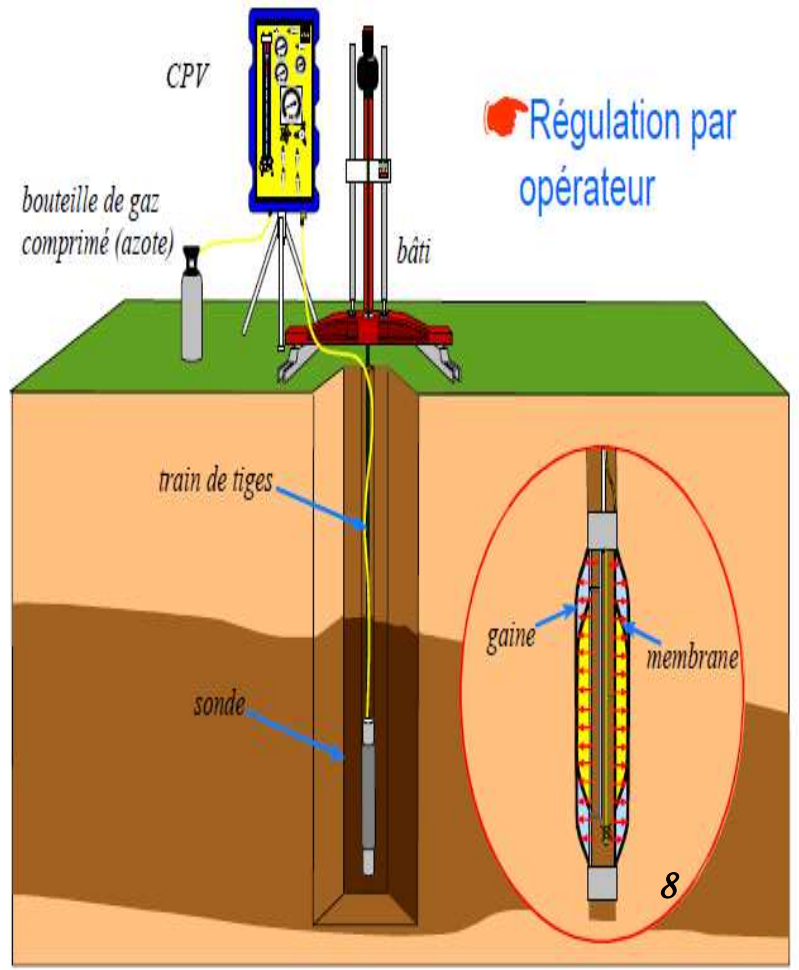
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 —
 MINISTÈRE
 DE L'INDUSTRIE ET DU COMMERCE
 —
 SERVICE
 de la PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

BREVET D'INVENTION
 Gr. 12. — Cl. 3. N° 1.117.983
 Classification internationale : G 01 7

Pressiomètre.
 M. LOUIS-FRANÇOIS-AUGUSTE MÉNARD résidant en France (Seine).
 Demandé le 19 janvier 1955, à 15ⁿ 6^m, à Paris.
 Délivré le 5 mars 1956. — Publié le 30 mai 1956.

La présente invention concerne un appareil dénommé « pressiomètre » destiné à l'expérimentation d'un terrain *in situ* en vue de la détermination subséquence des caractéristiques principales de ce terrain, à savoir; le module de compression, l'angle de frottement interne, la cohésion, caractéristiques dont la connaissance précise est très importante dans divers cas et en particulier lorsque ledit terrain doit supporter une fondation.
 Selon l'invention, le principe de l'expérimentation *in situ* consiste à introduire dans un trou de sondage à des profondeurs échelonnées, une cellule cylindrique déformable diamétralement, de diamètre correspondant à celui du trou de sondage et sans réaction élastique propre, que l'on gonfle à la demande et conformément à un programme « pression-temps » approprié, avec un fluide incompressible.

sécurité convenable, en regard des cellules extrêmes supérieure et inférieure.
 La (les) cellule (s) intermédiaire(s) dont on enregistrera le gonflement en fonction de la pression, n'opèrera (ront) qu'en regard d'une portion cylindrique des surfaces isostatiques.
 Il va de soi qu'au cours de l'expérimentation les cellules extrêmes supérieure et inférieure, devront être portées à une pression du même ordre que celle de la (des) cellule (s) intermédiaire (s). On pourra, si on le désire, enregistrer le gonflement de ces cellules supérieure et inférieure, mais uniquement à titre empirique, tandis que l'enregistrement du gonflement de la (des) cellule(s) intermédiaire(s) servira seul à l'établissement des diagrammes à interpréter.
 Dans ce qui va suivre, la (les) cellule (s) intermédiaire (s) sera (sont) dite (s) « de mesure » et



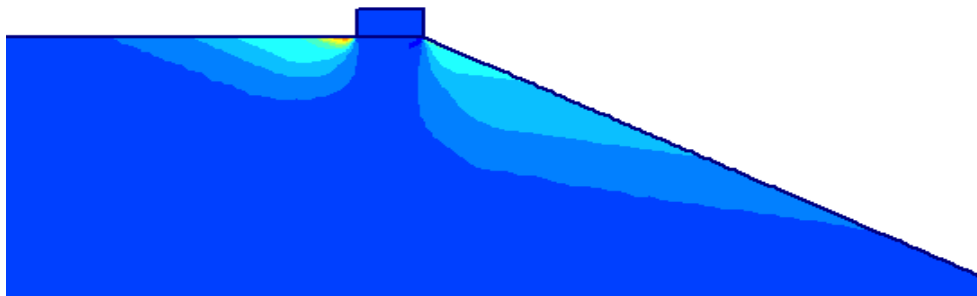
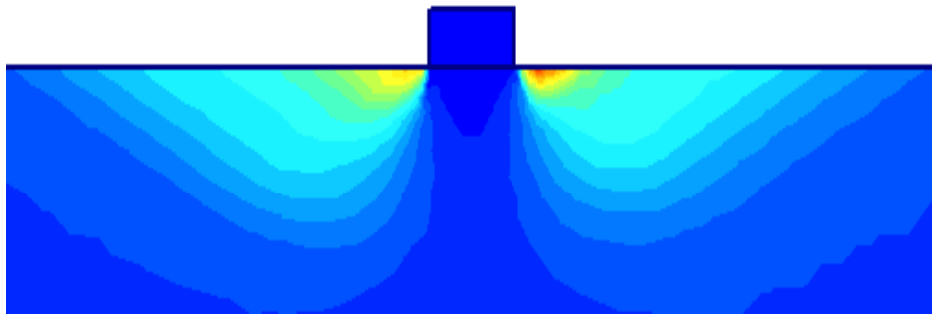
CAPACITÉ PORTANTE -ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

- Théoriques
- Empiriques
- Numériques

Terzaghi (1943)



$$q_{\max} = cN_c + qN_q + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma$$



Terzaghi (1943)

$$\bullet N_\gamma = 0,5 \tan \varphi ((K_{p\gamma} / \cos^2 \varphi) - 1)$$



Meyerhof (1963)

$$\bullet N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4\varphi)$$



Caquot et Kérisel (1966)

$$\bullet N_\gamma = \cos(\pi/4 - \varphi/2) / (2 \sin^2(\pi/4 + \varphi/2)) [k_p - \sin(\pi/4 - \varphi/2)]$$



Brinch-Hansen (1970)

$$\bullet N_\gamma = 1,8(N_q - 1) \tan \varphi$$



Vesic (1973)

$$\bullet N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \varphi$$



Sanglerat et Costet (1983)

$$\bullet N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4\varphi)$$

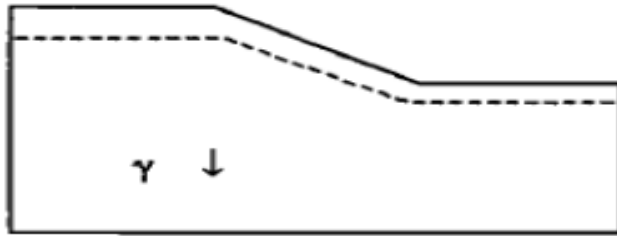
DIFFÉRENTS MÉCANISMES POUR LA GENÈSE D'UNE PENTE

Phase n°1

Phase n°2

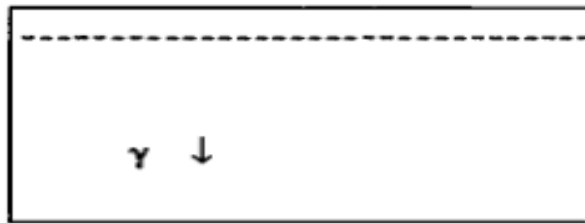
Tassement de la pente soumise à son poids propre

Tassement

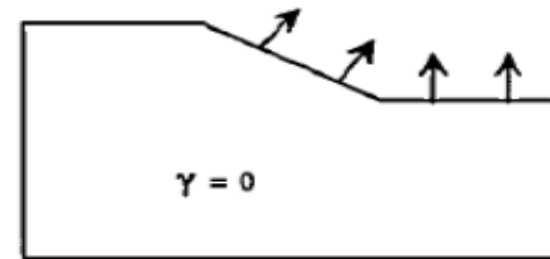


Tassement du massif horizontal soumis à son poids propre

Excavation

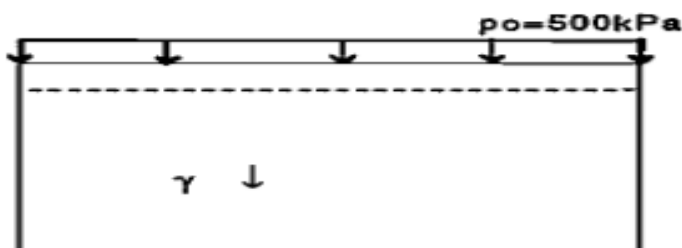


Excavation par annulation de la contrainte normale sur la surface excavée

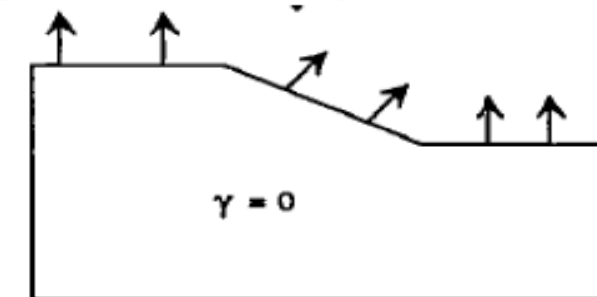


Tassement du massif horizontal soumis à son poids propre et à une contrainte verticale $p_0=500\text{kPa}$ appliquée à la surface du massif

Surconsolidation



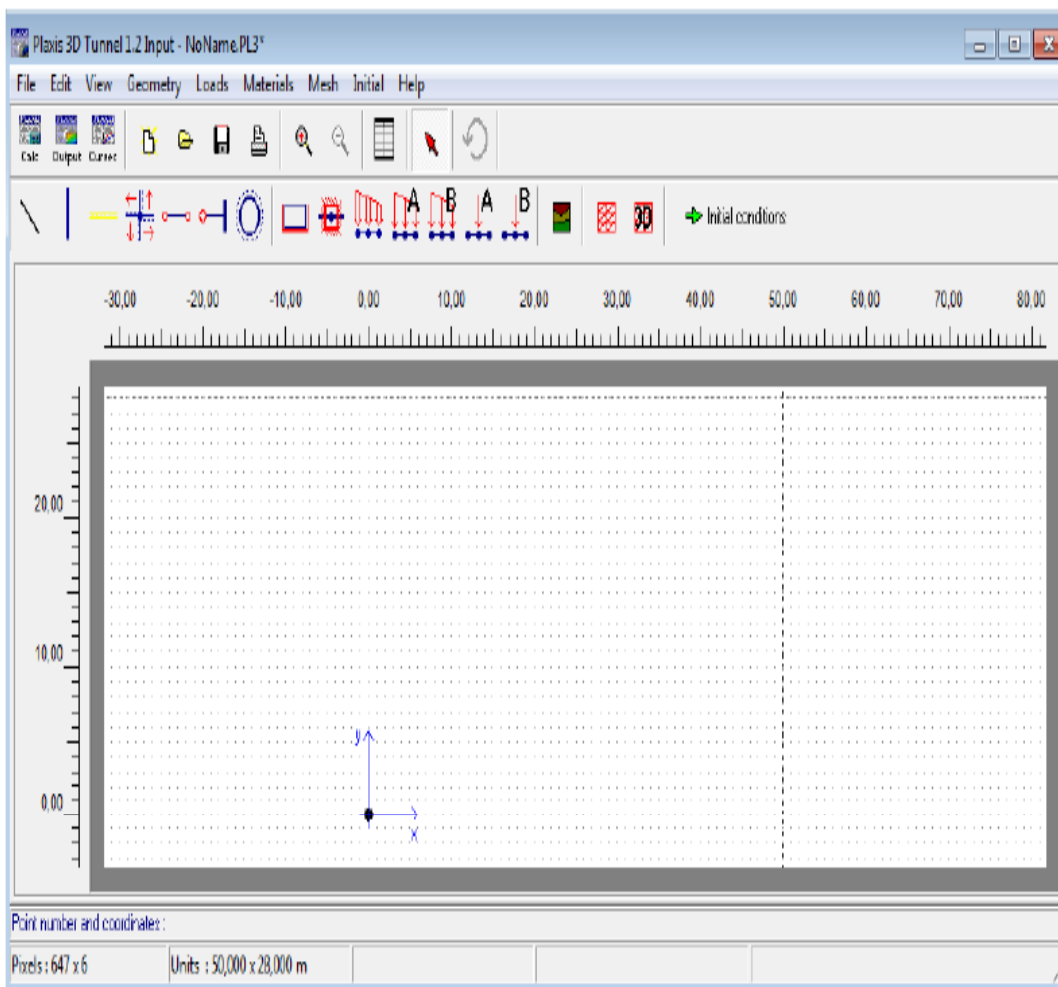
Excavation par annulation de la contrainte normale sur la surface excavée et de la pression P_0 sur la partie non excavée



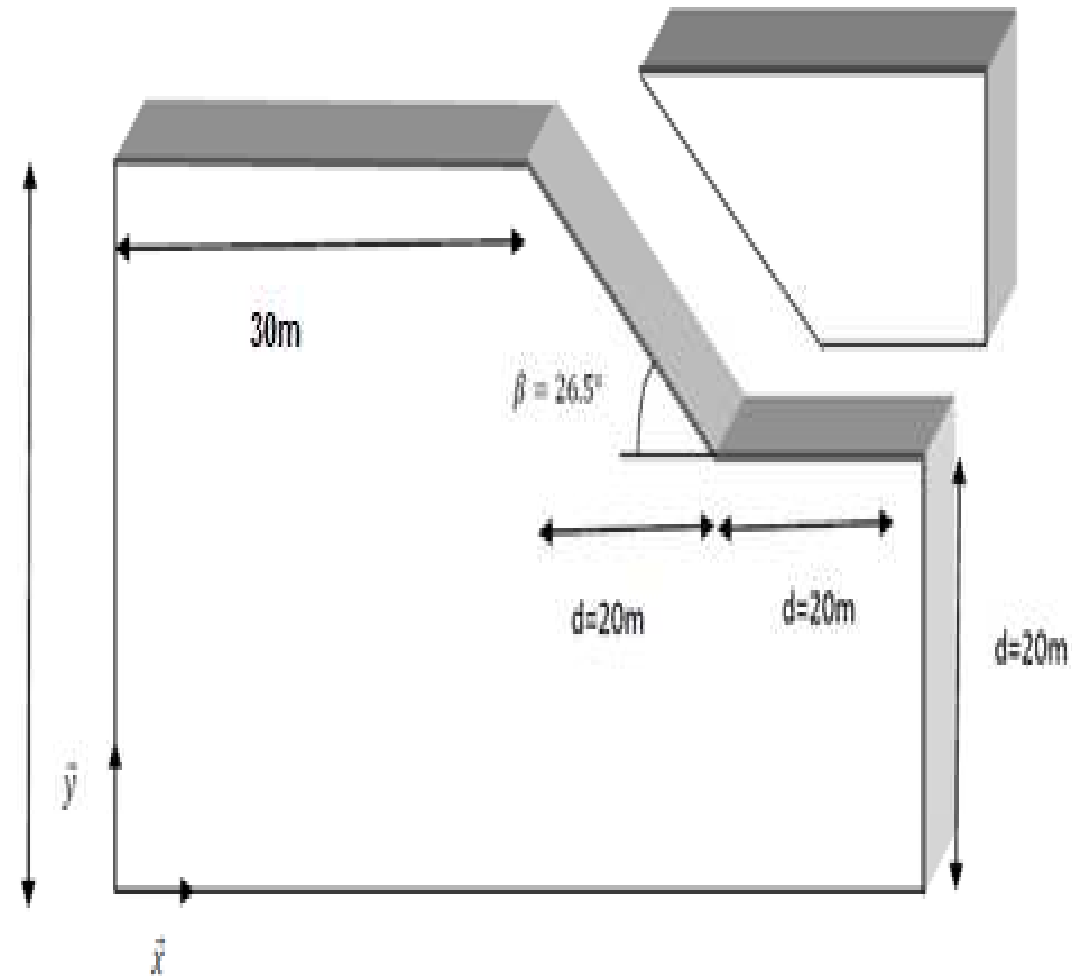
PARTIE II

ANALYSE NUMERIQUE

CODE DE CALCUL

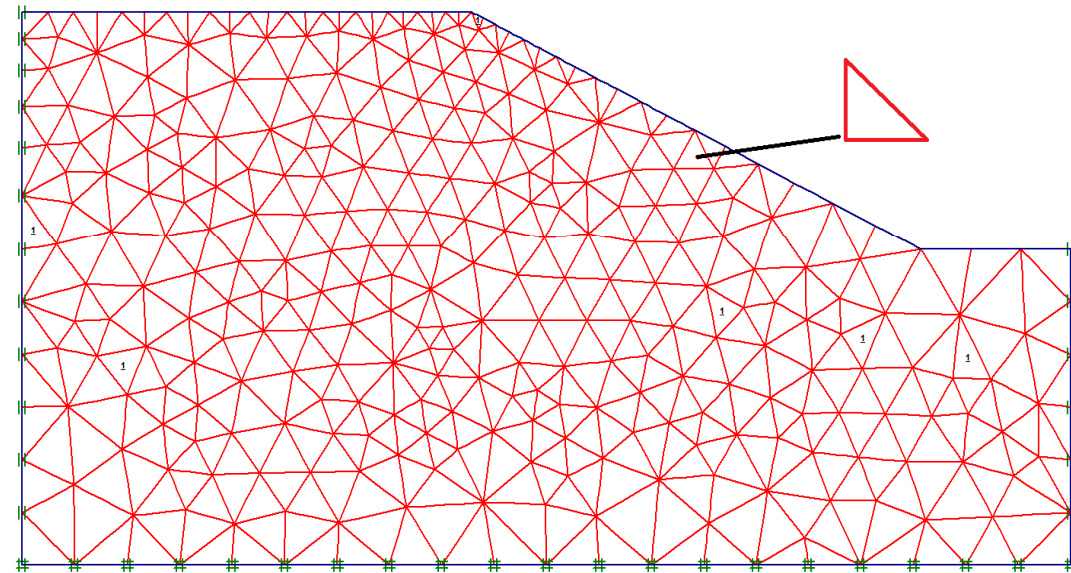
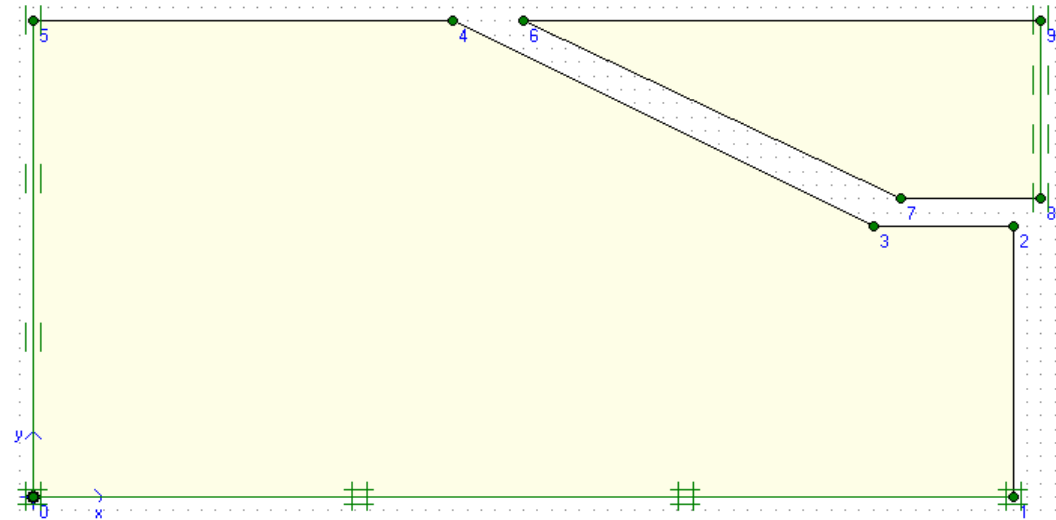
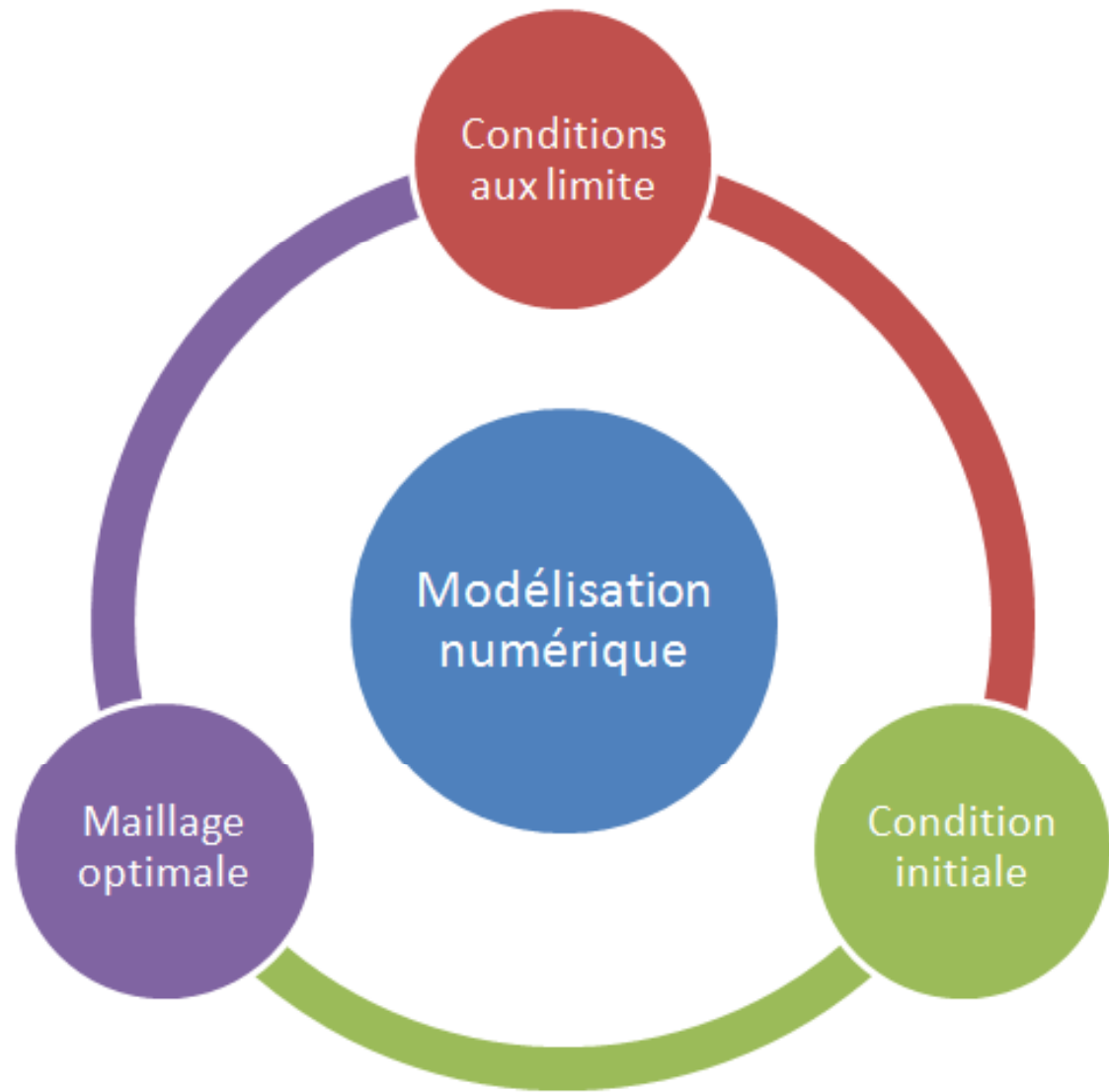


Interface Plaxis 3D tunnel



Modélisation numérique .

MODÉLISATION NUMÉRIQUE



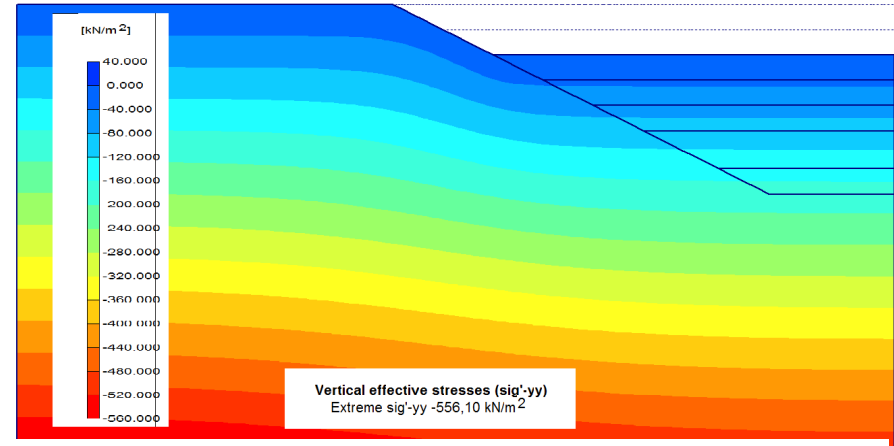
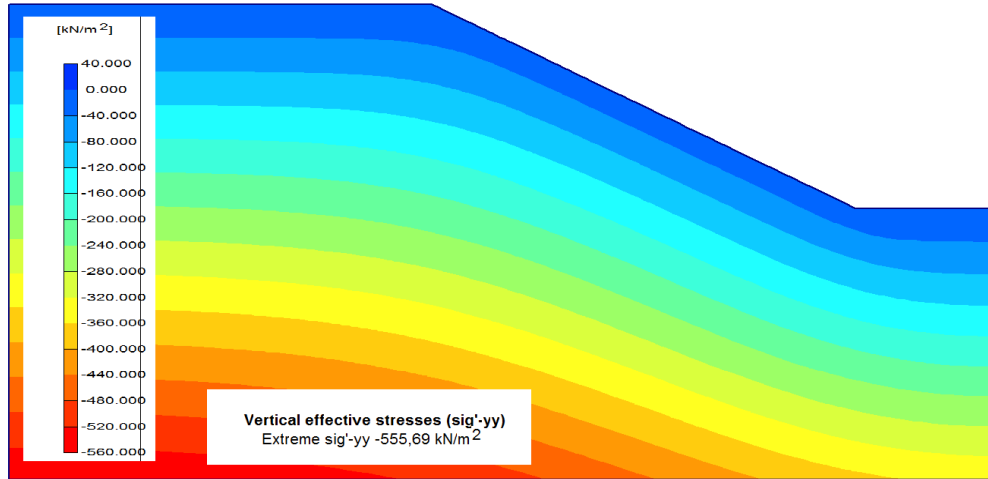
CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES

		Site 01	Site 02	Site 03		
	Paramètres	Argile limoneuse	Argile limoneuse	Quaternaire	Molasse	Marne
	Distance	-	-	0-6	6-11.5	11.5-40
Mohr-Coulomb	γ (kN/m ³)	16	16	19	17	22
	E (MPa)	2	10	100	100	350
	ν	0.3	0,3	0.25	0.25	0.3
	ϕ	20°	27°	27.5°	32.5°	30°
	C (kPa)	15	20	10	0	150
	ψ	0°	0°	0°	0°	0°
Cam-Clay	λ	0,155	0,036	-	0.042	0.040
	k	0,052	0,012	-	0.005	0.028
	M	0.70	1.07	1.09	1.30	1.2
	e_0	0.680	0.795	-	0.540	0.960
	p_{co}	0	0	-	5.14	4.86

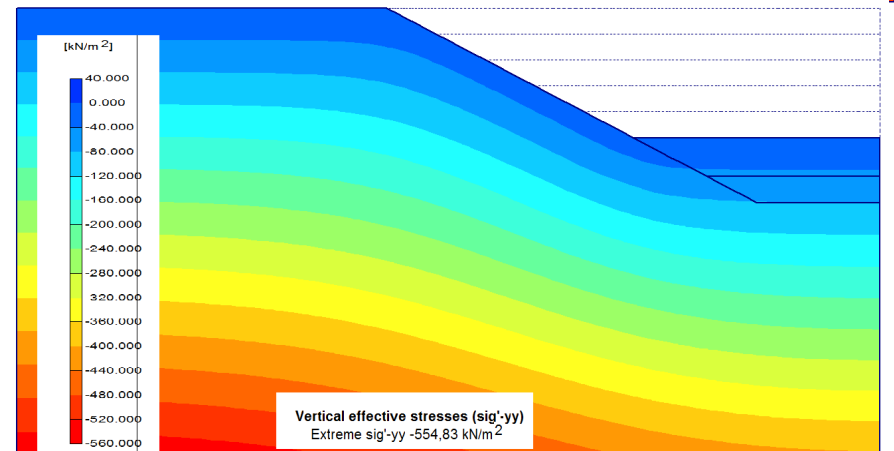
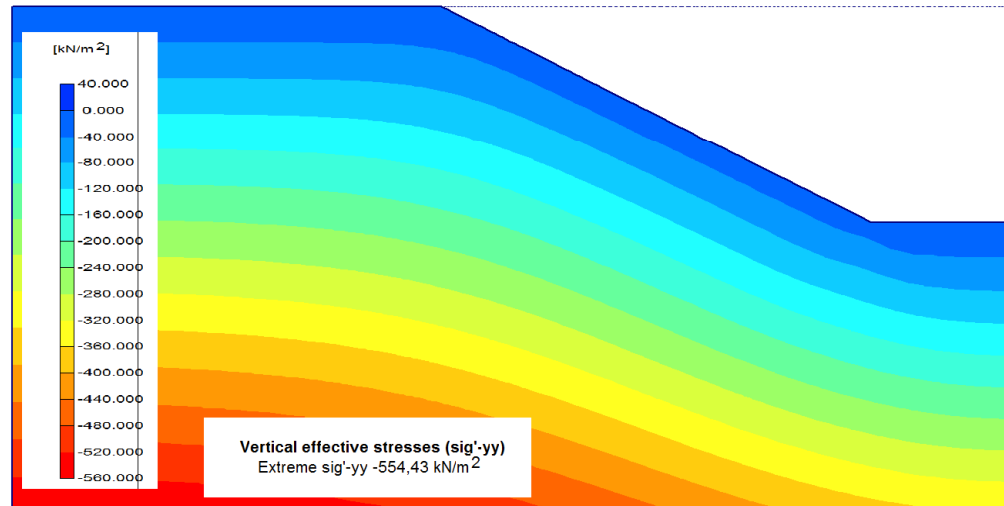
LES TROIS SITES



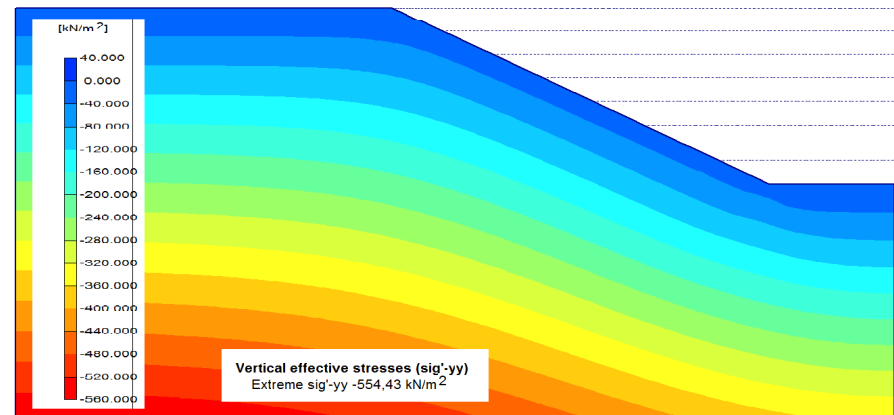
ÉTAT DE CONTRAINTES INITIALES DANS UNE PENTE



Procédure du tassement



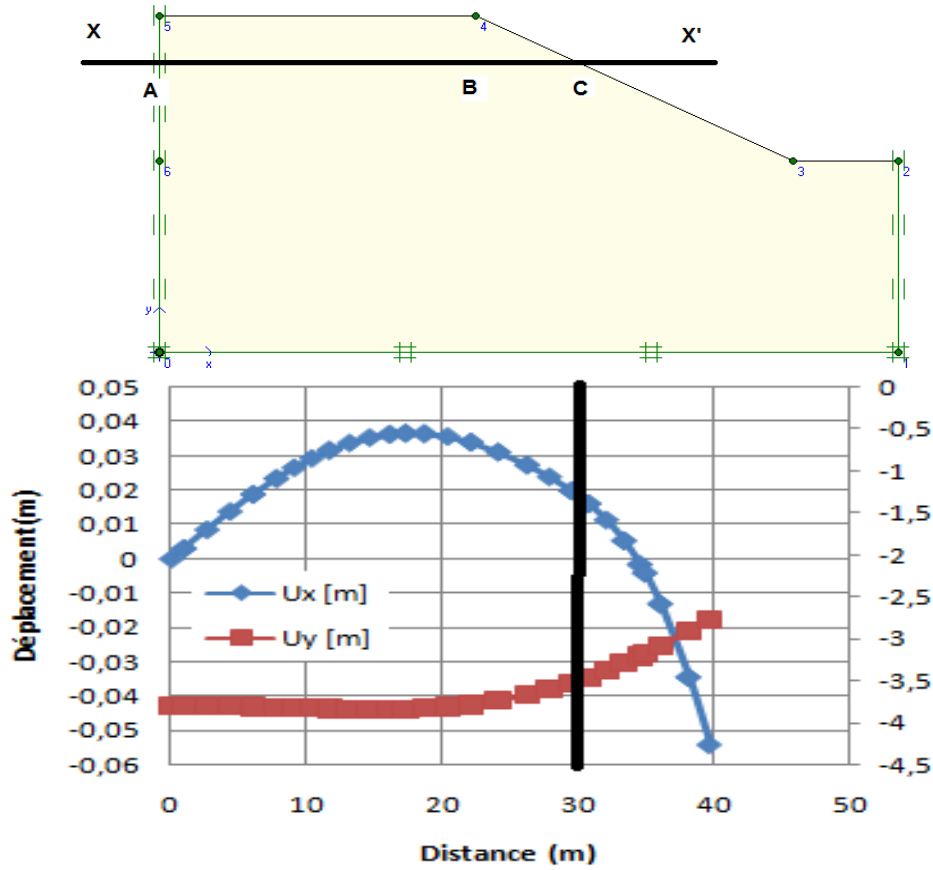
Procédure de surconsolidation



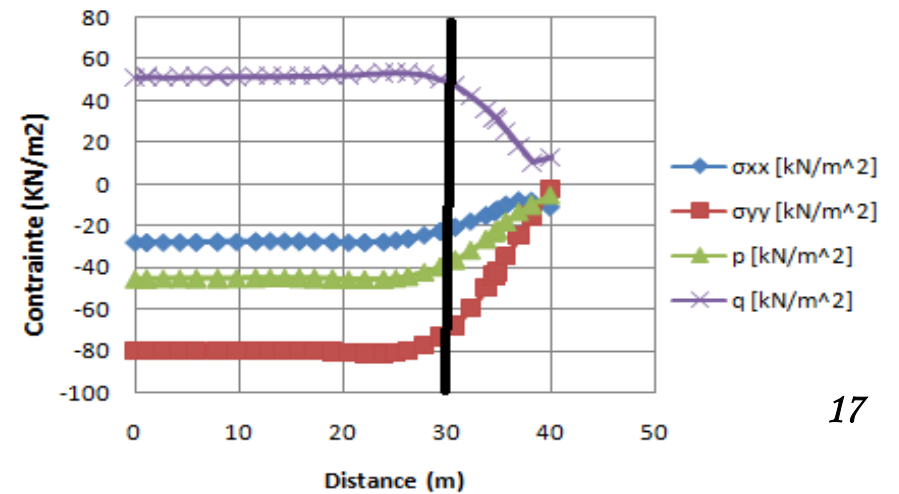
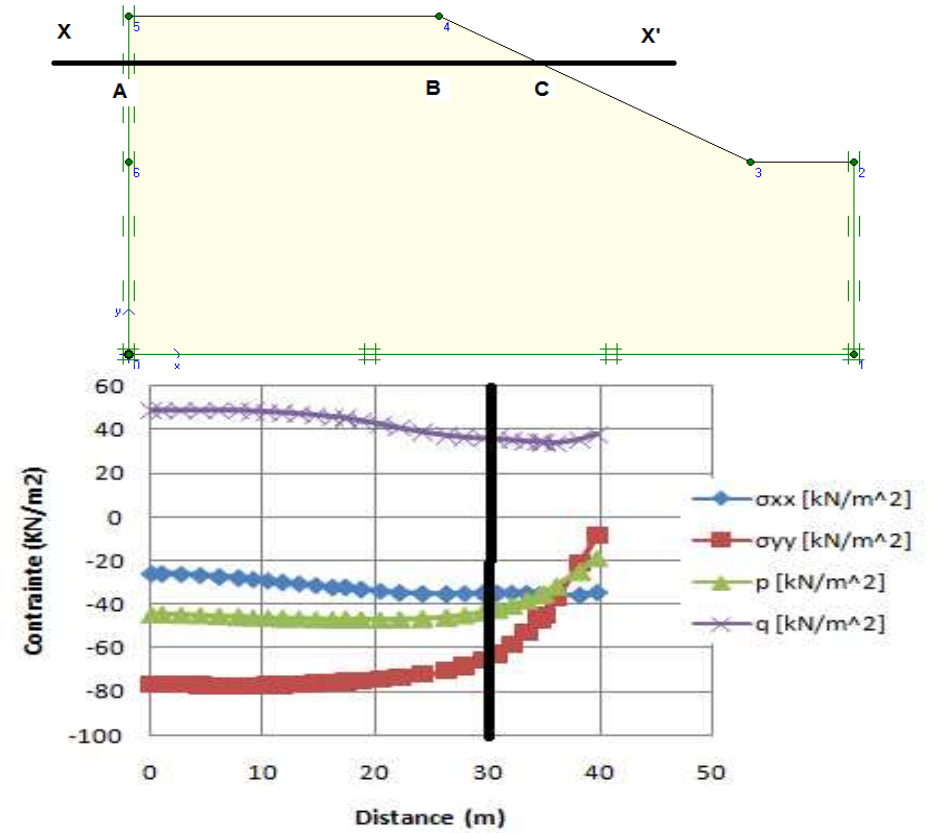
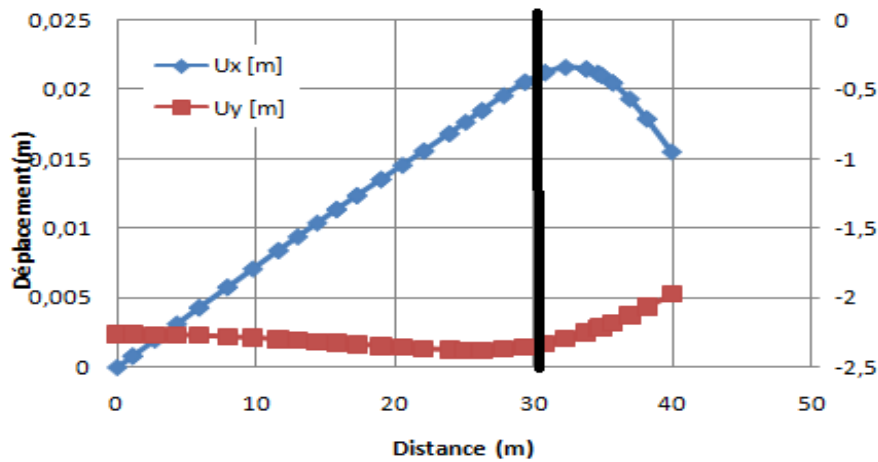
Procédure d'excavation

EVOLUTION DES DÉFORMATIONS ET CONTRAINTES SUR PENTE

Mohr-Coulomb

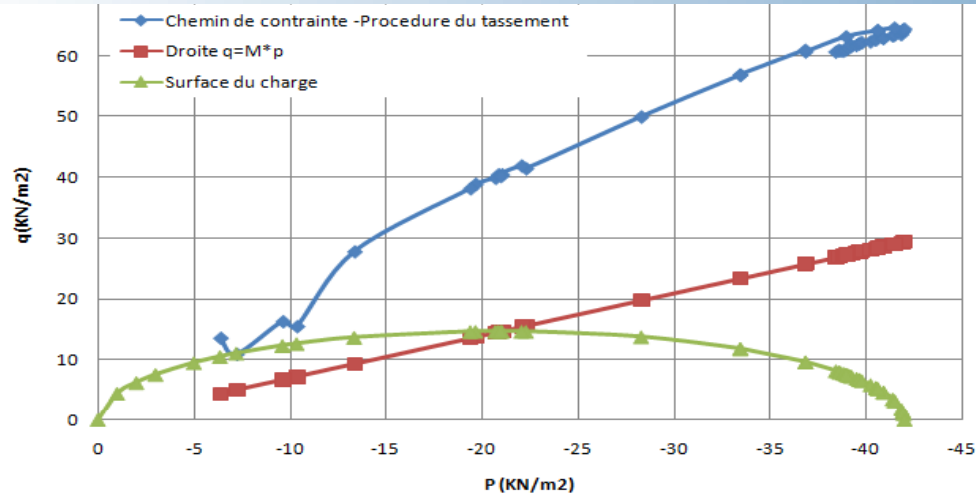


Cam-Clay

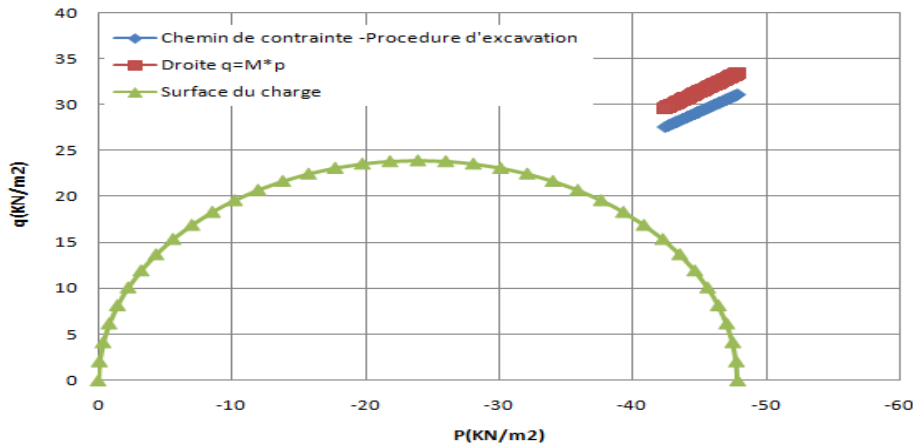


EVOLUTION DES CONTRAINTES DANS LE PLAN (p, q)

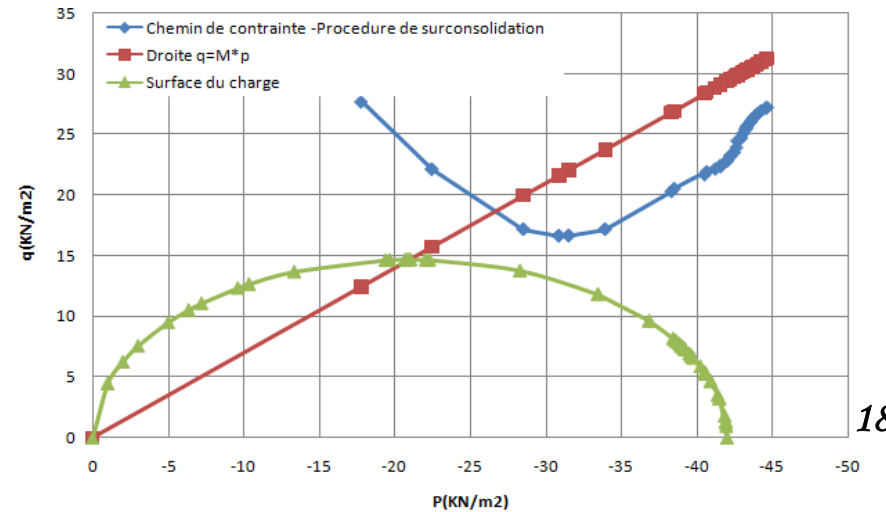
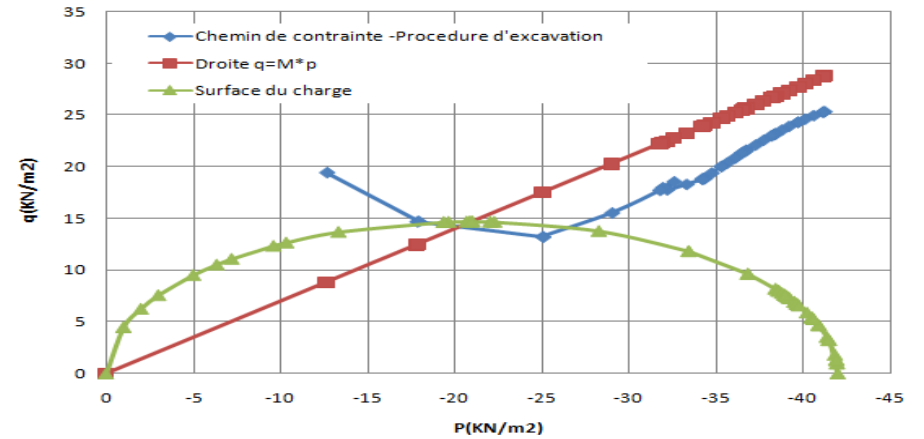
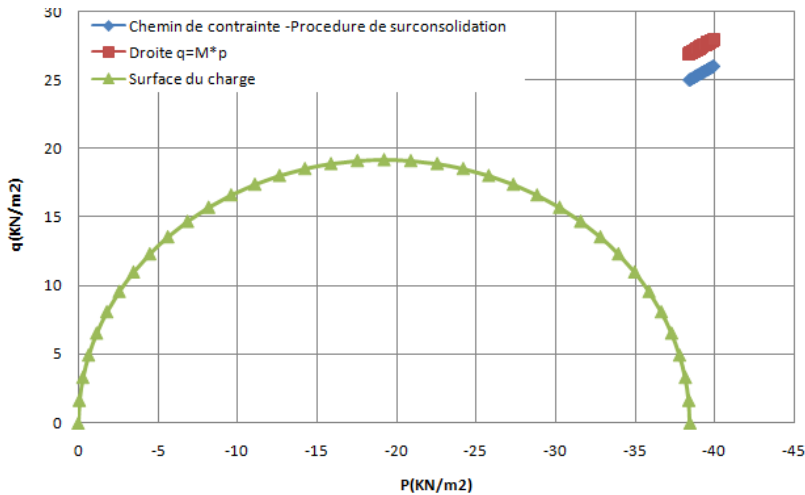
Procédure
du tassement



Procédure
d'excavation



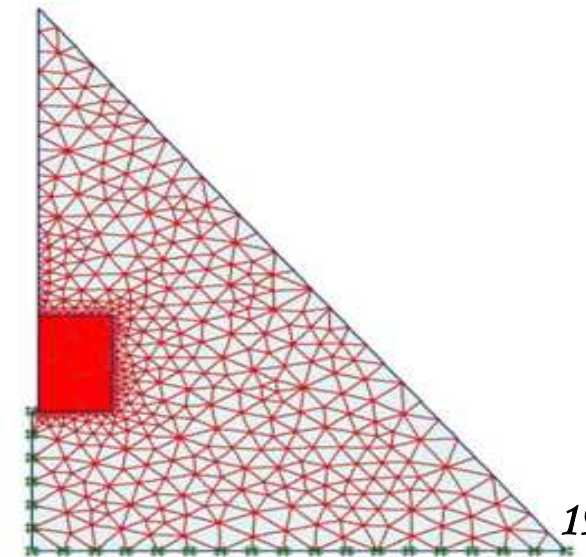
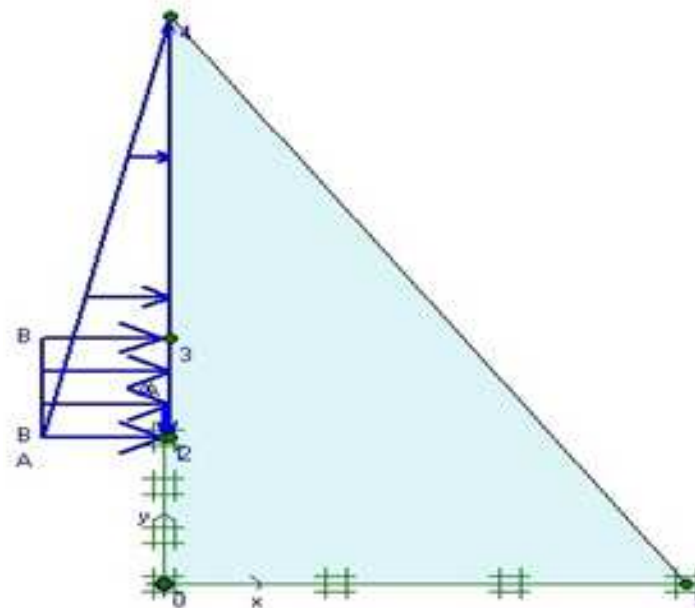
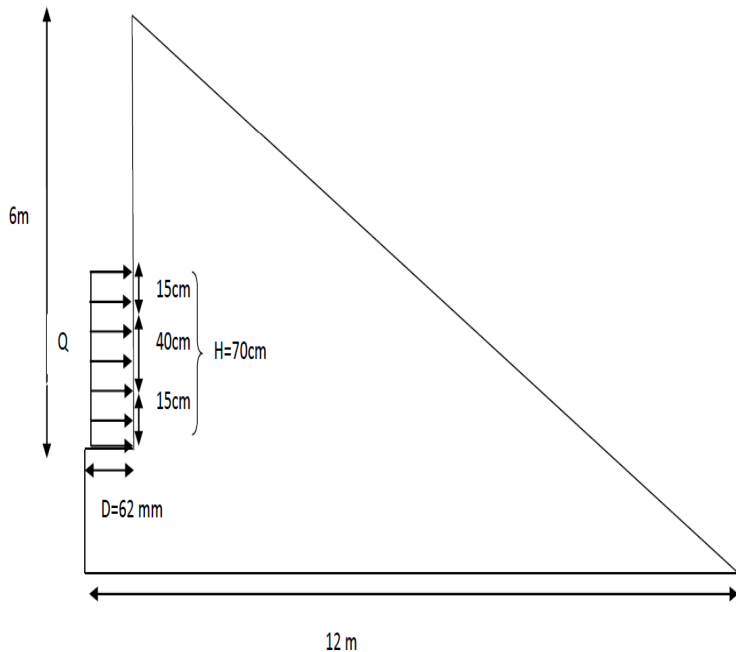
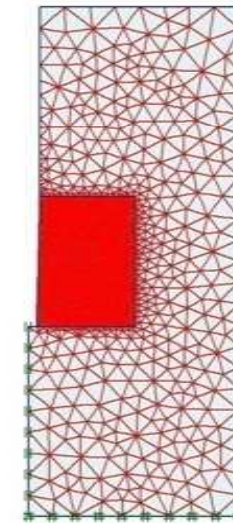
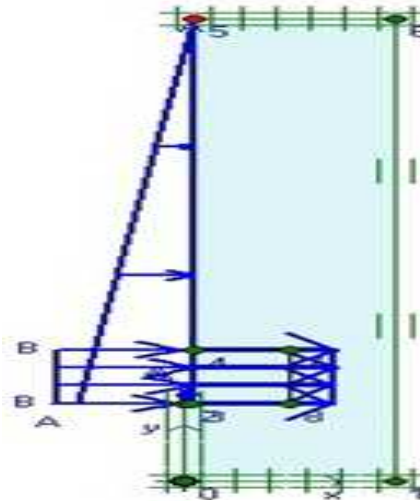
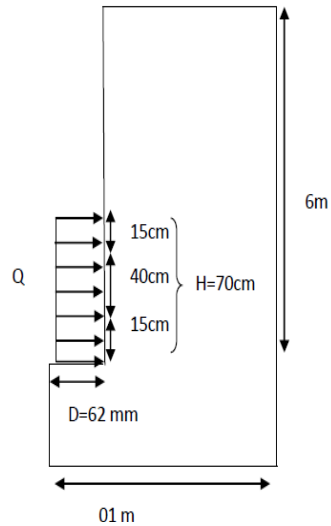
Procédure de
surconsolidation



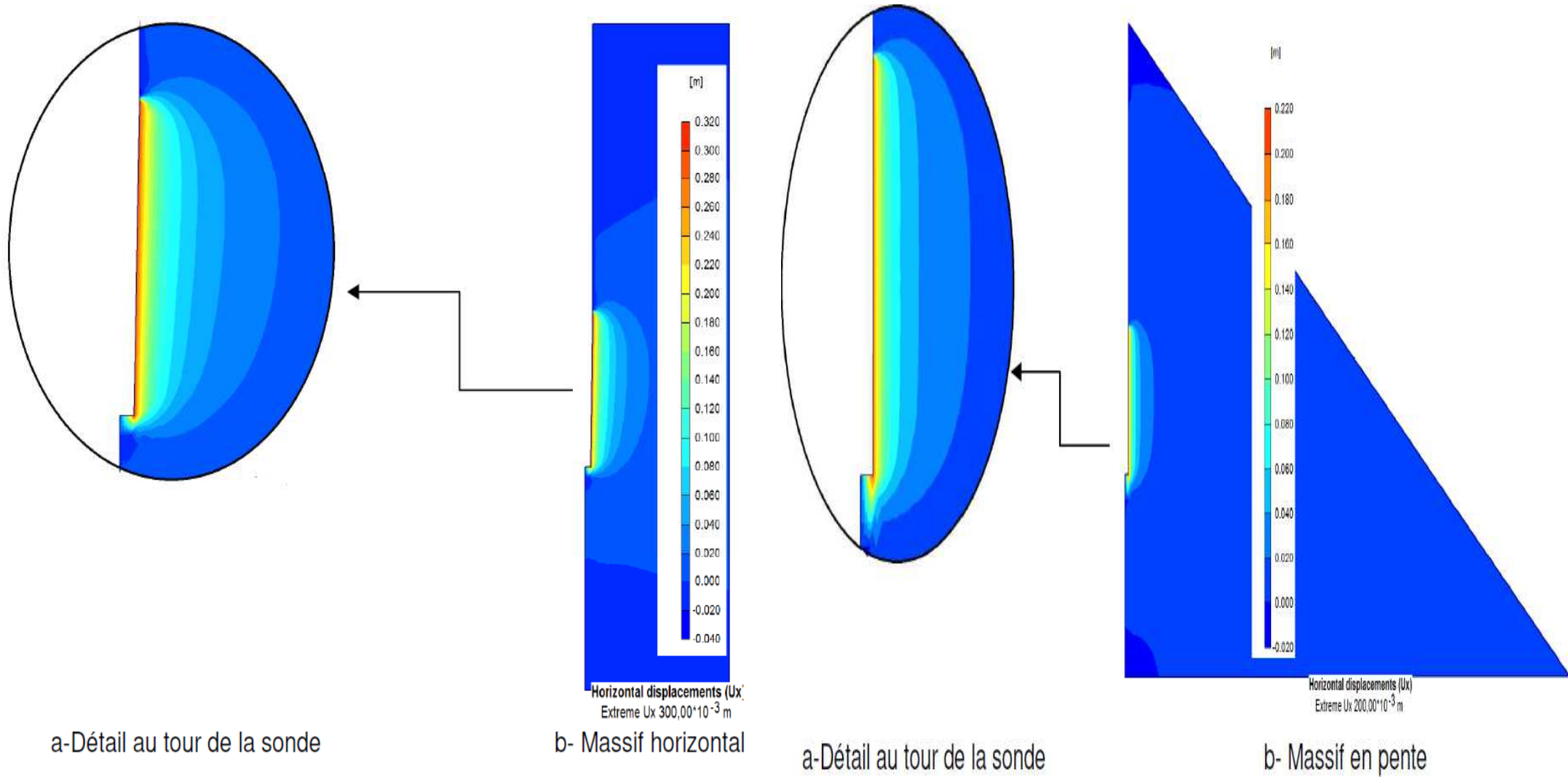
SIMULATION DE L'ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE

Hypothèses de base

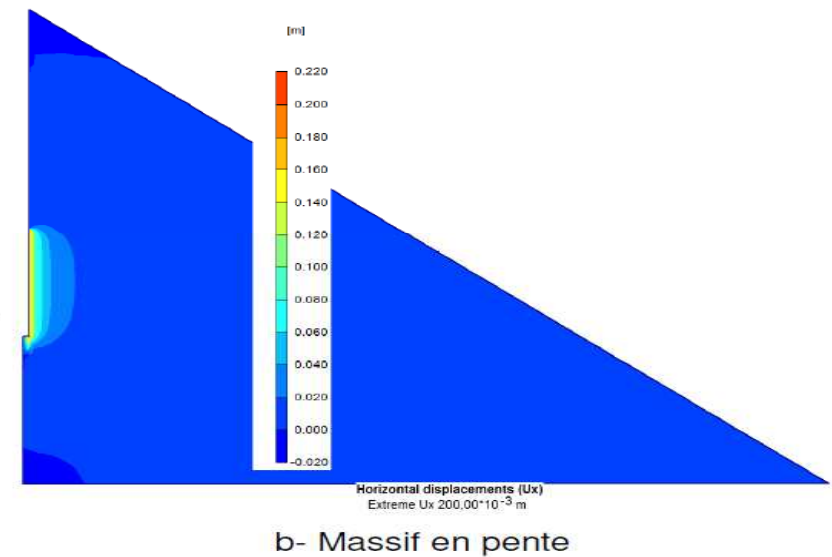
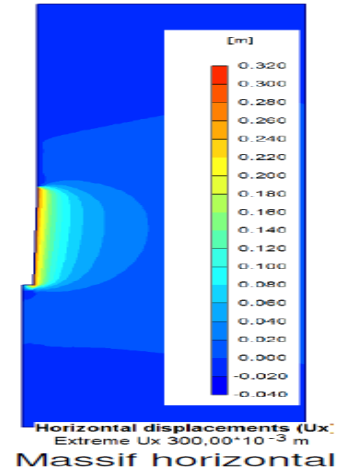
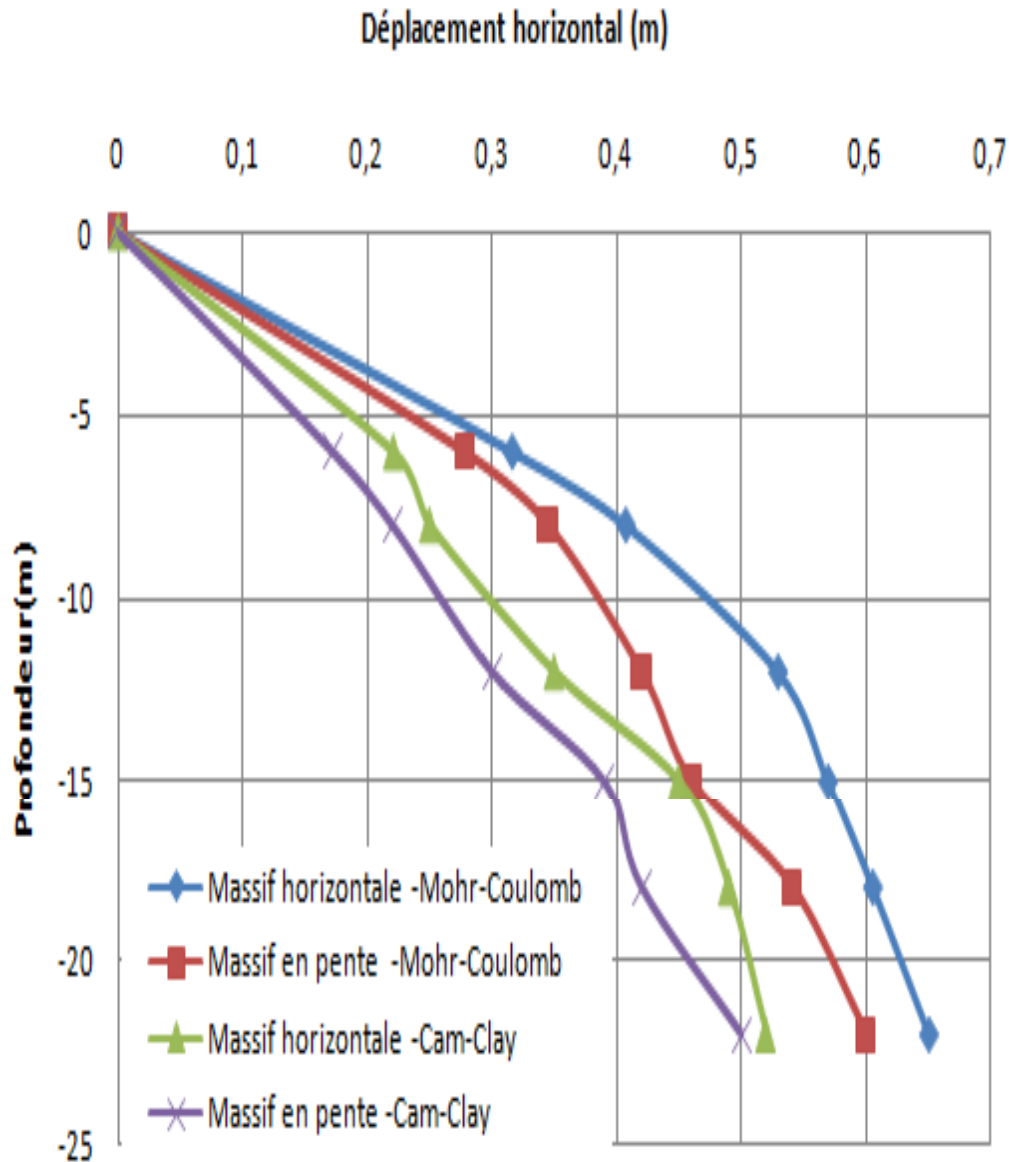
- 1) Les simulations sont réalisées en petites déformations,
- 2) L'essai est analysé en conditions drainées (en contraintes effectives)
- 3) Le mode de déformation de la sonde pressiométrique est la déformation plane.



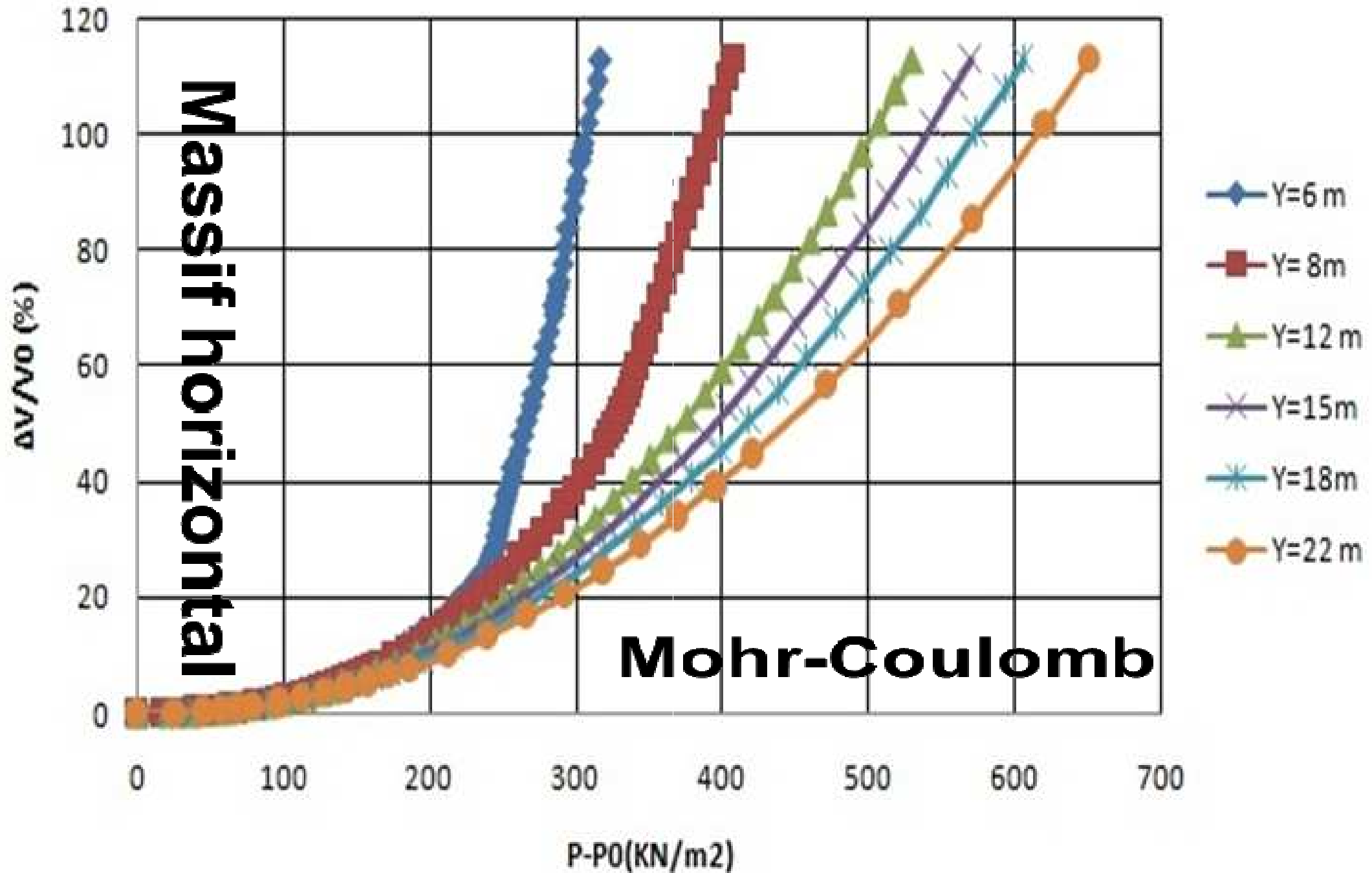
DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX AUTOUR DE LA SONDÉ



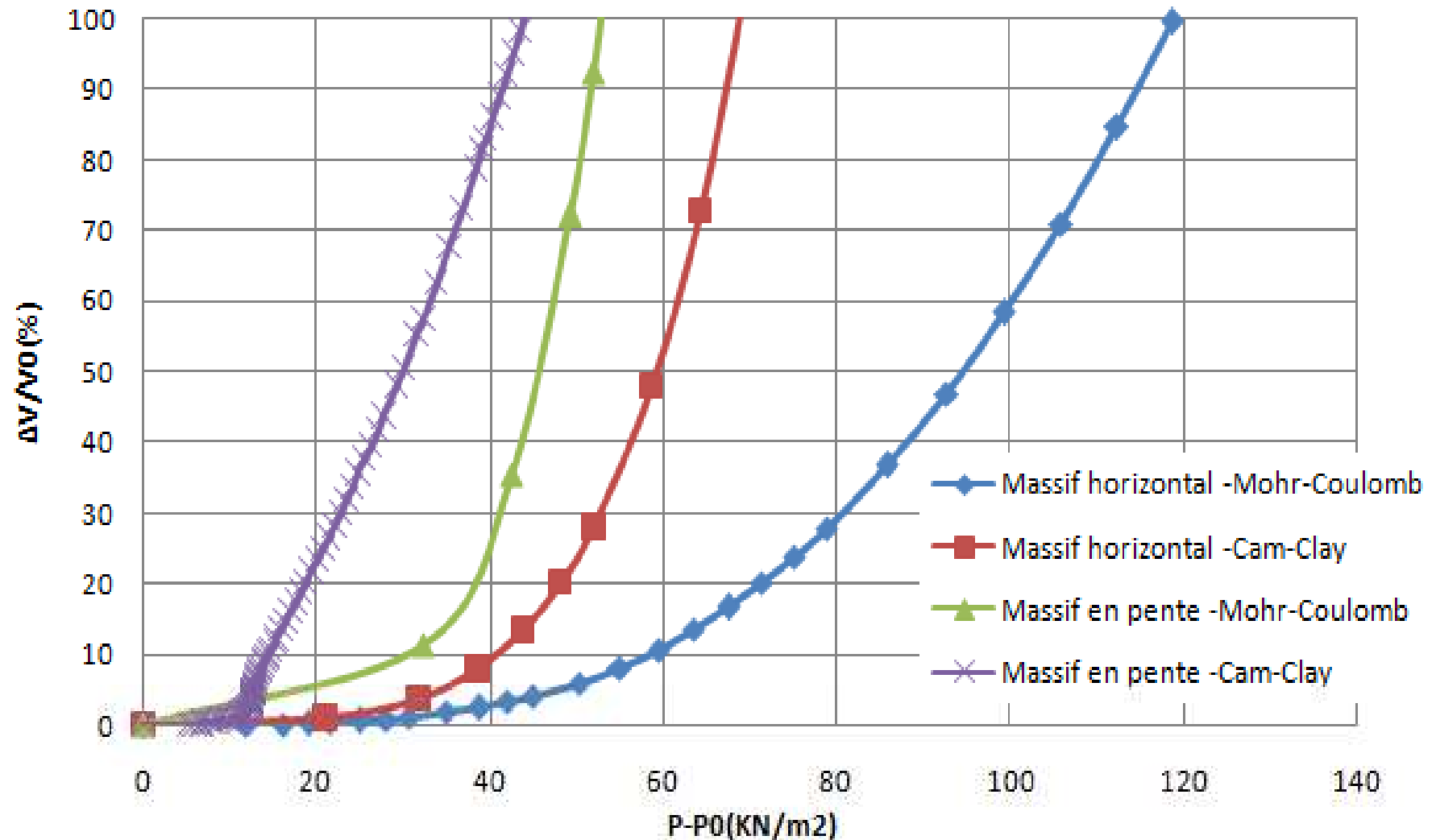
DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX AU TOUR DE LA SONDE



COURBES PRESSIOMÉTRIQUES

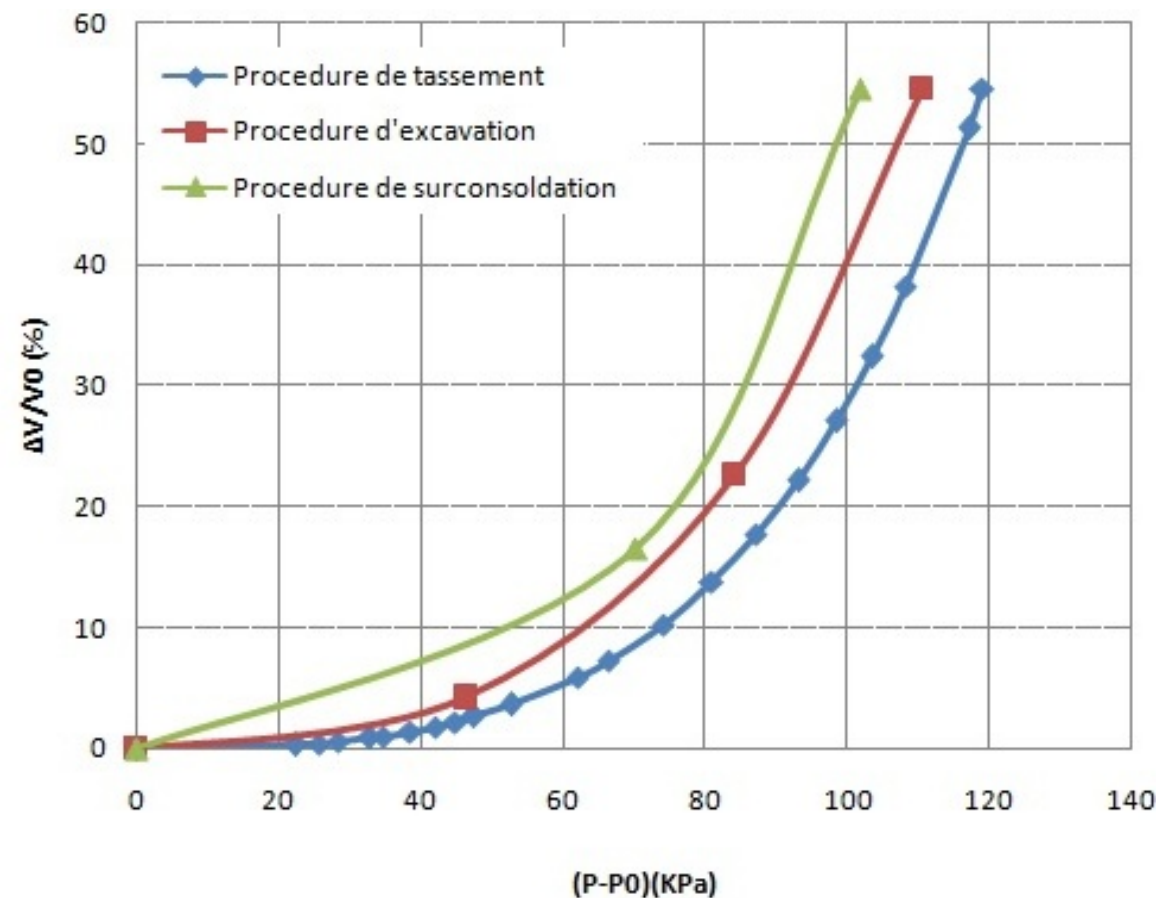


COURBES PRESSIOMÉTRIQUES POUR Y=6M

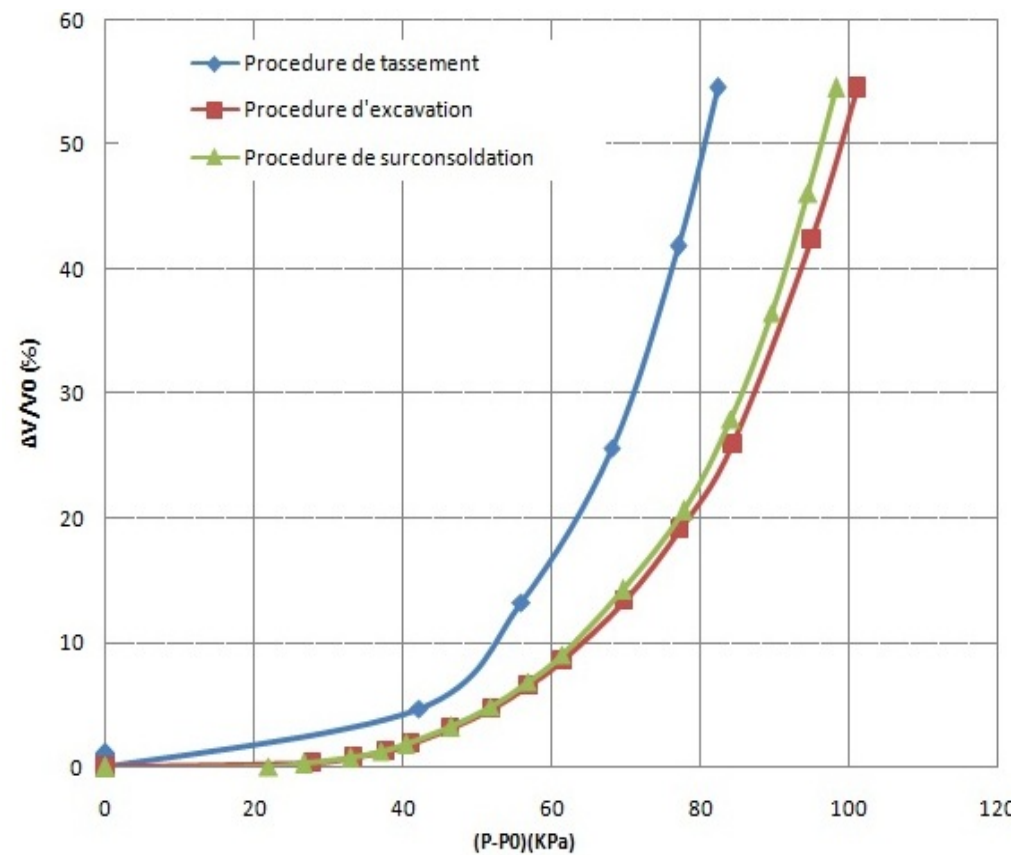


Courbe préssiometrique pour y=6m

COURBES PRESSIOMÉTRIQUES – DIFFÉRENTES PROCÉDURES DE GENÈSE DE LA PENTE

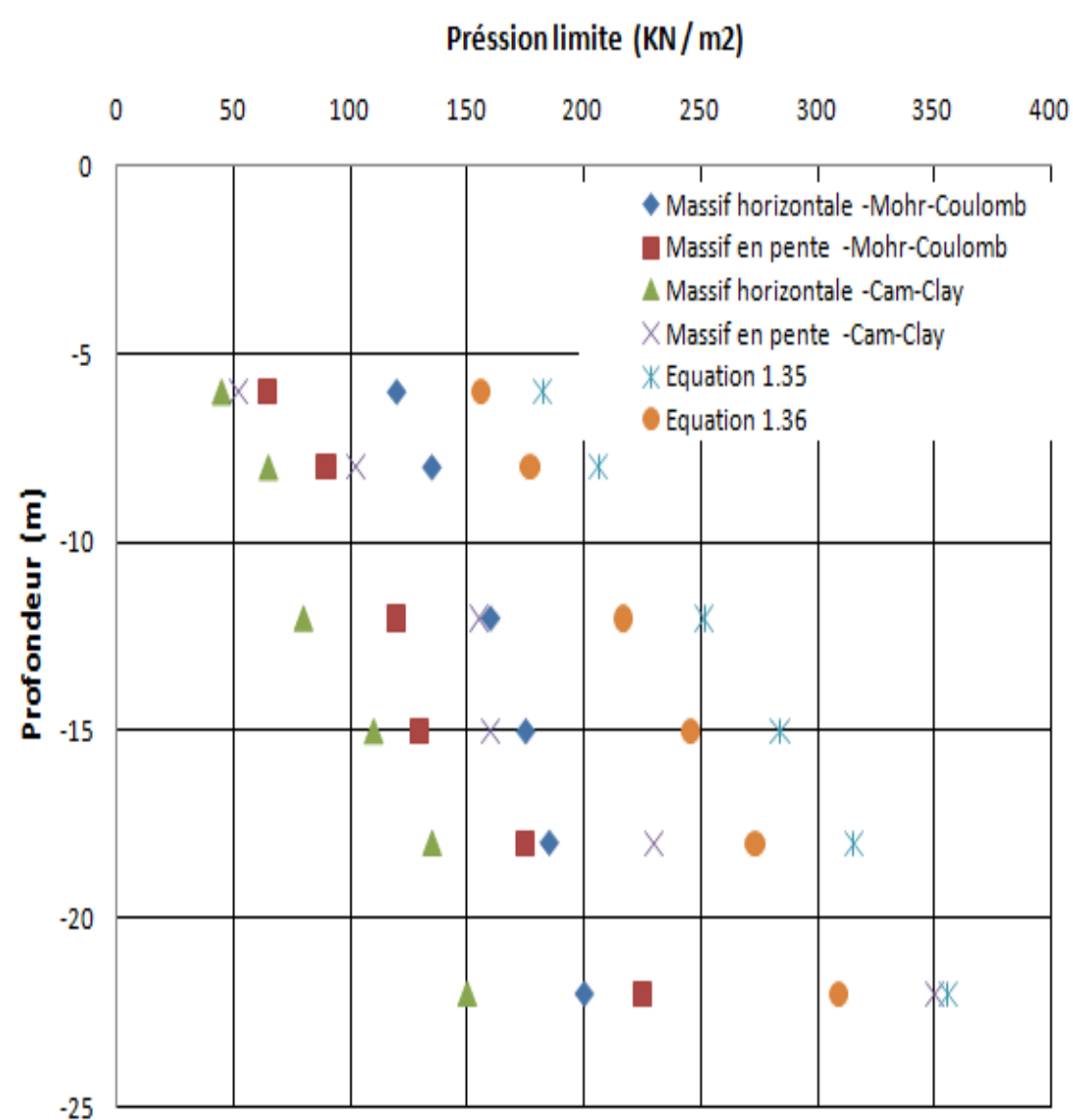


Mohr-Coulomb

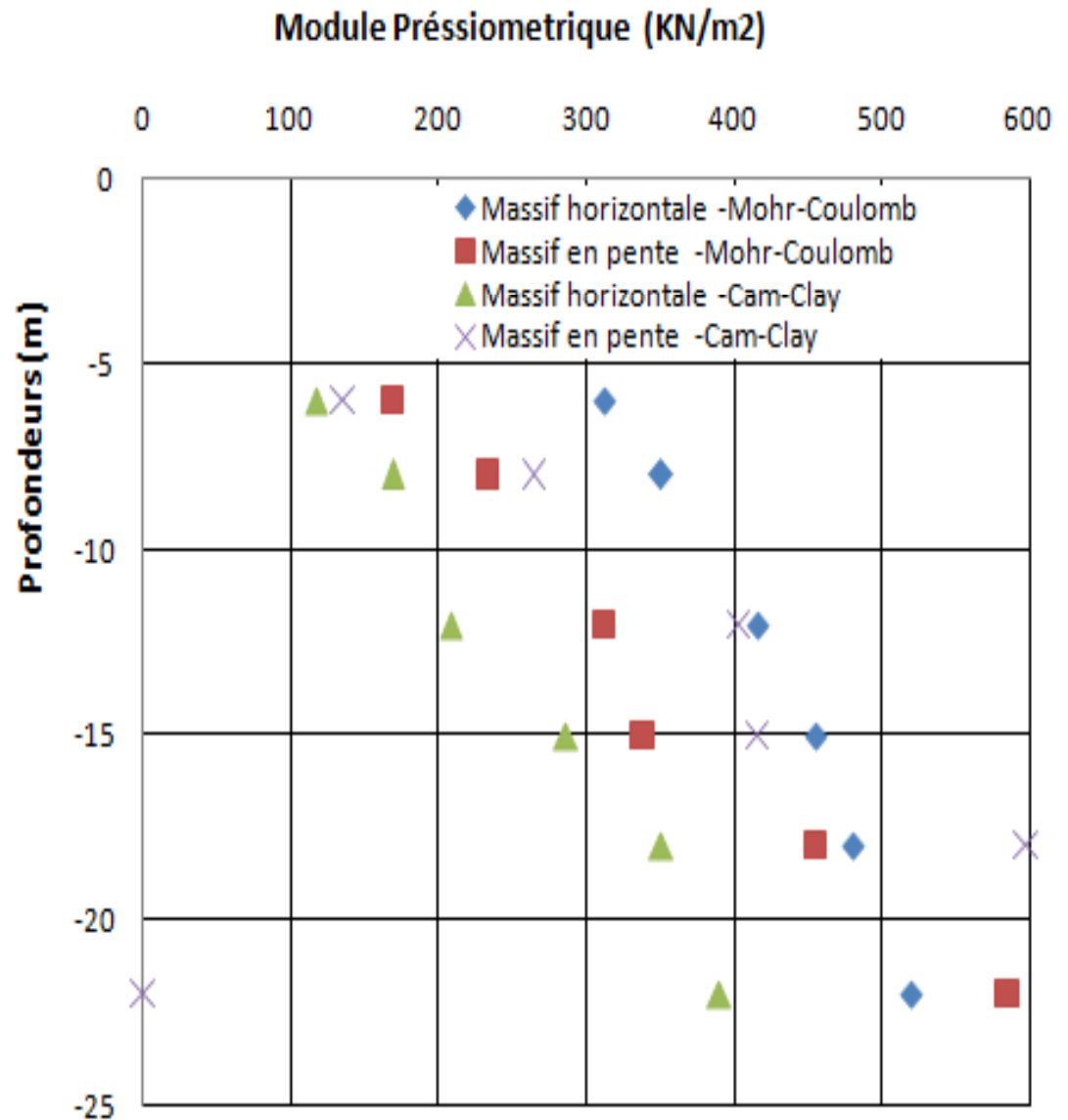


Cam-Clay

CARACTÉRISTIQUES PRESSIOMÉTRIQUES

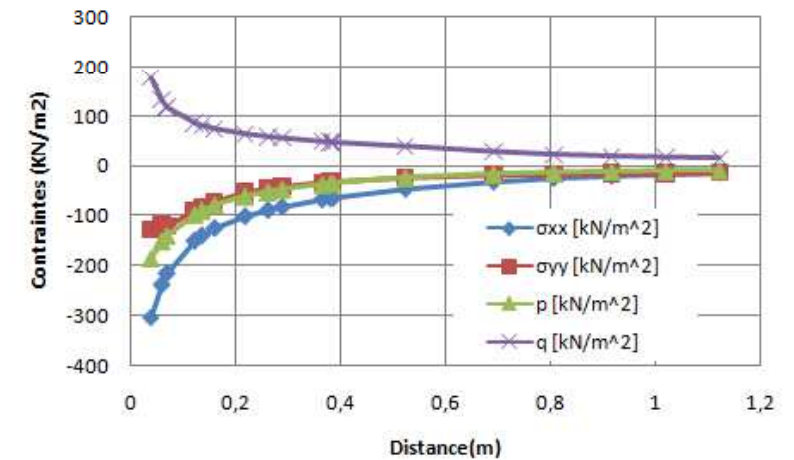
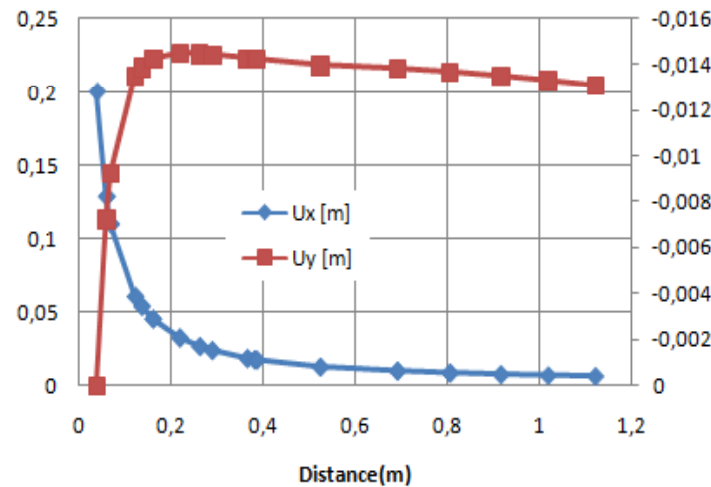
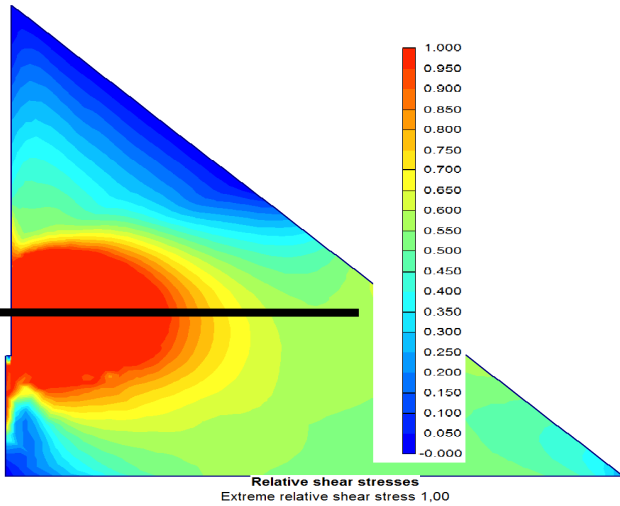
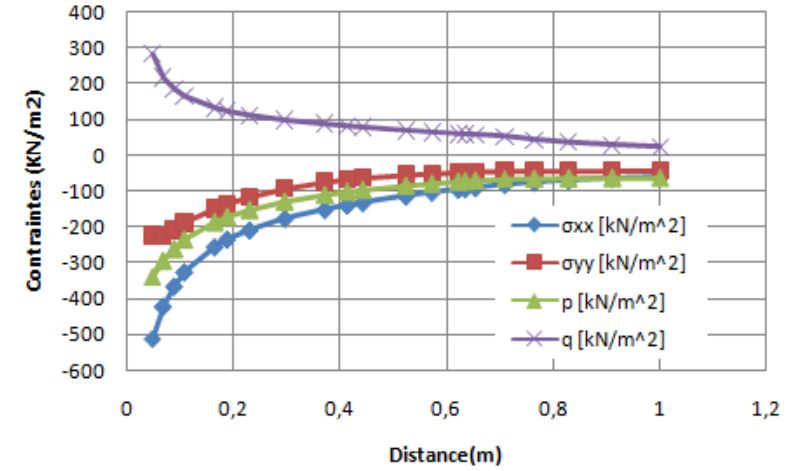
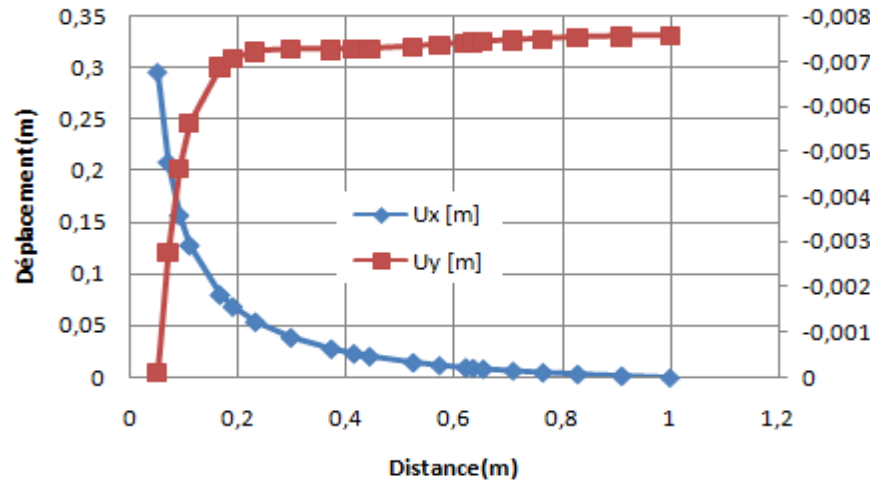
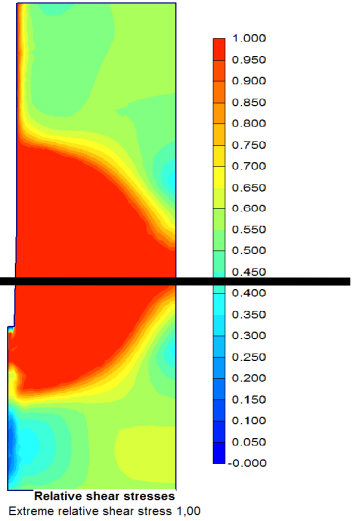


Profil de la pression limite



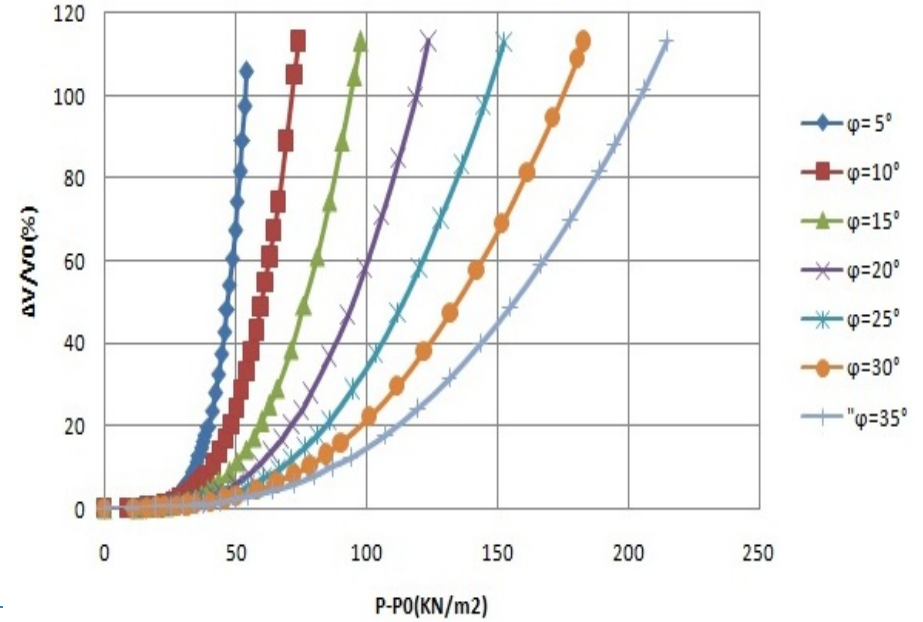
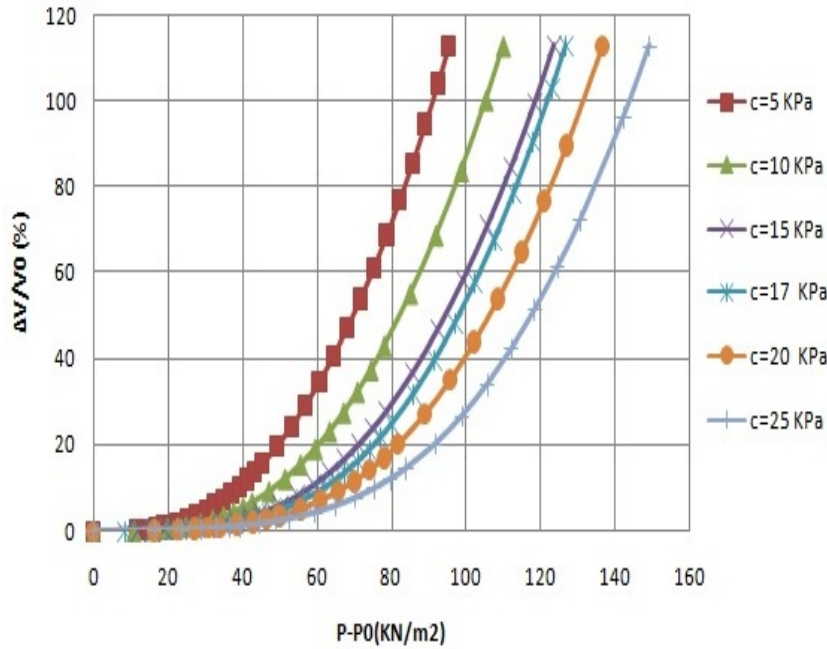
Profil du module pressiométrique

DÉFORMATIONS ET CONTRAINTES AUTOUR DE LA SONDE PRESSIOMÉTRIQUE

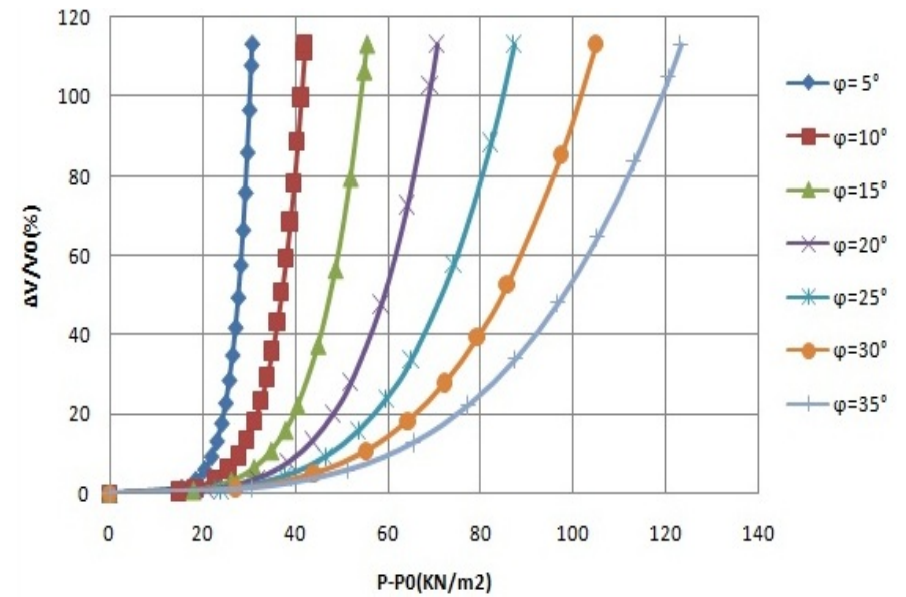
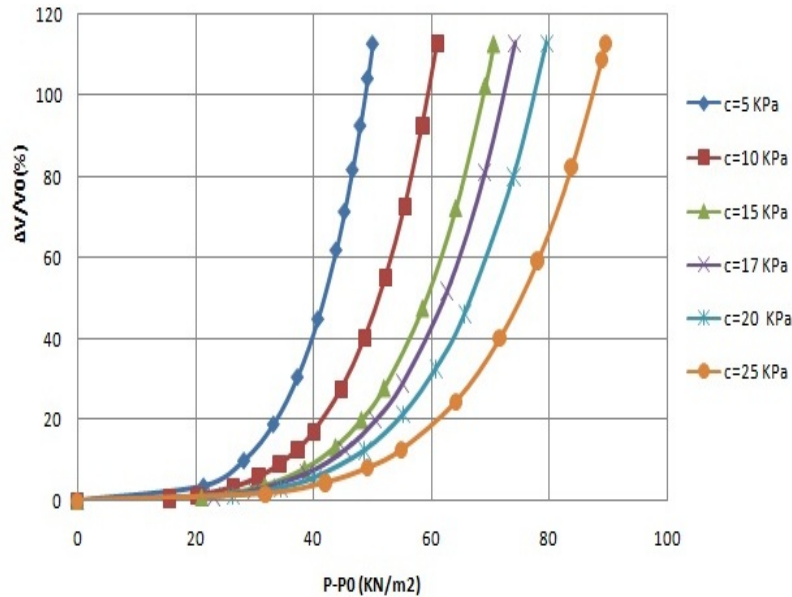


ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE - ETUDE PARAMÉTRIQUE

Massif horizontal



Massif en pente

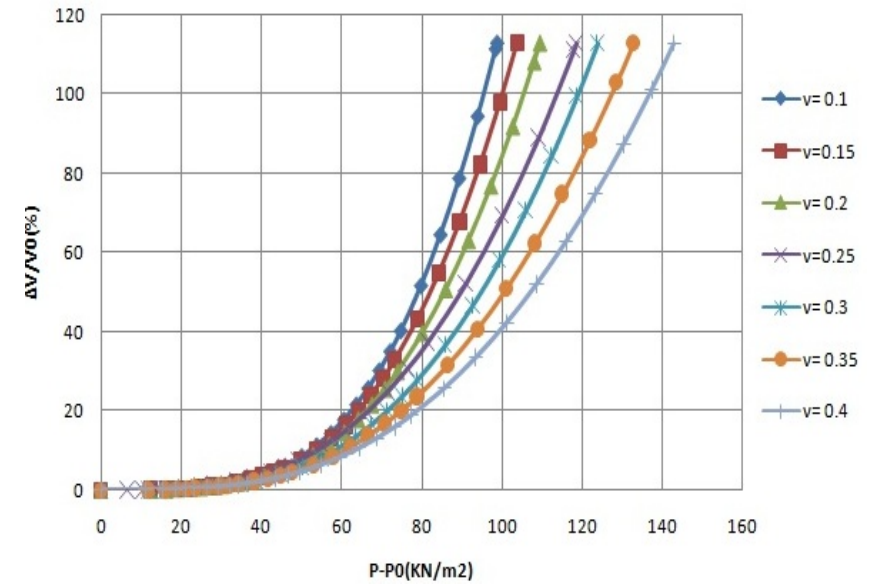
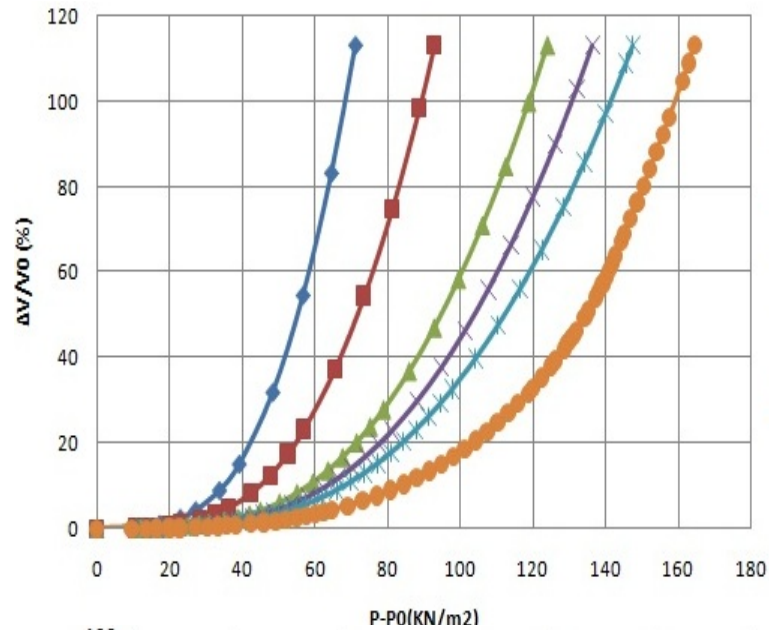


Effet de la cohésion

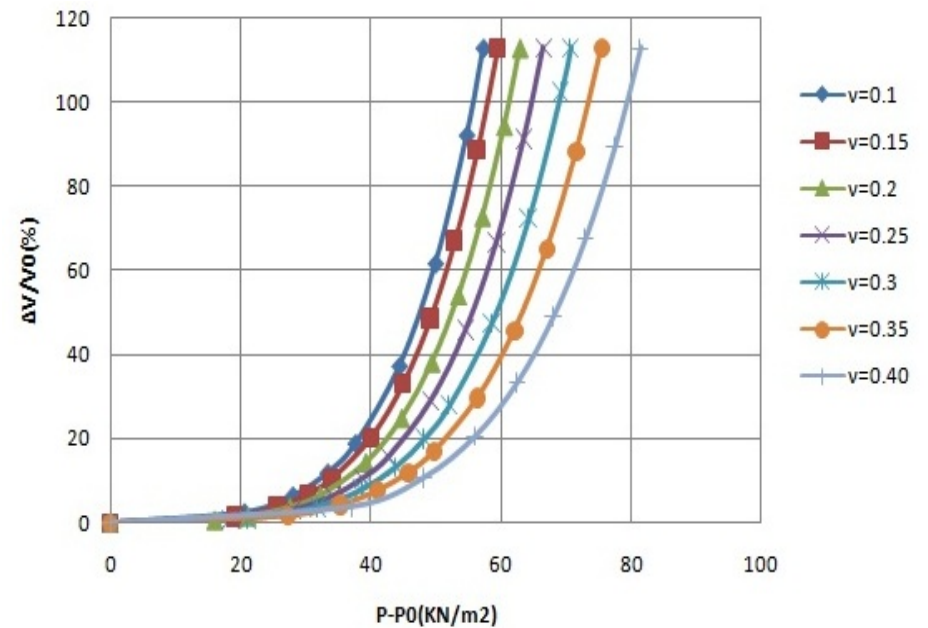
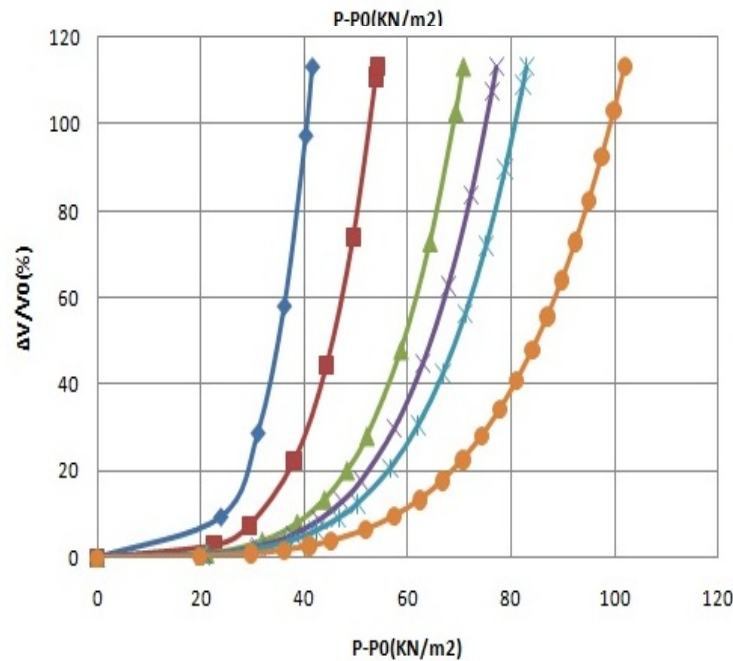
Effet de l'angle de frottement

ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE - ETUDE PARAMÉTRIQUE

Massif horizontal



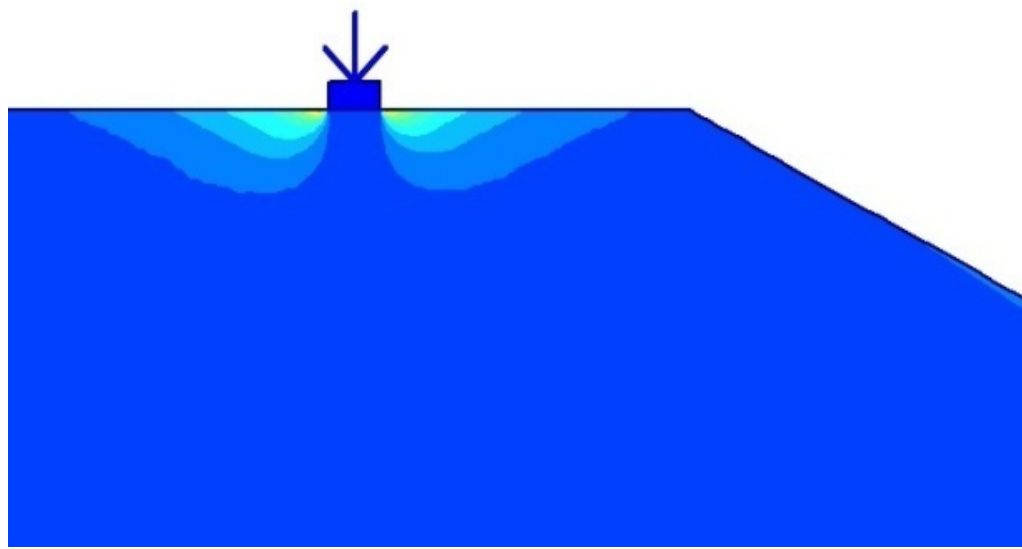
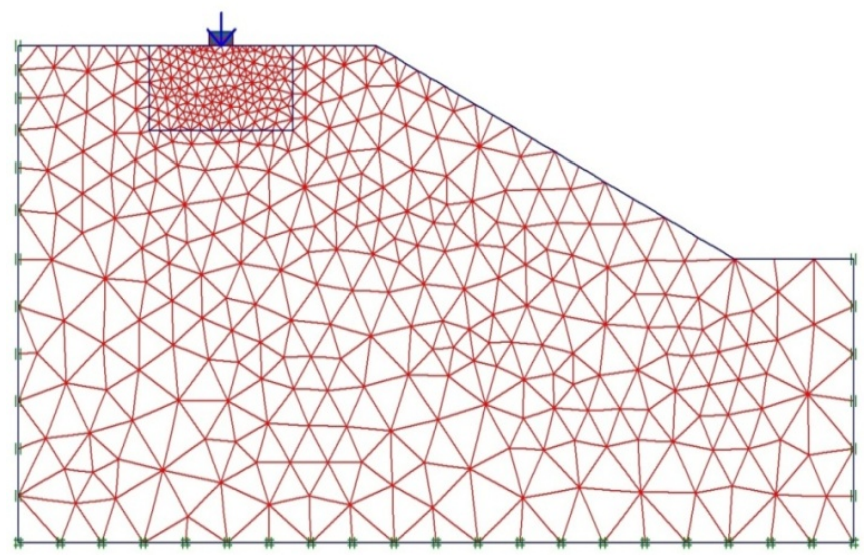
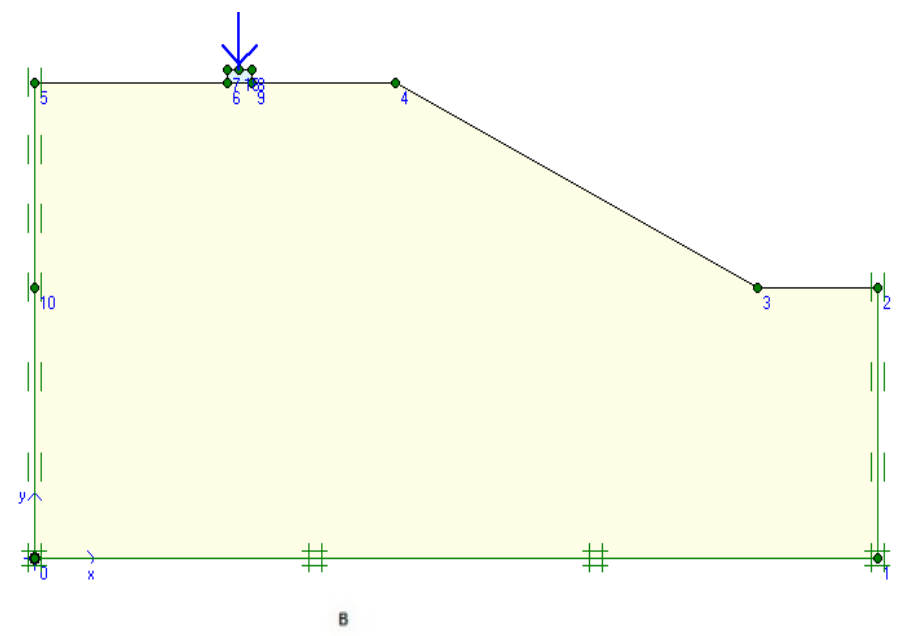
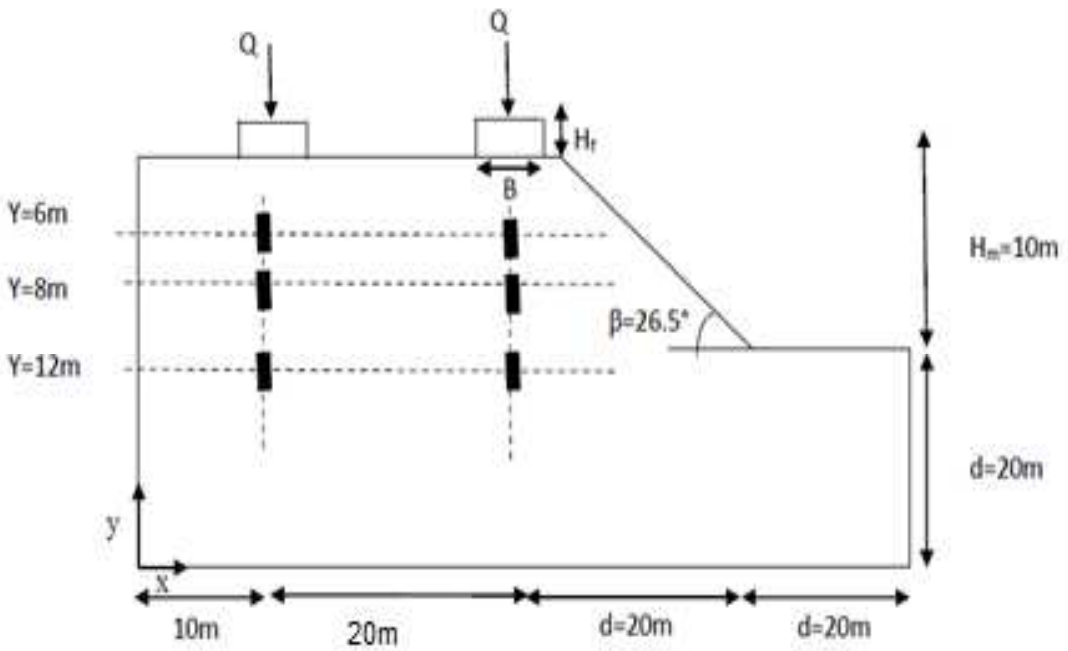
Massif en pente



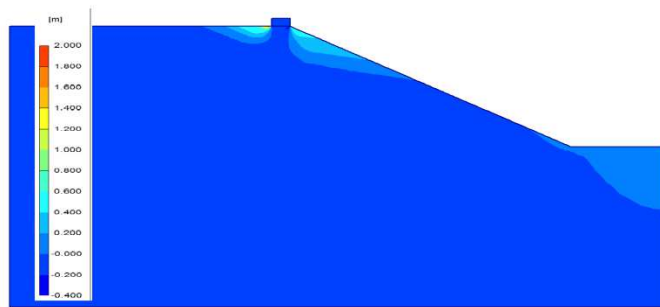
Effet de la rigidité

Effet du coefficient de Poisson

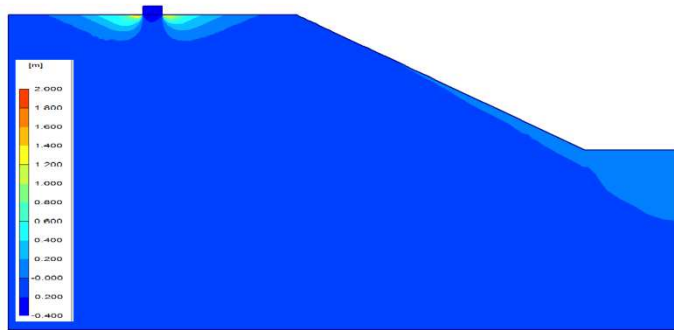
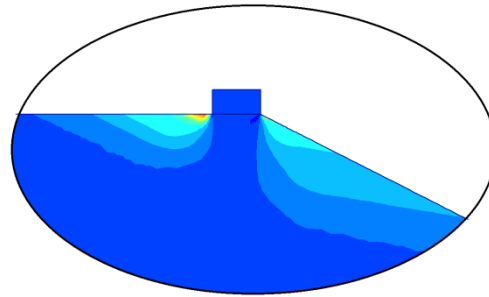
COMPORTEMENT NUMÉRIQUE D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE



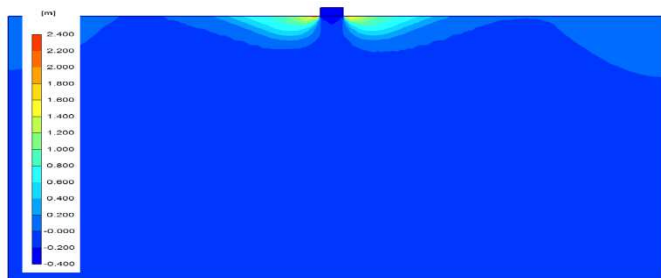
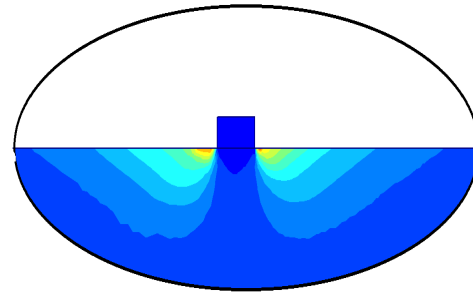
MÉCANISME DE RUPTURE NUMÉRIQUE D'UNE FONDATION



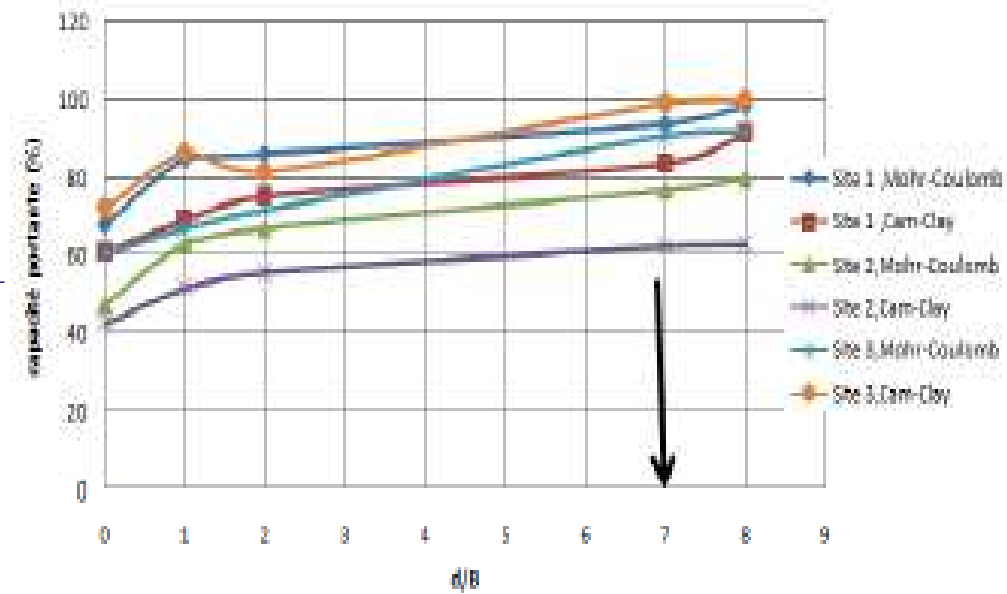
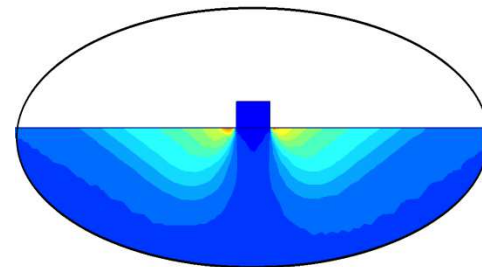
Massif en pente $d/B=0$



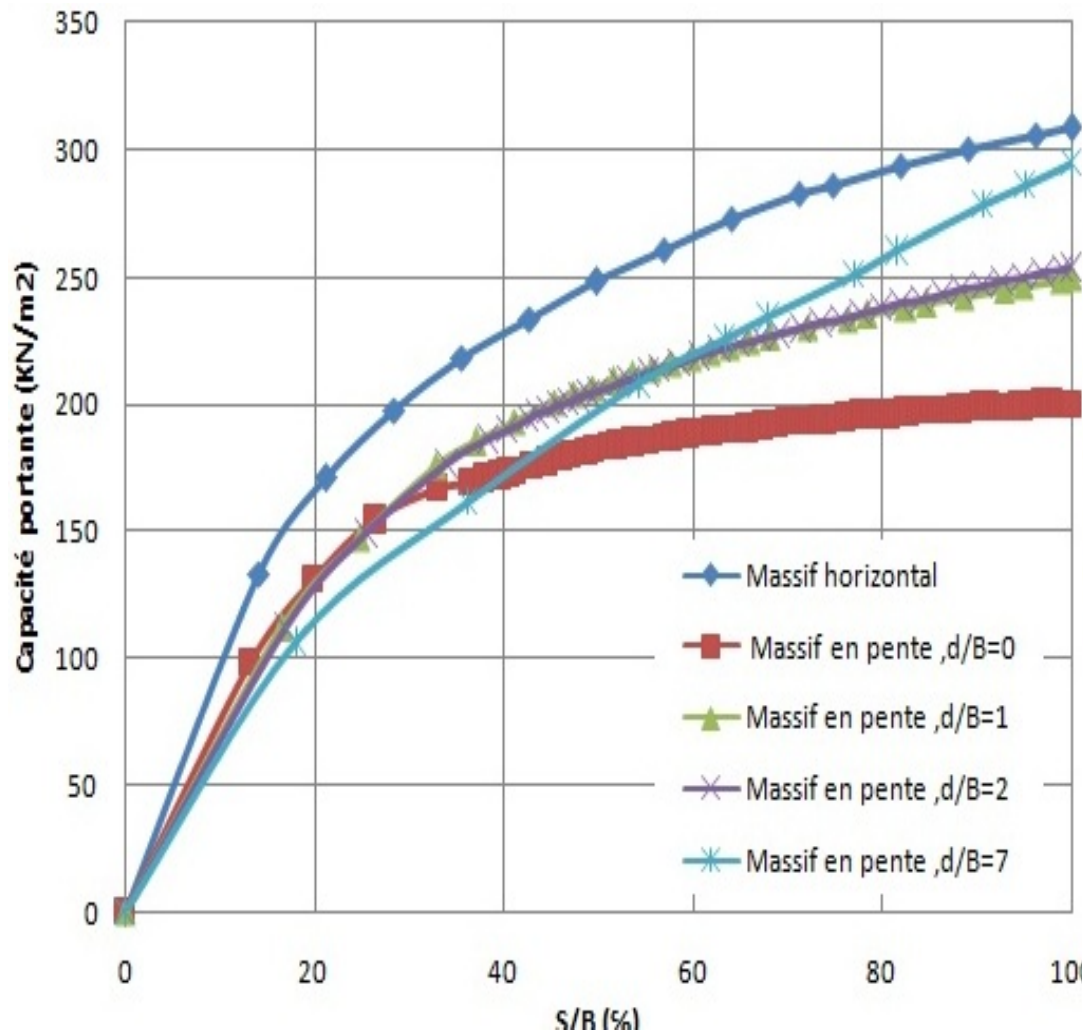
Massif en pente $d/B=7$



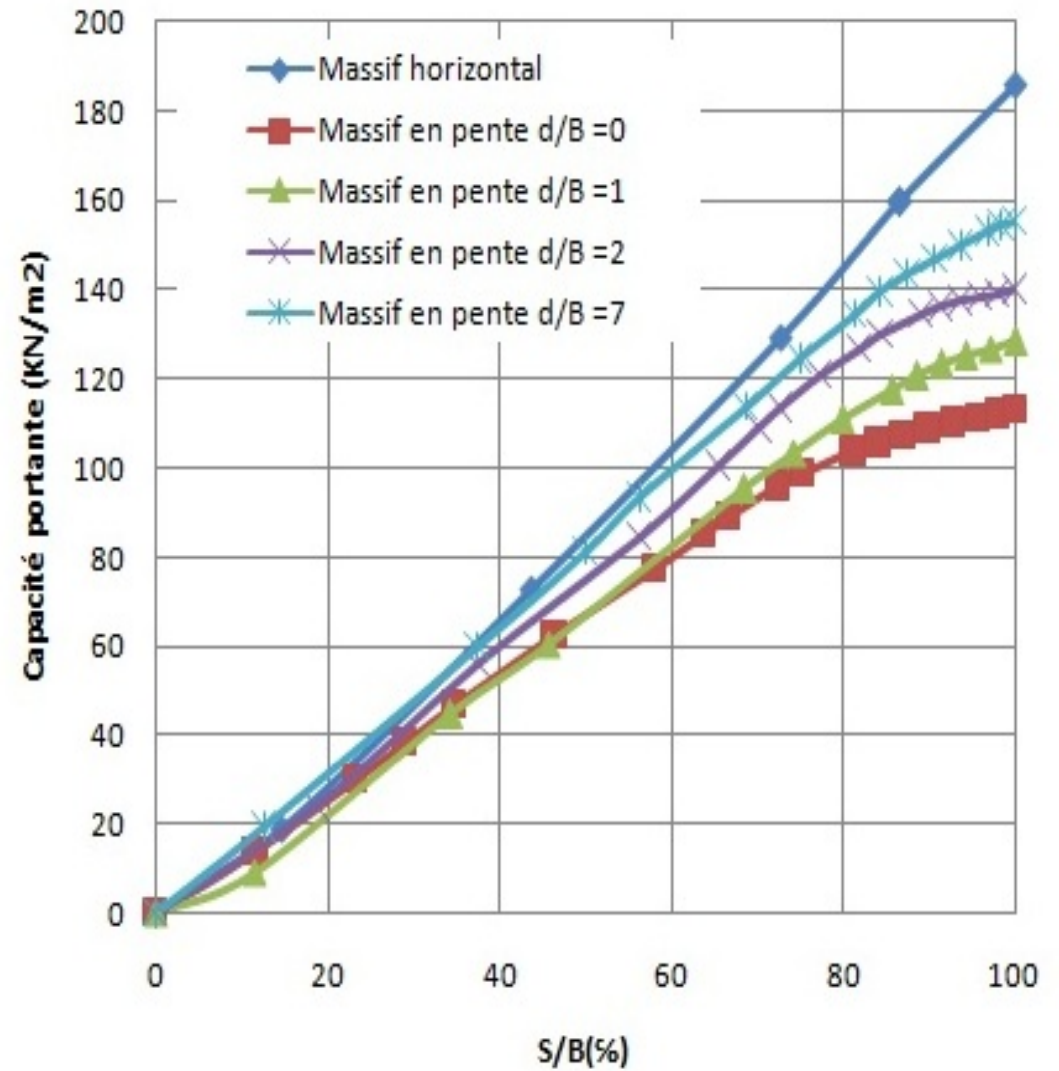
Massif horizontal



COURBES DE L'ÉVOLUTION DE LA CAPACITÉ PORTANTE

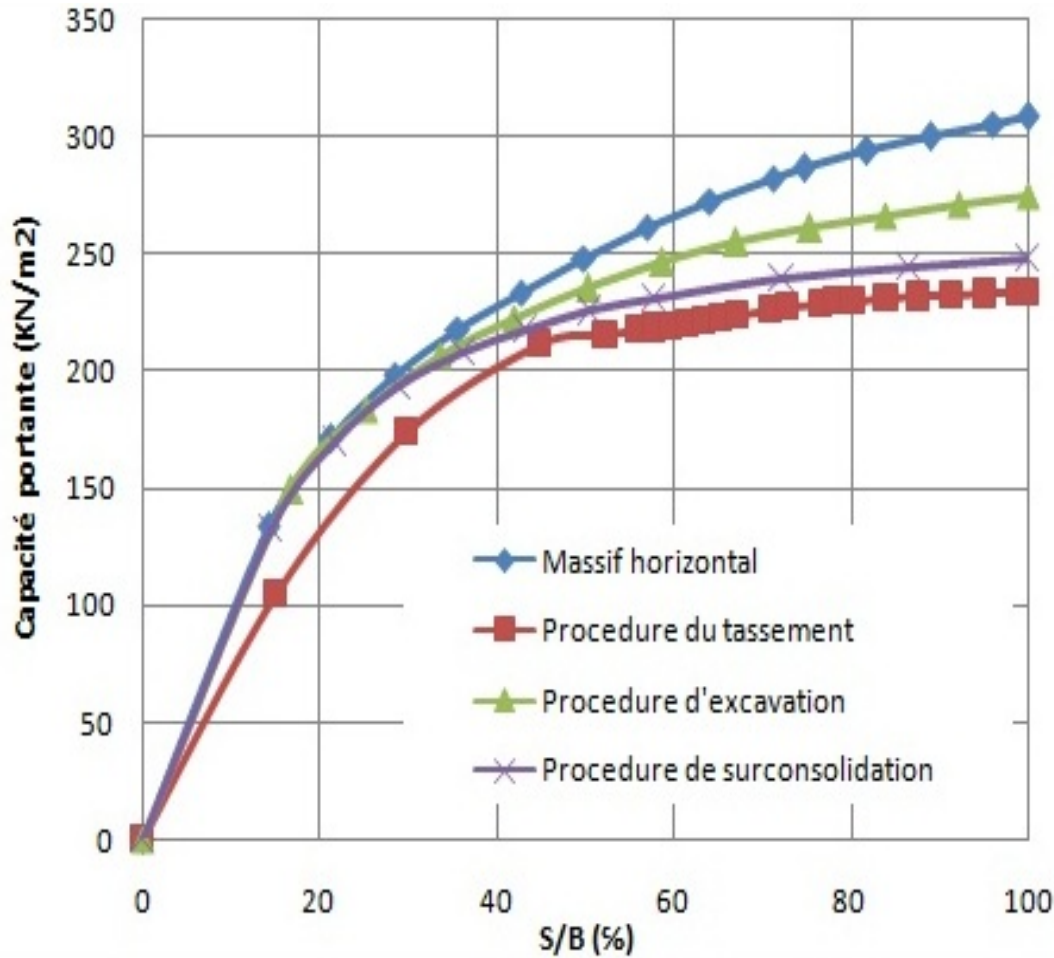


Mohr-Coulomb

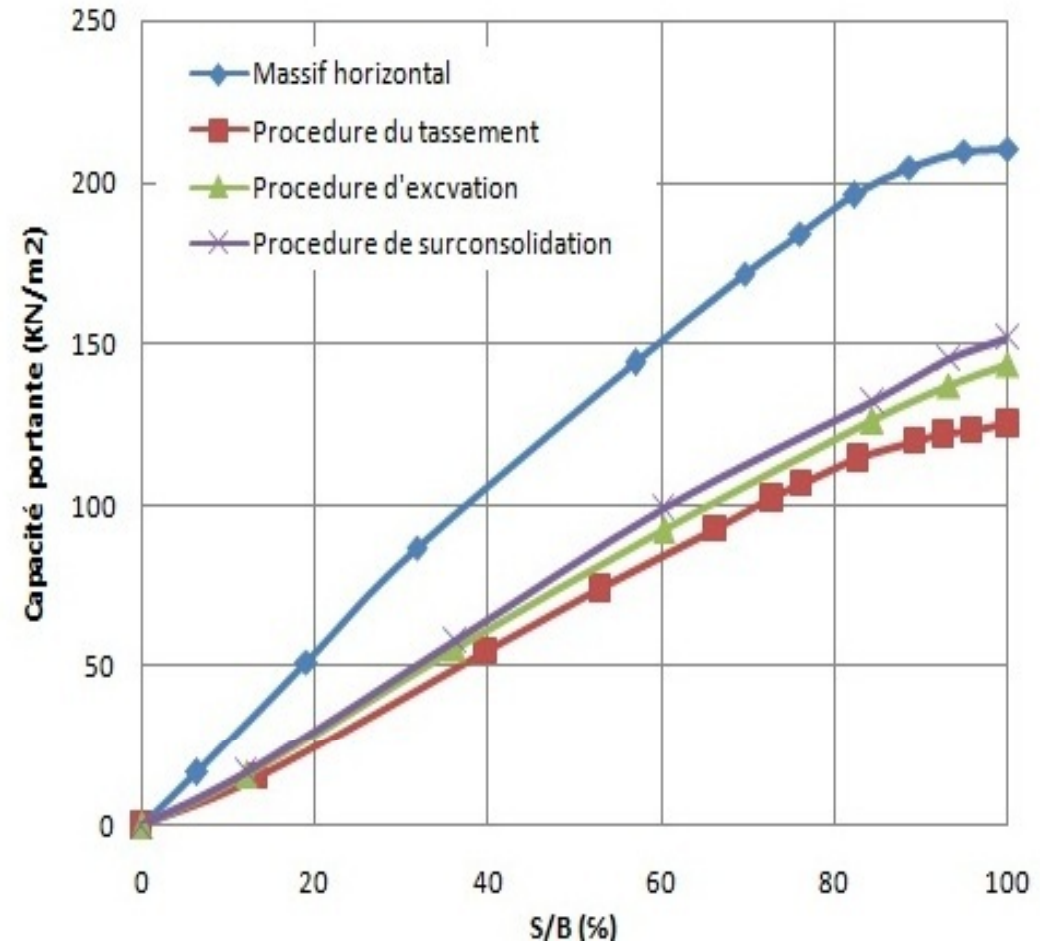


Cam-Clay

Capacité portante procédure de la genèse de la pente

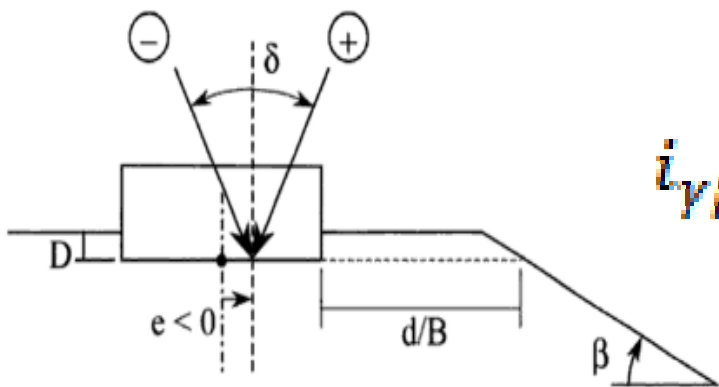


Mohr-Coulomb

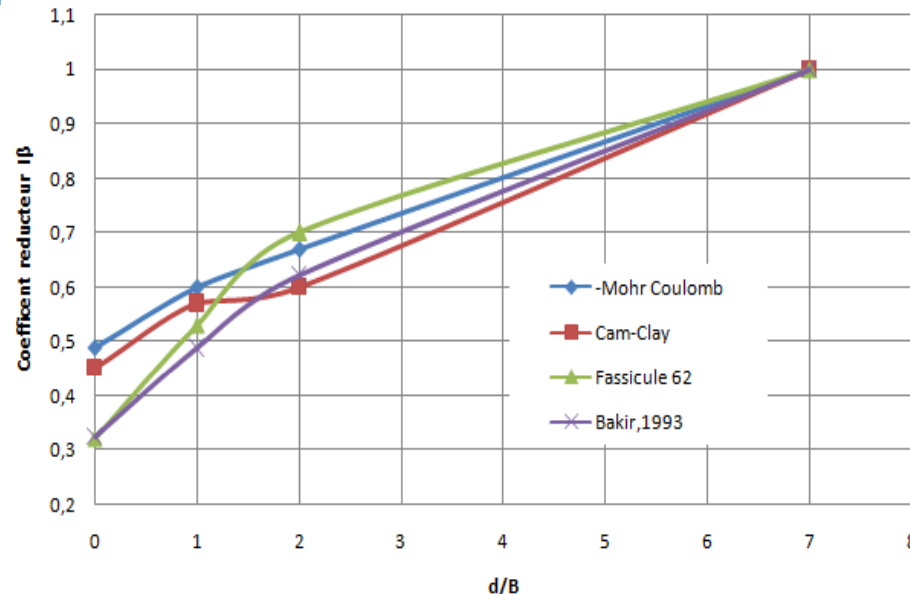


Cam-Clay

EVOLUTION DES COEFFICIENTS RÉDUCTEURS



$$i_{\gamma\beta} = \frac{[q_u]_{d/B, \beta}}{[q_u]_{\beta=0}}$$

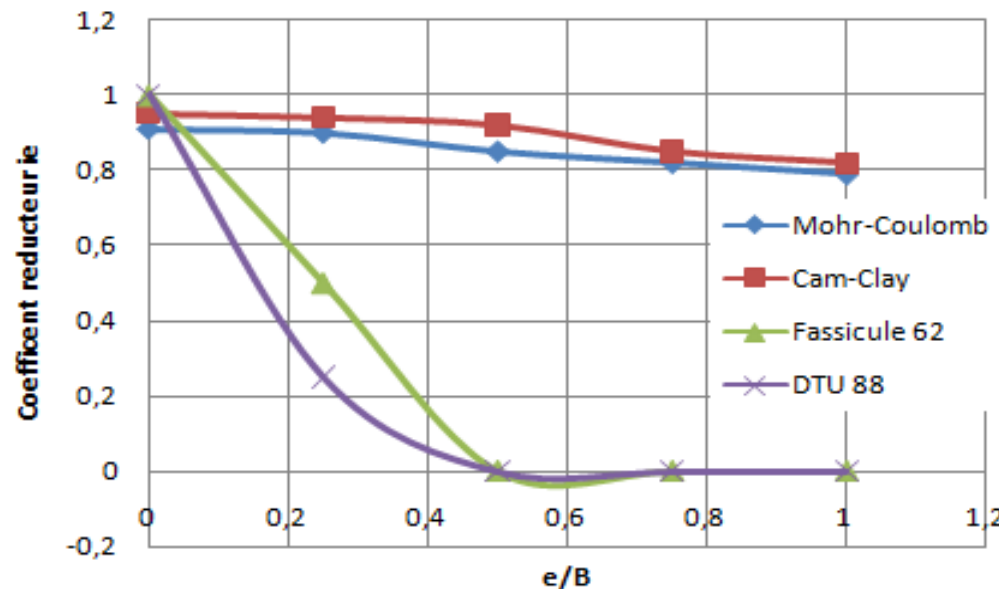
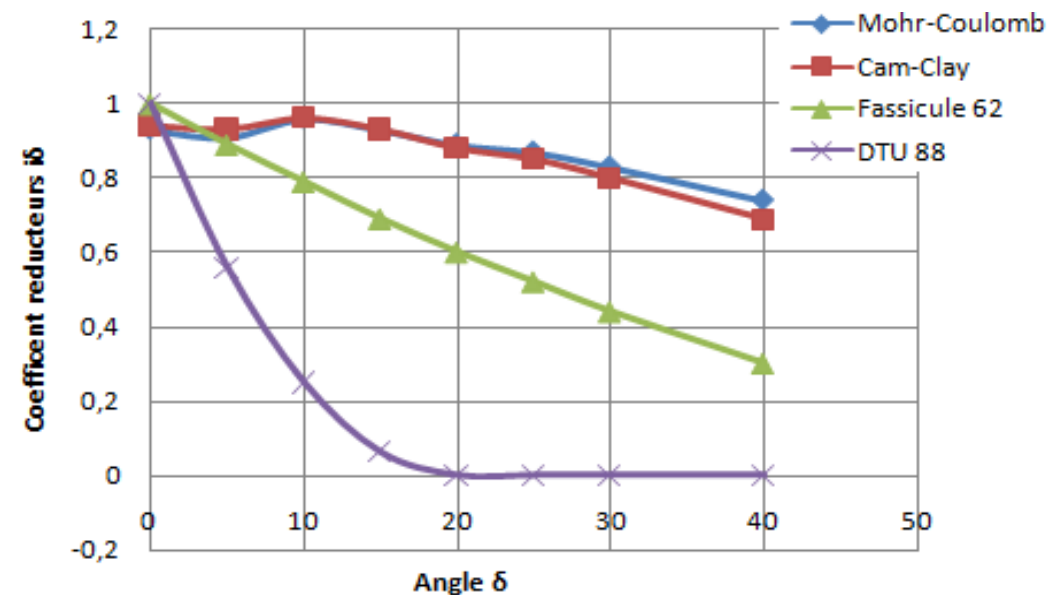


$$i_e = \left(1 - 2\frac{e}{B}\right) \quad i_\delta = \left(1 - \frac{\delta}{90^\circ}\right)^2 \quad \text{Fassicule 62}$$

$$i_e = \left(1 - 2\frac{e}{B}\right)^2 \quad i_\delta = \left(1 - \frac{\delta}{\varphi^\circ}\right)^2 \quad \text{DTU 1988}$$

$$i_\beta = 1 - 0.9 \tan\beta (2 - \tan\beta) \left(1 - \frac{d}{8B}\right)^2 \quad \text{Fassicule 62}$$

$$i_\beta = [1.8 \tan\beta - 0.9 (\tan\beta)^2] \left[1 - \frac{d}{6B}\right]^2 \quad \text{Bakir, 1993}$$



EVOLUTION DES FACTEURS DE PORTANCES

$$q_l = q_0 + k_p p_{ie}^*$$

Type de sol	Expression de k_{pmax}	Semelle carrée	Semelle filante
Argile et limons A, craies A	$0,8 \left[1 + 0,25(0,6 + 0,4 \frac{B}{L}) \frac{D_s}{B} \right]$	1,30	1,10
Argile et limons B	$0,8 \left[1 + 0,35(0,6 + 0,4 \frac{B}{L}) \frac{D_s}{B} \right]$	1,50	1,22
Argile C	$0,8 \left[1 + 0,5(0,6 + 0,4 \frac{B}{L}) \frac{D_s}{B} \right]$	1,80	1,40

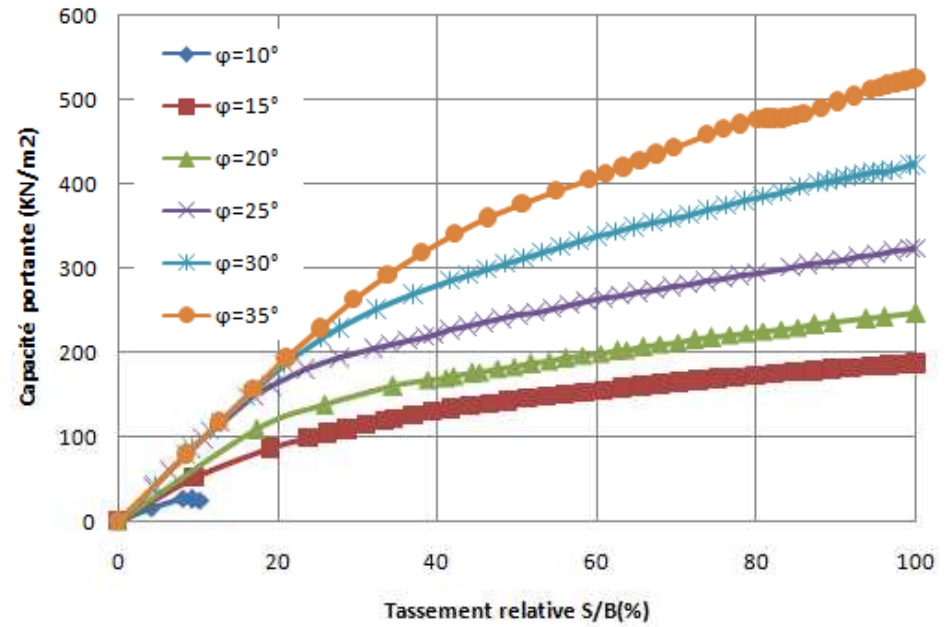
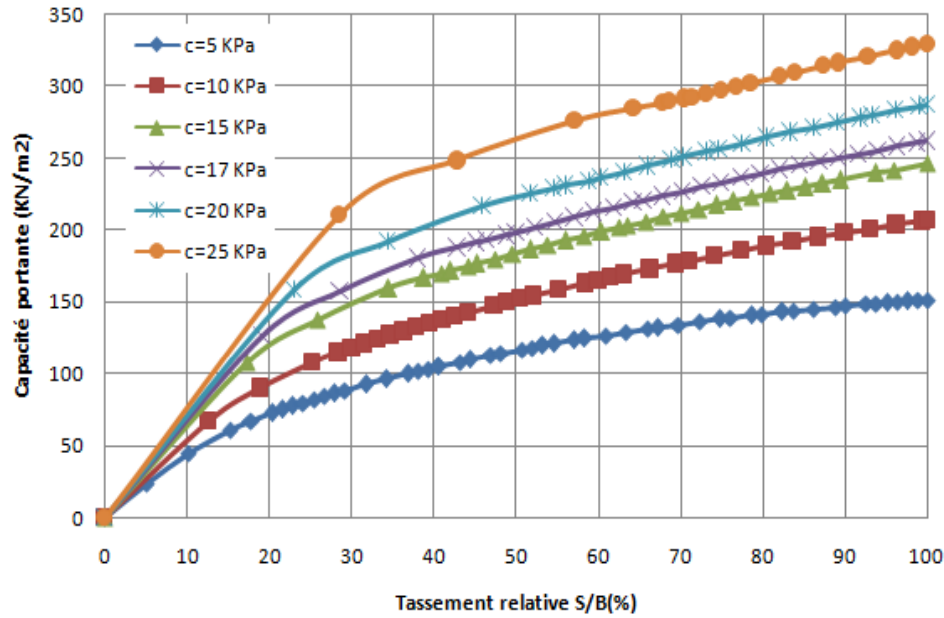
		Mohr-Coulomb	Cam-Clay
Capacité portante	Massif horizontal	1580	220
	Massif en pente	1188	172
Pression limite	Massif horizontal	316	250
	Massif en pente	345	240
(Kp)_{numérique}	Massif horizontal	2,50	0,44
	Massif en pente	1,72	0,36
(Kp)_{Fascicule62}		1,22	1,22

PARTIE III

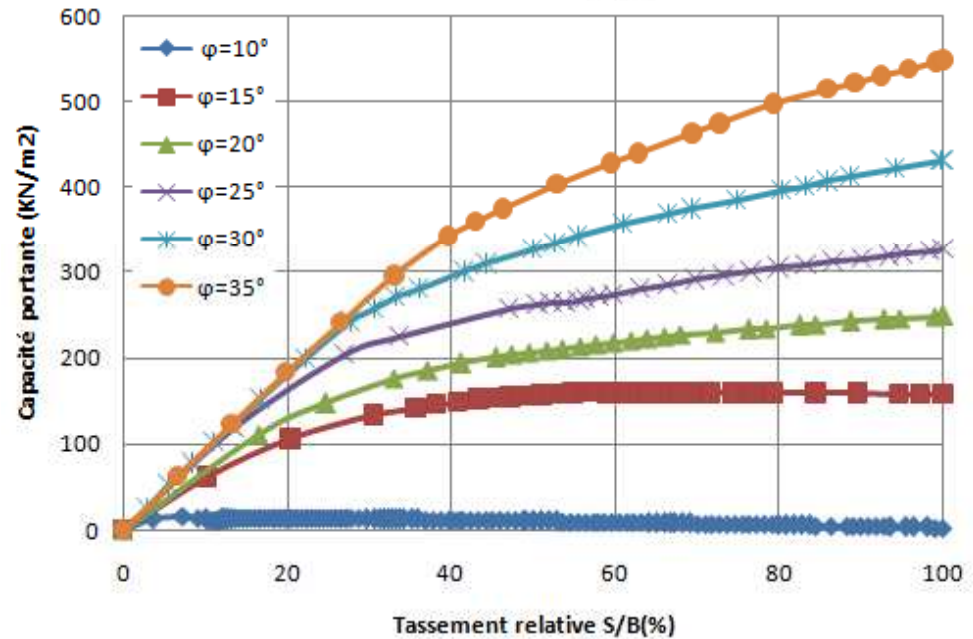
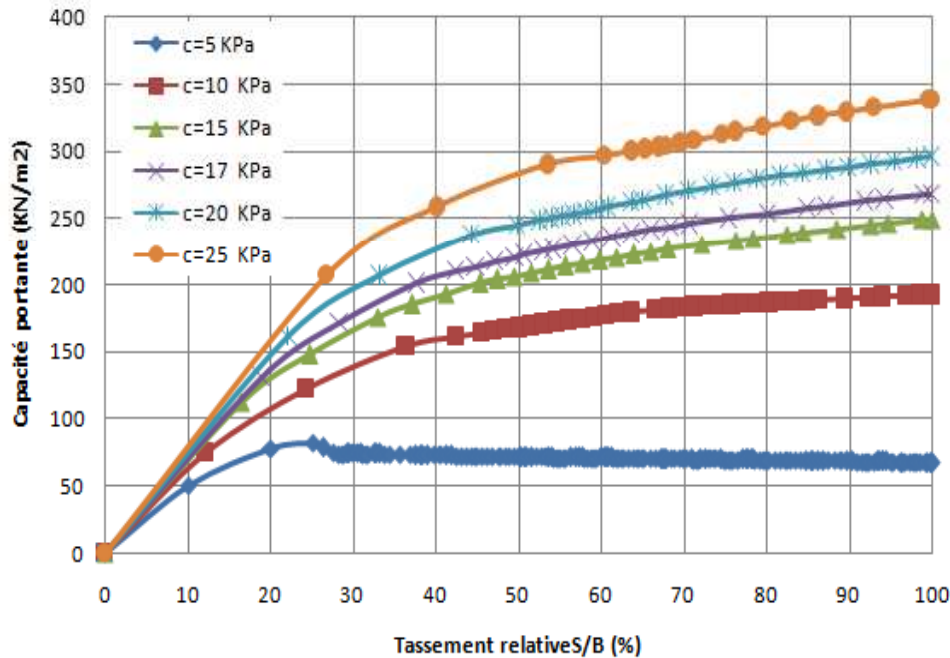
ANALYSE PARAMETRIQUE

CAPACITÉ PORTANTE - ETUDE PARAMÉTRIQUE

Massif horizontal



Massif en pente

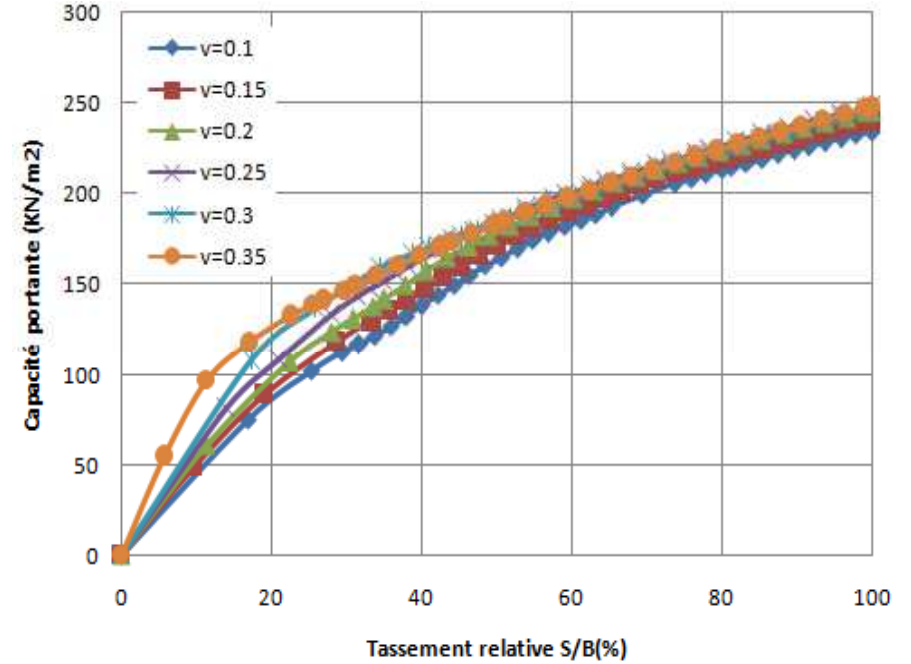
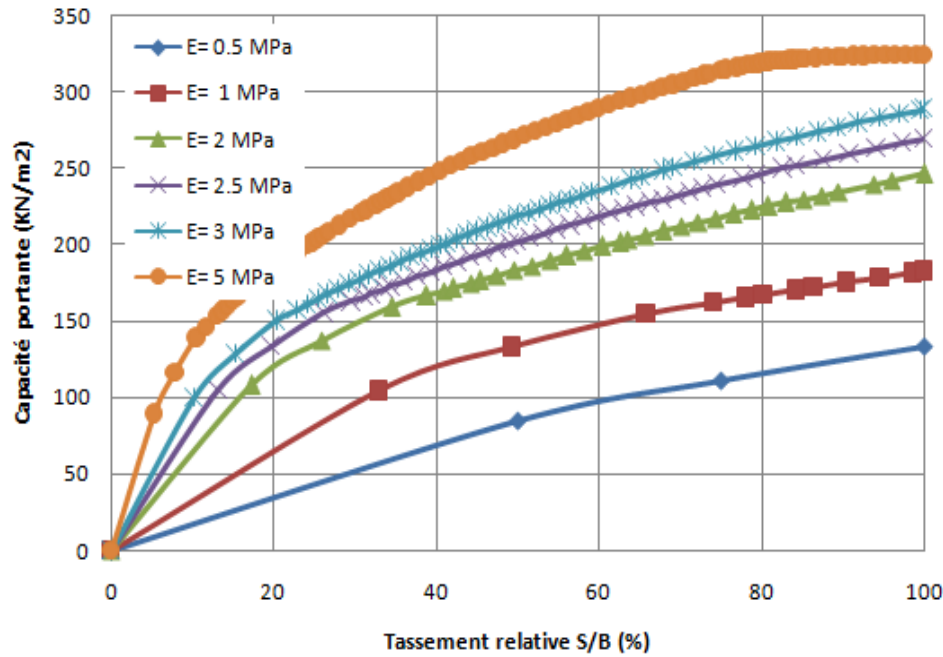


Effet de la cohésion

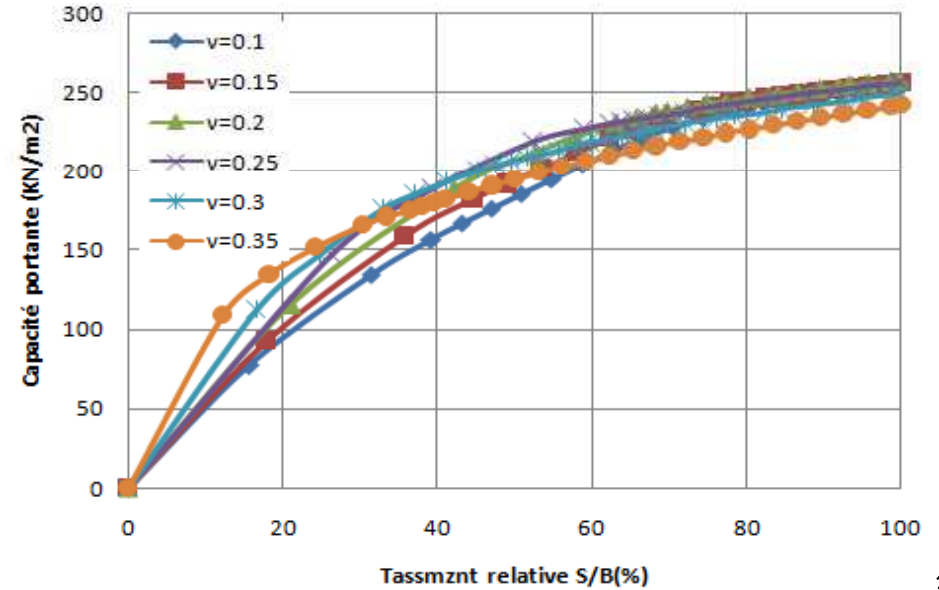
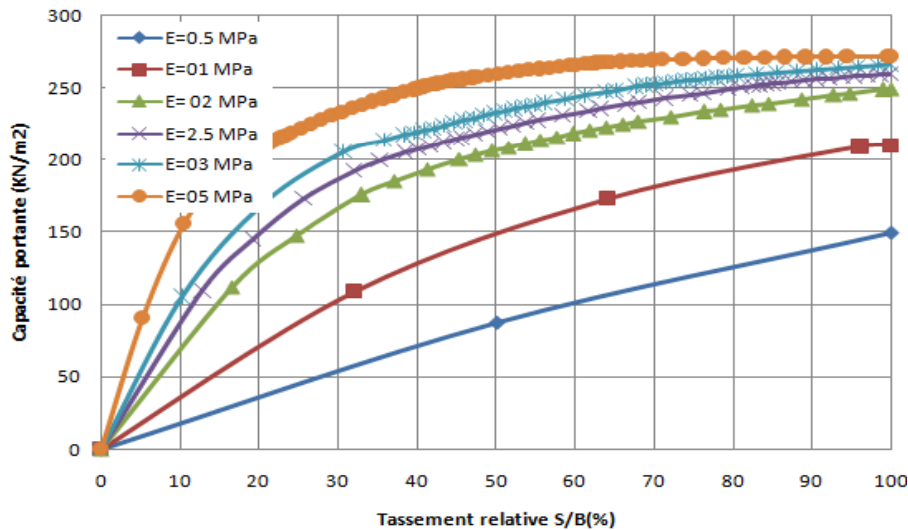
Effet de l'angle de frottement

CAPACITÉ PORTANTE -ETUDE PARAMÉTRIQUE

Massif horizontal



Massif en pente



Effet de la rigidité

Effet du coefficient de Poisson

CONCLUSION GÉNÉRALE

LES PRINCIPAUX RÉSULTATS ISSUS DE CETTE ÉTUDE SONT ÉNUMÉRÉS COMME SUIT:

- LES SIMULATIONS NUMÉRIQUES RÉALISÉES PERMETTENT DE TRADUIRE L'INFLUENCE DE L'HISTORIQUE DES SOLLICITATIONS SUBIES PAR UN SOL SUR SON COMPORTEMENT. L'ÉTAT INITIAL À CONSIDÉRER DANS LE CADRE DE LA MODÉLISATION D'UN PROBLÈME GÉOTECHNIQUE DOIT ÊTRE CLAIREMENT DÉFINI ET PREND EN COMPTE L'HISTOIRE DES SOLLICITATIONS.
- POUR UN ESSAI EN PENTE LA DISTANCE VERTICALE SÉPARANT LA POSITION DE RÉALISATION DE L'ESSAI À LA SURFACE LIBRE DU MASSIF, LA PRESSION LIMITE OBTENUE EST PEU DIFFÉRENTE DE CELLE CORRESPONDANT À L'ESSAI RÉALISÉ À UNE PROFONDEUR DONNÉE AU SEIN D'UN MASSIF À SURFACE HORIZONTALE.
- CONCERNANT LA CAPACITÉ PORTANTE D'UNE FONDATION SUR UNE PENTE, LE MODÈLE M-C A DONNÉ UNE BONNE CAPACITÉ PORTANTE. L'ÉTUDE A PERMIS DE CONFIRMER LES VALEURS DE LA MAJORITÉ DES COEFFICIENTS RÉDUCTEURS POUR CERTAINS CHARGEMENT COMPLEXES. DES FORMULATIONS ONT ÉTÉ PROPOSÉES POUR LES COEFFICIENTS RÉDUCTEURS.

PERSPECTIVES

- ESTIMATION NUMÉRIQUE DU TASSEMENT D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE AVEC LA MÉTHODE PRESSIOMÉTRIQUE.
- CONTRIBUTION DE LA PRESSION LIMITE DANS LA DÉTERMINATION DU CHOIX DE SOUTÈNEMENT POUR LES TUNNELS.
- MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU COUPLAGE HYDROMÉCANIQUE DE L'ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE.
- ANALYSE SÉISMIQUE DE LA CAPACITÉ PORTANTE À PARTIR DES ESSAIS IN SITU (APPROCHE NUMÉRIQUE).
- ANALYSE PROBABILISTE DES CARACTÉRISTIQUES PRESSIOMÉTRIQUES ET LA CAPACITÉ PORTANTE.
- ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE ET PÉNÉTROMÈTRE STATIQUE DANS L'ESTIMATION DE LA CAPACITÉ PORTANTE SUR UNE PENTE.
- RÉALISATION D'UN CODE DE CALCUL SPÉCIFIQUE POUR LA MODÉLISATION DES ESSAIS IN SITU (SURTOUT ESSAI PRESSIOMÉTRIQUE).
- TRACER UNE CARTE PRESSIOMÉTRIQUE POUR L'OUEST D'ALGÉRIE A MOYEN TERME.

Merci pour votre attention
