

CHAPITRE 04 :

INFLUENCE DES MODES DU MOUVEMENT ET LA FLEXIBILITE D'ECRAN SUR LES PRESSIONS PASSIVES ET ACTIVES DES TERRES

Introduction :

L'évaluation de la pression active et passive de la terre agissant sur un écran rigide de soutènement est très importante dans la conception de beaucoup de structures géotechniques, (en particulier les murs de soutènement). Les ingénieurs ont traditionnellement calculé la pression active et passive mise à la terre contre les murs rigides en utilisant la théorie de Coulomb ou la formulation de Rankine. Tous les deux supposent que la distribution de la pression active et passive de la terre exercée contre le mur est triangulaire.

Cependant, beaucoup de résultats expérimentaux (Tsagareli, 1965; Matsuo et autres, 1978; Fang et Ishibashi, 1986) démontrent que la distribution de la pression active et passive sur un mur rugueux ($\delta \neq 0$), dépend du mode du mouvement de mur (rotation par rapport au sommet, rotation par rapport à la base ou translation horizontale) est non linéaire, elle est différente de la présentation faite par Coulomb et Rankine. La non-linéarité de la distribution active ou passive de pression des terres résulte des effets de voûte (Handy, 1985)

Un exemple simple d'effet de voûte (inspiré d'ailleurs par Terzaghi (1943) a illustré le concept) est ce qui se produit dans une grande boîte de sol avec un panneau à la base. Quand ce panneau est abaissé, le sol immédiatement au-dessus de lui tendra à se déplacer vers le bas avec lui figure.4-1. Cependant, si la résistance au cisaillement du sol est suffisamment grande, ce qui se produira à la place, est que le poids de la colonne du sol au-dessus du panneau immédiatement mobile sera partiellement transféré au sol. Naturellement, les efforts verticaux dans le sol autour du panneau mobile augmenteront, alors que ceux immédiatement au-dessus de lui diminueront.

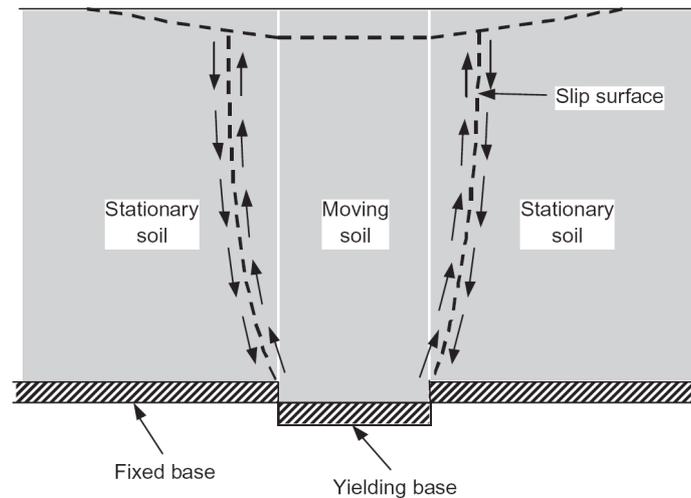


Figure. 4-1- Redistribution d'effort provoquée par l'effet de voûte

Dans ce chapitre la première partie est consacrée à l'estimation numérique de K_p , et K_a coefficients de butée et de poussée respectivement derrière un écran de soutènement rigide d'un côté et le changement de la distribution des pressions de terre passive et active à l'aide du logiciel FLAC 2D et la méthode des différences finis, sous l'influence des angles δ ; ψ ; φ , et sous l'influence du mode de mouvement (translation, rotation par rapport à la base, rotation par rapport au sommet) d'un autre côté.

La deuxième partie est consacrée à la même étude mais derrière un écran de soutènement flexible sous l'influence de la rigidité de l'écran.

Les comparaisons entre les valeurs calculées par nos programmes et mesurées par des solutions existantes Coulomb-Rankine (1776) Caquot-Kerisel (1948) Soubra (2000) Soubra-Macuh (2002) et Bouali Meriem Fakhreddine et N.Bembarck et al (2008) montrent que les programmes proposées prédisent les résultats de manière satisfaisante.

On présente les résultats numériques sous forme de tableaux suivis d'une interprétation et d'une discussion.

Dans la présente étude nous aborderons en premier lieu, le cas des écrans rigides puis le cas des écrans flexibles

4-1 Ecran de soutènement rigide :

4-1-1 Les cas étudiés :

La simulation numérique de la butée et de la poussée est réalisée à l'aide du logiciel FLAC2D. Les figures 4-2a; 4-2b et 4-2c montrent respectivement la modélisation d'un mur de soutènement rigide soumis à trois modes de mouvements ; translation horizontale (T) rotation par rapport à la base (RB) et rotation par rapport au sommet (RS).

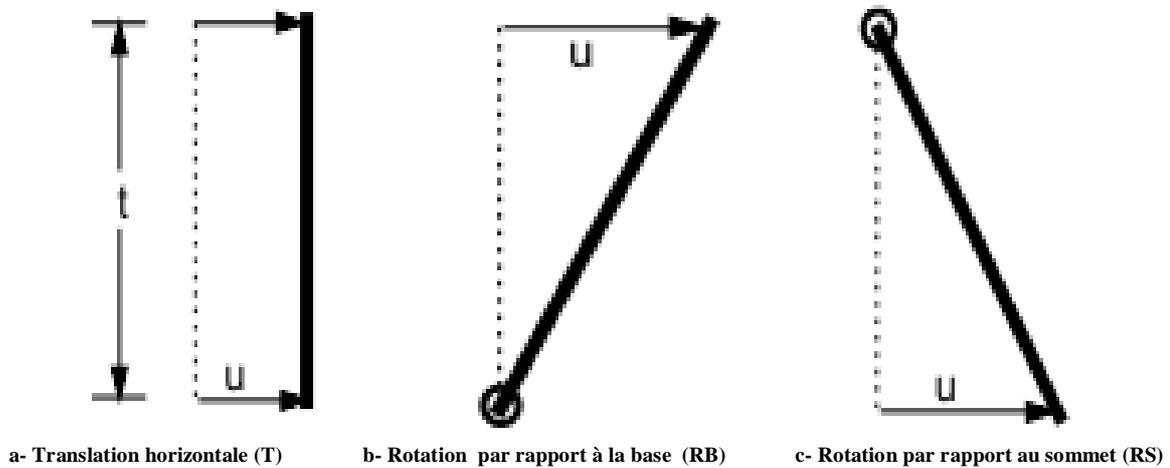


Figure 4-2-Types du mouvement de mur

4-1-2 Présentation des cas étudiés :

On considère un écran rigide d'une longueur égale à t ; un sol homogène isotrope pulvérulent, et une interface.

4-1-2-1 Caractéristiques du sol :

L'un des paramètres les plus importants pour le comportement d'un soutènement est la nature du terrain. Le type de sol, la stratification, les caractéristiques anisotropes du matériau et l'état des contraintes in-situ sont des facteurs primordiaux et pour des raisons de simplification et d'efficacité, le comportement du massif de sol est décrit au moyen du modèle élasto-plastique à critère de Mohr-Coulomb, qui comporte cinq paramètres :

En élasticité,

E: Module d'élasticité de Young,

v: Coefficient de Poisson,

En plasticité,

C: Cohésion,

ϕ : Angle de frottement interne du sol.

ψ : Angle de dilatance de sol.

Sol	γ (kg/m)	c (Pa)	ϕ, ψ (degré)	G	kv(m/s)
sable	2000	0	(10;15;20;25;30;35;40)	$2.5 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$

γ : Poids volumique

K_v : Module volumique

G: Module de cisaillement

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

4-1-2-2 Maillage :

La figure 4-3 montre le maillage retenu pour la simulation dans le cas de la poussée et de la butée. Ce maillage est raffiné au voisinage de la paroi.

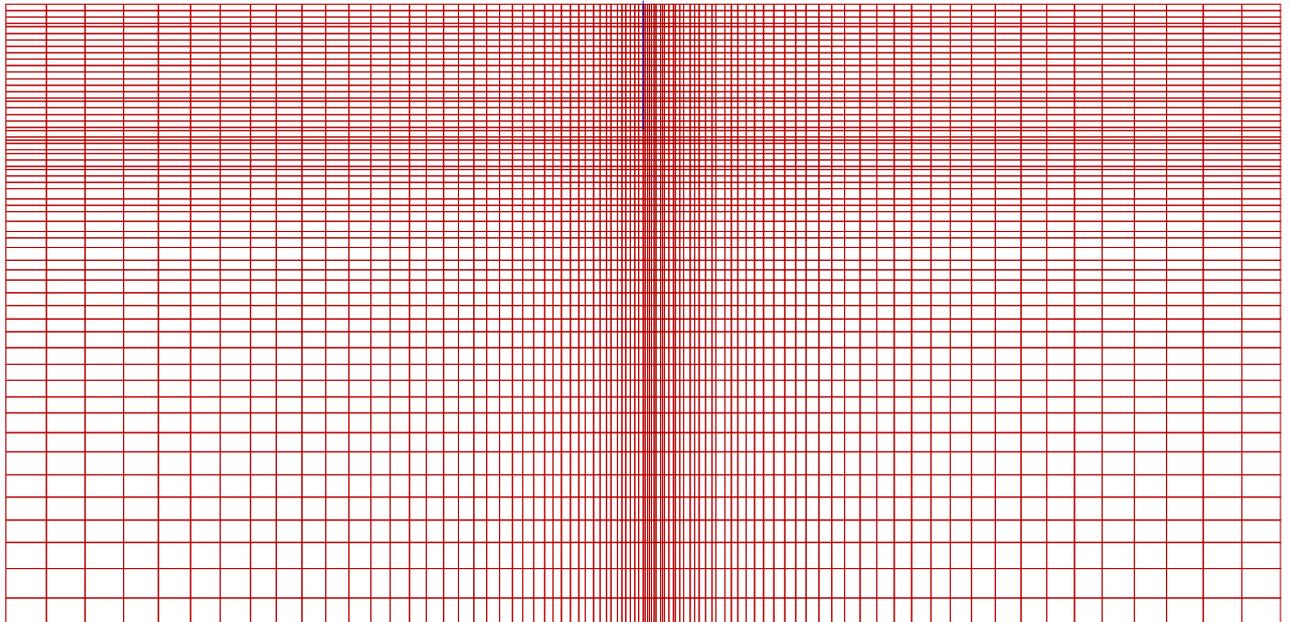


Figure 4-3- le maillage retenu

4-1-2-3 Dimensions et conditions aux limites :

Les conditions aux limites consistent à bloquer :

- Les déplacements horizontaux sur les deux faces verticales ($U_x = 0$)
- Les déplacements horizontaux et verticaux à la base du maillage, ($U_x = U_y = 0$)

4-1-2-4 Caractéristiques de l'interface :

L'interface est caractérisée par un angle de frottement δ , une cohésion nulle, une rigidité normale $K_n = 10^9$ Pa/m et une rigidité de cisaillement $K_s = 10^9$ Pa/m. Les valeurs de rigidité de l'interface sont choisies de manière à simuler un contact rigide entre le sol et le rideau.

4-1-2-5 Caractéristiques de l'écran :

La modélisation bidimensionnelle d'un rideau et de son comportement en flexion peut être réalisée de deux manières différentes :

- Soit avec des éléments massifs,
- Soit avec des éléments poutres à condition que la compatibilité soit assurée.

L'écran rigide est modélisé par des éléments quadrilatères. Il est connecté au sol via des éléments d'interface de type Mohr – Coulomb.

4-1-2-6 Procédure de simulation :

La procédure de simulation de la butée ou de la poussée du terrain soutenu par un écran de soutènement rigide adoptée dans la présente analyse est basée sur les deux étapes suivantes :

- Un calcul mécanique afin d'établir l'état de contraintes initiales. (L'effet de l'installation de l'écran dans le sol sur les contraintes est négligé)
- Un calcul mécanique de l'effet de la butée ou de la poussée du terrain sur l'écran.

a- Cas de translation horizontal de l'écran :

On impose à l'écran (sur le long de sa hauteur) une vitesse de déplacement très faible vers le sol et sur une direction, la résistance maximale à la butée ou minimale à la poussée du terrain est générée en imposant une vitesse de déplacement des nœuds des éléments qui discrétisent l'écran. Le déplacement des nœuds du sol en contact avec l'écran obéit à la loi

de comportement de l'interface sol-écran. Au cours du déplacement de l'écran, on enregistre la butée ou la poussée à travers la résultante des contraintes normales sur l'écran.

$$K_p = 2.P_p / \gamma.t^2 = 2.P_x / \gamma.t^2 . \cos\delta$$

Avec :

P_p : Résultante de la butée du terrain ;

P_a : Résultante de la poussée du terrain ;

P_x : Résultante de contraintes normales sur l'écran ;

γ : Poids volumiques du sol ;

t : Hauteur de l'écran ;

δ : Angle de frottement de l'interface.

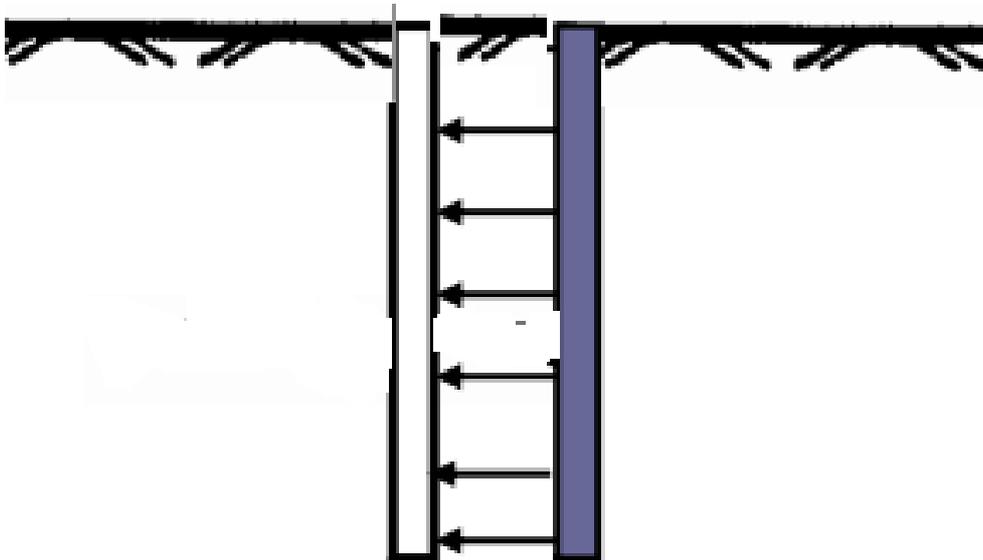


Figure 4-4- Présentation de la poussée et de la butée en cas de translation

b - Cas de rotation par rapport à la base de l'écran :

On impose à l'écran (sur le nœud de la tête d'écran) une vitesse de déplacement très faible vers le sol et sur une direction, la résistance maximale à la butée ou minimale à la poussée du terrain est générée. Le déplacement des nœuds du sol en contact avec l'écran obéit à la loi de comportement de l'interface sol-écran. Au cours du déplacement de l'écran, on enregistre la butée ou la poussée à travers la résultante des contraintes normales sur l'écran.

c- Cas de rotation par rapport au sommet de l'écran :

On impose à l'écran (sur le nœud de la base d'écran) une vitesse de déplacement très faible vers le sol et sur une direction, la résistance maximale à la butée ou minimale à la poussée du terrain est générée. Le déplacement des nœuds du sol en contact avec l'écran obéit à la loi de comportement de l'interface sol-écran. Au cours du déplacement de l'écran, on enregistre la butée ou la poussée à travers la résultante des contraintes normales sur l'écran.

4-1-3 Présentation des résultats numériques:

Dans le but de mettre en évidence la sensibilité du coefficient de la pression passive et active des terres, à l'angle de frottement interne ϕ , à l'angle de l'interface δ , l'angle de dilataance ψ et aux modes de mouvement (T, RB, RS), les tableaux (4-1) à (4-7) et (4-8) à (4-14) donnent respectivement les coefficients de la pression active et passive effective des terres pour quatre valeurs de l'angle de l'interface $\delta/\phi = 0, 1/3, 2/3$ et 1, et pour trois valeurs de l'angle de dilataance $\psi/\phi = 0, 1/2, (1 \text{ ou } 2/3)$, pour sept valeurs de l'angle de frottement interne $\phi = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$

Tableau 4-1-Coefficients de la pression active des terres pour $\phi = 10^\circ$										
δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS			T	RB	RS	
0	0	0.70	0.70	0.72	0.704	0.704				
	5	0.69	0.70	0.71						
	10	0.69	0.70	0.70						
5	0	0.66	0.66	0.69	0.662	0.664				
	5	0.66	0.66	0.68						
	10	0.66	0.66	0.67						
10	0	0.64	0.65	0.67	0.634	0.642				
	5	0.64	0.65	0.66						
	10	0.64	0.65	0.66						

Tableau 4-2-Coefficients de la pression active des terres pour $\phi = 15^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS			T	RB	RS	
0	0	0.58	0.59	0.59	0.588	0.589				
	15	0.58	0.59	0.58						
5	0	0.55	0.56	0.57	0.555	0.557				
	15	0.54	0.56	0.56						
10	0	0.53	0.54	0.55	0.532	0.536				
	15	0.53	0.54	0.55						
15	0	0.53	0.53	0.55	0.517	0.525				
	15	0.52	0.53	0.54						

Tableau 4-3-Coefficients de la pression active des terres pour $\phi = 20^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS			T	RB	RS	
0	0	0.48	0.49	0.49	0.490	0.490				0.49
	10	0.48	0.49	0.49						0.48
	20	0.48	0.49	0.49			0.47	0.47	0.50	0.48
10	0	0.45	0.45	0.47	0.448	0.446				
	10	0.44	0.45	0.47						
	20	0.44	0.45	0.47						
20	0	0.44	0.44	0.47	0.434	0.429				
	10	0.43	0.44	0.46						
	20	0.43	0.44	0.46			0.42	0.44	0.49	

Tableau 4-4-Coefficients de la pression active des terres pour $\phi = 25^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS			T	RB	RS	
0	0	0.40	0.40	0.43	0.405	0.406				
	25	0.39	0.41	0.42						
25	0	0.37	0.37	0.42	0.355	0.361				
	25	0.35	0.37	0.39						

Tableau 4-5-Coefficients de la pression active des terres pour $\phi = 30^\circ$										
δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS			T	RB	RS	
0	0	0.33	0.33	0.39	0.333	0.333				0.34
	15	0.32	0.33	0.38						0.32
	30	0.32	0.34	0.35			0.33	0.31	0.35	0.32
10	0	0.31	0.31	0.37	0.308	0.309				0.32
	15	0.30	0.31	0.36						0.31
	30	0.30	0.32	0.33			0.30	0.30	0.33	0.31
15	0	0.31	0.30	0.37	0.301	0.302				
	15	0.29	0.31	0.35						
	30	0.29	0.31	0.33						
20	0	0.31	0.31	0.37	0.297	0.299				0.31
	15	0.29	0.31	0.35						0.30
	30	0.28	0.31	0.33			0.31	0.31	0.36	0.29
30	0	0.31	0.31	0.39	0.297	0.302				
	15	0.31	0.31	0.36						
	30	0.29	0.31	0.33			0.42	0.40	0.43	

Tableau 4-6-Coefficients de la pression active des terres pour $\phi = 35^\circ$										
δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS			T	RB	RS	
0	0	0.27	0.27	0.36	0.270	0.271				0.30
	35	0.26	0.29	0.29						0.26
35	0	0.26	0.27	0.37	0.254	0.254				
	35	0.25	0.27	0.29						

Tableau 4-7-Coefficients de la pression active des terres pour $\phi = 40^\circ$										
δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS			T	RB	RS	
0	0	0.21	0.21	0.33	0.217	0.214				0.26
	20	0.21	0.21	0.31						0.22
	40	0.20	0.21	0.23						0.21
20	0	0.20	0.20	0.31	0.199	0.200				
	20	0.20	0.20	0.28						
	40	0.19	0.20	0.23						
40	0	0.22	0.22	0.34	0.210	0.214				
	20	0.21	0.22	0.31						
	40	0.21	0.22	0.29						

Tableau 4-8-Coefficients de la pression passive des terres pour $\phi = 10^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	SOUBRA (2000)	SOUBRA et MACUH (2002)	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS					T	RB	RS	
0	0	1.42	1.41	1.38	1.42	1.42						
	5	1.42	1.41	1.38								
	10	1.43	1.42	1.38								
5	0	1.55	1.54	1.50	1.56	1.56						
	5	1.56	1.54	1.50								
	10	1.56	1.55	1.50								
10	0	1.66	1.64	1.59	1.73	1.68						
	5	1.66	1.63	1.59								
	10	1.66	1.64	1.59								

Tableau 4-9-Coefficients de la pression passive des terres pour $\phi = 15^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	SOUBRA (2000)	SOUBRA et MACUH (2002)	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS					T	RB	RS	
0	0	1.70	1.65	1.65	1.69	1.70						
	15	1.72	1.69	1.65								
5	0	1.89	1.84	1.82	1.90	1.89						
	15	1.90	1.87	1.82								
10	0	2.07	2.01	1.95	2.13	2.08						
	15	2.08	2.04	1.95								
15	0	2.21	2.15	2.03	2.40	2.27						
	15	2.21	2.15	2.03								

Tableau 4-10-Coefficients de la pression passive des terres pour $\phi = 20^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	SOUBRA (2000)	SOUBRA et MACUH (2002)	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS					T	RB	RS	
0	0	2.04	1.98	1.98	2.03	2.13						2.06
	10	2.06	2.01	1.98								2.07
	20	2.06	2.04	1.98					2.13	2.09	2.03	2.07
10	0	2.56	2.43	2.39	2.63	2.58						
	10	2.58	2.51	2.39								
	20	2.58	2.55	2.39								
20	0	2.96	2.85	2.60	3.52	3.03	3.12	3.13				
	10	3.02	2.98	2.72								
	20	3.02	3.02	2.74					3.03	3.03	2.72	

Tableau 4-11-Coefficients de la pression passive des terres pour $\phi = 25^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	SOUBRA (2000)	SOUBRA et MACUH (2002)	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS					T	RB	RS	
0	0	2.46	2.35	2.35	2.46	2.46						
	25	2.52	2.44	2.37								
25	0	3.95	3.83	3.28	5.59	4.62						
	25	4.35	4.35	3.80								

Tableau 4-12-Coefficients de la pression passive des terres pour $\phi = 30^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	SOUBRA (2000)	SOUBRA et MACUH (2002)	BOUALI MERIEM			BENMEBAREK 2008
		T	RB	RS					T	RB	RS	
0	0	2.95	2.77	2.82	3.00	3.11						2.98
	15	3.04	2.93	2.92								3.04
	30	3.09	2.97	2.92					3.11	3.10	2.89	3.06
10	0	3.98	3.71	3.50	4.14	4.01						3.98
	15	4.05	3.90	3.65								4.03
	30	4.06	4.01	3.65					4.01	4.10	3.54	4.03
15	0	4.49	4.26	3.58	4.97	4.71						
	15	4.62	4.45	4.07								
	30	4.64	4.61	4.07								
20	0	4.85	4.84	3.84	6.10	5.10						4.92
	15	5.22	5.06	4.46								5.17
	30	5.27	5.22	4.48					5.10	5.30	4.37	5.210
30	0	5.30	5.76	4.19	10.09	6.30	6.86	6.93				
	15	6.31	6.26	5.33								
	30	6.47	6.46	5.55					6.30	6.45	5.21	6.33

Tableau 4-13-Coefficients de la pression passive des terres pour $\phi = 35^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	SOUBRA (2000)	SOUBRA et MACUH (2002)	BOUALI MERIEM			BEN MEBAREK 2008
		T	RB	RS					T	RB	RS	
0	0	3.54	3.25	3.46	3.69	3.69						3.54
	35	3.81	3.70	3.54								3.76
35	0	7.13	8.45	5.36	22.97	11.7	11.13					
	35	10.22	9.93	8.61								10.10

Tableau 4-14-Coefficients de la pression passive des terres pour $\phi = 40^\circ$

δ	ψ	FLAC-2D			COULOMB 1776	CAQUOT 1948	SOUBRA (2000)	SOUBRA et MACUH (2002)
		T	RB	RS				
0	0	4.32	3.89	4.24	4.59	4.60		
	20	4.67	4.42	4.42				
	40	4.71	4.66	4.46				
20	0	7.75	6.90	5.56	11.77	10.1		
	20	9.48	8.97	7.43				
	40	9.75	9.72	7.78				
40	0	9.72	9.90	6.90	92.55	20.9	19.62	20.01
	20	16.44	16.44	12.55				
	40	16.97	16.87	13.97				

4-1-4 L'influence du mode de mouvement et des angles δ ; ψ ; φ ; sur l'évaluation des coefficients et les diagrammes de pression de terre contre l'écran de soutènement rigide :

Le calcul du k_a et k_p est basé sur la technique d'augmentation du déplacement d'écran jusqu'à l'obtention d'un mécanisme de rupture (détection de l'instabilité à travers le suivi de l'historique du déplacement horizontal de l'écran et de la force passive ou active), c'est à dire l'enfoncement de l'écran dans le sol est accompagné par l'augmentation progressive de la force normale effective passive ou active des terres P_p et P_a respectivement qui se stabilise en indiquant un palier. Ce palier correspond à la force maximale de la composante horizontale de la butée ou de la poussée.

Les résultats de la variation des coefficients de pression de terre active et passive autour d'un écran rigide, en fonction de l'angle de frottement interne du sol et de l'interface sol-écran et aussi l'angle de dilatance du sol ayant un effet presque négligeable est récapitulé dans les tableaux (4-1) à (4-14).

4-1-4-1 Pression active de terre (K_a) :

Les différentes valeurs du coefficient actif de la terre K_a pour les différents modes de mouvement, présentées ci-dessus, sont regroupées dans les tableaux (4-1) à (4-7) pour des raisons de comparaison avec quatre solutions existantes de Coulomb-Rankine (1776), Caquot- Kérisel (1948), Bouali Meriem Fakhreddine, et Benmebarek.

4-1-4-2 Évaluation de la pression active (k_a) de terre contre l'écran rigide :

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-1) à (4-7) permet d'établir les interprétations suivantes :

- ü Les tableaux (4-1) à (4-7) montrent la diminution du coefficient actif de la terre (K_a) quelle que soit le mode de mouvement avec :

 - **l'augmentation de l'angle de frottement du sol φ** : quelles que soient les valeurs des angles de frottement de l'interface sol-paroi $\delta = (0, 1/2, 1/3, 2/3, 1) \varphi$ ou les valeurs des angles de dilatance du sol $\psi = (0, 1, 1/2) \varphi$.
 - **l'augmentation de l'angle de frottement sol-paroi δ** : quelles que soient les valeurs des angles de frottement du sol φ ou les valeurs des angles de dilatance du sol $\psi = (0, 1/2, 1) \varphi$.
 - **l'augmentation de l'angle de dilatance du sol ψ** : quelles que soient les valeurs des angles de frottement du sol φ ou les valeurs des angles de frottement de l'interface sol-paroi $\delta = (0, 1/2, 1/3, 2/3, 1)$, on constate que la variation de l'angle de dilatance ψ donne une légère augmentation du coefficient de poussée uniquement pour le mode de mouvement de rotation par rapport à la base et pour les angles de frottements interne du sol ($\varphi = 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$) et l'angle de frottement de l'interface sol-paroi ($\delta = 0^\circ, 10^\circ, 15^\circ$).
- ü l'effet de la dilatance ψ présente une faible sensibilité ou presque négligeable devant la sensibilité des angles de frottements interne du sol φ , et des angles de frottement de l'interface sol-paroi δ .
- ü L'effet de frottement interne φ est plus significatif que les deux autres effets étudiés (effet de l'angle de frottement de l'interface sol-paroi δ et l'effet de l'angle de dilatance ψ) pour les trois modes de mouvements translation, rotation par rapport à la base et rotation par rapport au sommet.

4-1-4-2-1 Cas de translation :

Le figure 4-5, montre la variation de la force horizontale active en fonction du déplacement horizontal de l'écran rigide avec $\varphi = \delta = \psi = 40^\circ$.

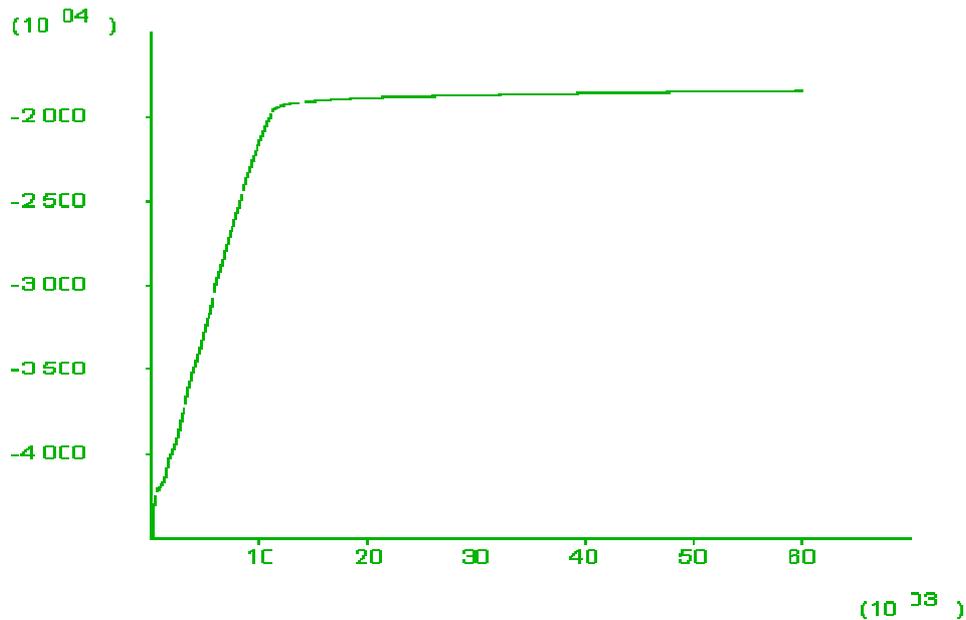


Figure 4-5- Montre la variation de la force horizontale active en fonction du déplacement horizontal de l'écran rigide et lisse $\delta = 0^\circ$ et ($\varphi = \psi = 40^\circ$)

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-1) à (4-7) permet d'établir les observations suivantes :

- Les valeurs du coefficient actif de terre K_a obtenues numériquement (FLAC 2D) sont en parfait accord avec les valeurs actuellement utilisées de Caquot–Kérisel, et les valeurs de Coulomb-Rankine.
- Les valeurs du coefficient actif de la terre K_a obtenues numériquement (FLAC 2D) sont très proches à celles de Bouali Meriem Fakhreddine avec une différence n'excédant pas 9.1%, sauf pour $\varphi = \psi = \delta = 30^\circ$ où on observe une différence importante.

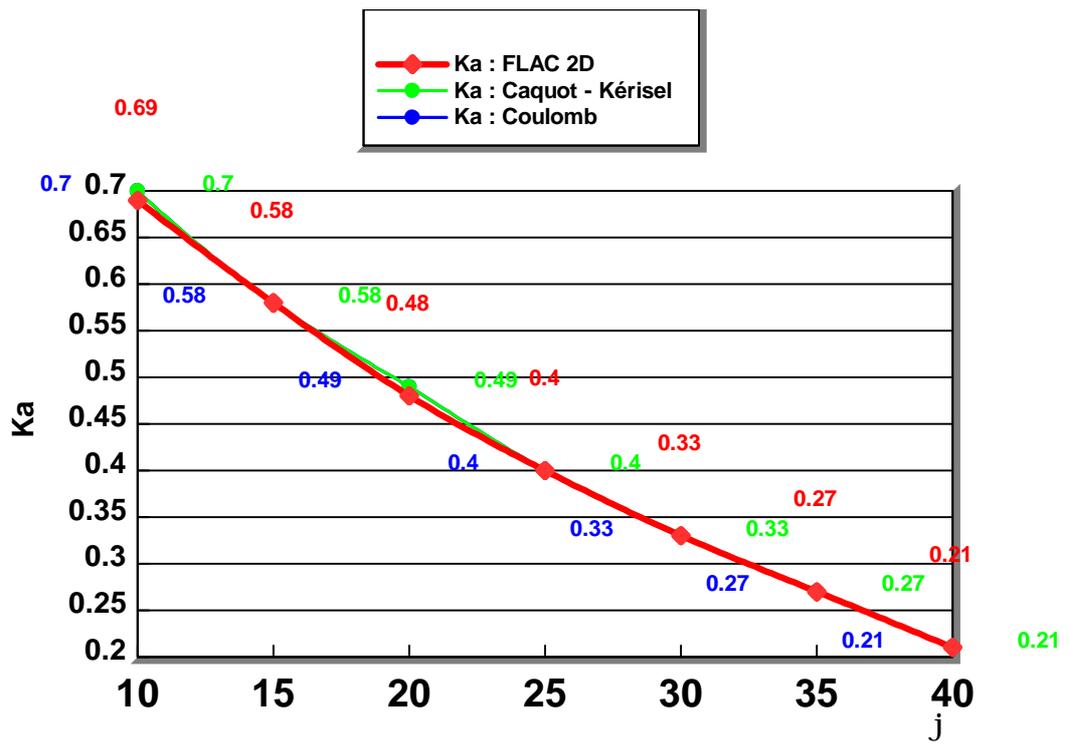


Figure 4-6a Cas de translation avec $\phi = \psi$, et $\delta = 0^\circ$

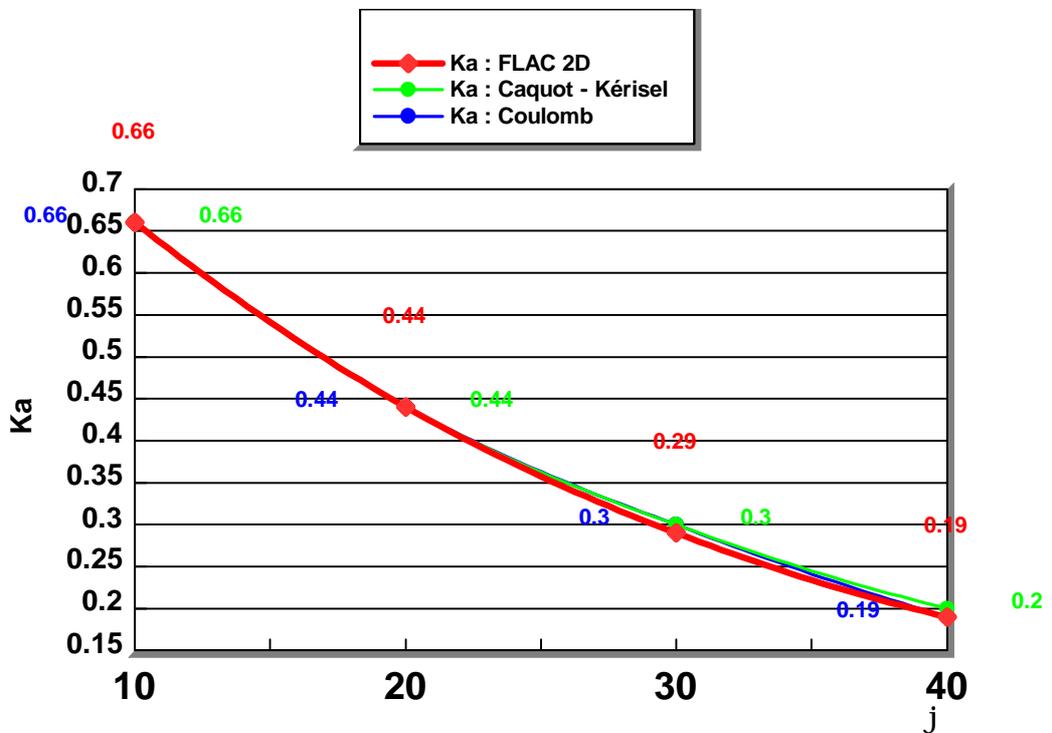


Figure 4-6b Cas de translation avec $\phi = \psi$, et $\delta = 1/2 \phi$

4-1-4-2-1-1 Distribution de la pression active de terre contre l'écran:

Les figures 4-7a, 4-7b, présentent le changement de la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide en fonction du changement de φ avec $\delta = 0^\circ$, $\psi = \varphi$ et en fonction du changement de l'angle de l'interface δ avec $\psi = \varphi = 30^\circ$ respectivement.

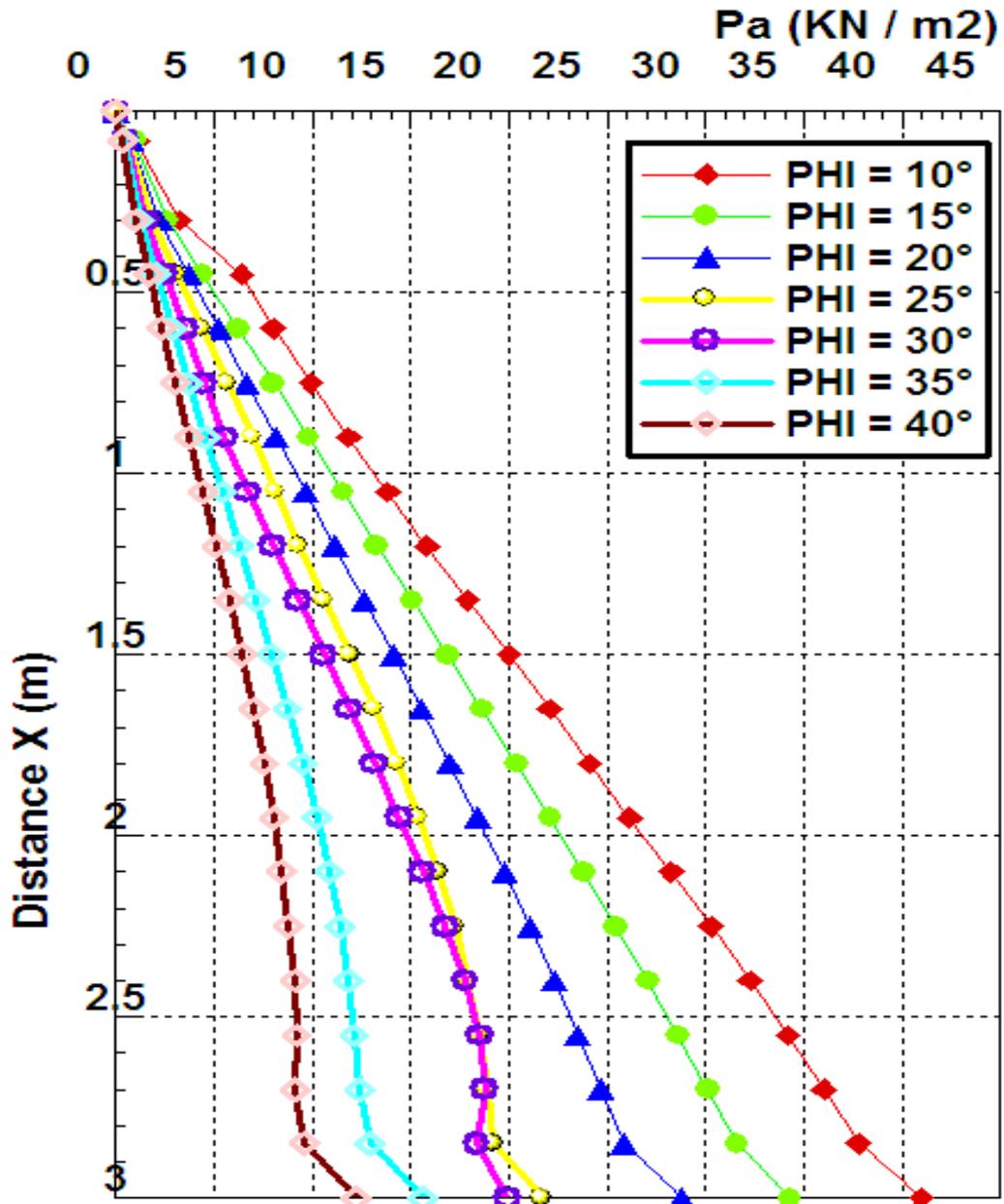


Figure 4-7a- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement interne du sol (φ) sur la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran lisse $\delta = 0^\circ$ et rigide avec $\psi = \varphi$
Cas de translation

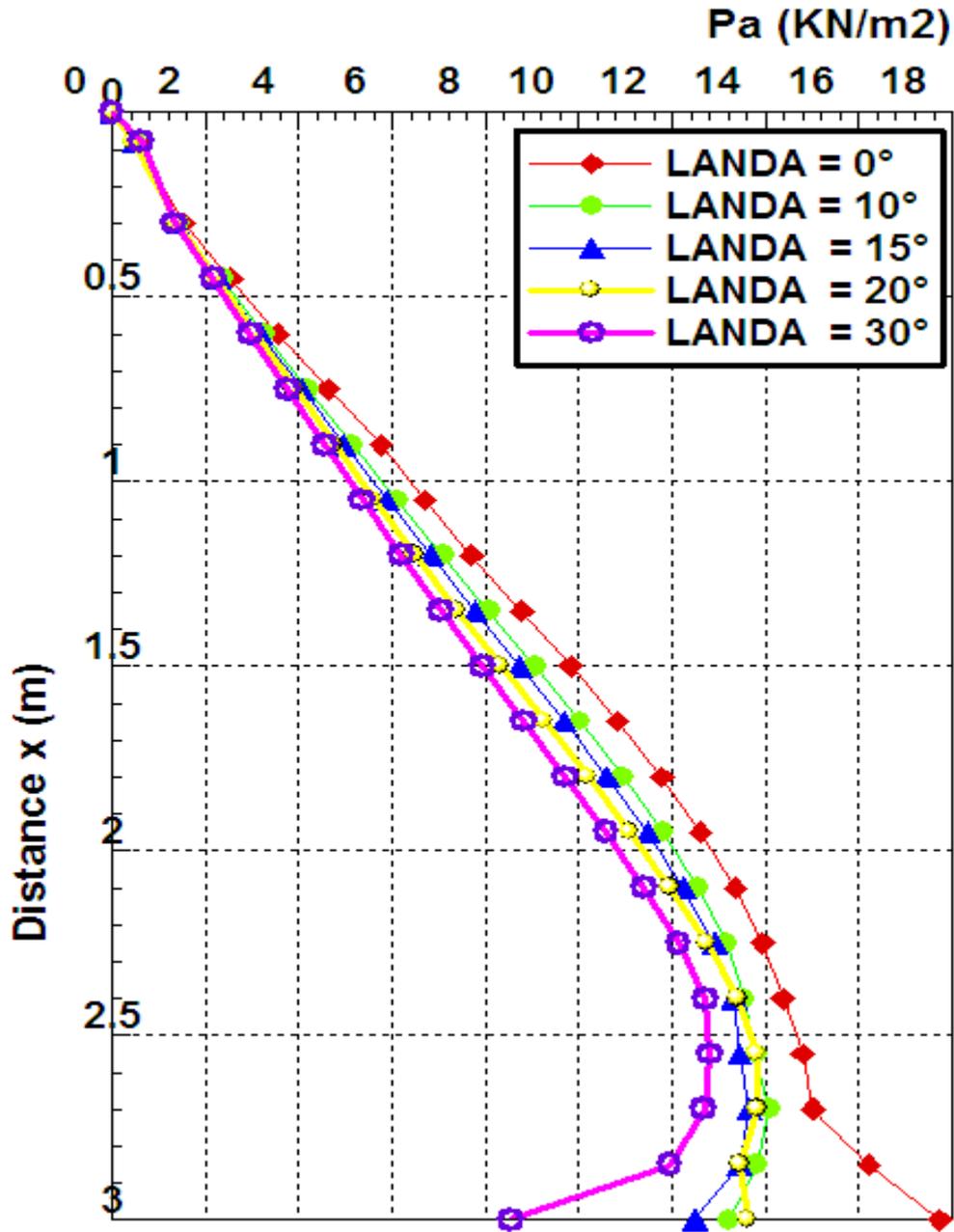


Figure 4-7b- Présente l'effet du changement de l'angle de l'interface Paroi-sol (δ) sur la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide avec $\psi = \phi = 30^\circ$
Cas de translation

4-1-4-2-1-2 Discussion :

- La figure 4-7a montre que la distribution de la pression active de terre calculée à partir de logiciel FLAC 2D en cas de **translation horizontale** d'un écran rigide est triangulaire pour $\delta = 0^\circ$, lequel est conforme à la théorie de Rankine, avec un effet remarquable de l'augmentation de l'angle φ sur les pressions de terre, tant que φ augmente la pression active agissant sur le mur diminue.
- La figure 4-7b montre que la distribution de la pression active de terre calculée à partir de logiciel FLAC 2D en cas de **translation horizontale** d'un écran rigide est triangulaire pour $\delta = 0^\circ$, au lequel est conforme a la théorie de Rankine. Il peut également être vu que la distribution de la pression active de terre change de triangulaire à non linéaire à la base de l'écran, tant que δ augmente, la pression active agissant sur le mur diminue.

4-1-4-2-2 Cas de rotation par rapport à la base :

La figure 4-8, montre la variation de la force horizontale active en fonction de la rotation par rapport à la base de l'écran rigide avec $\delta = 0$ et $\varphi = \psi = 40^\circ$.

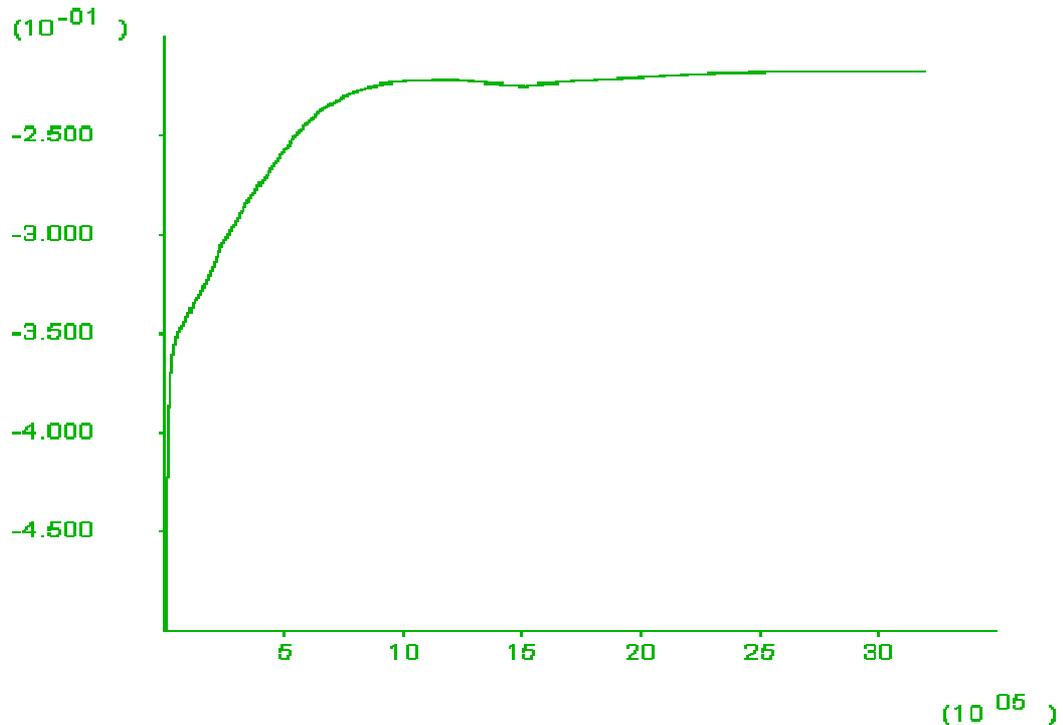


Figure 4-8- Montre la variation de la force horizontale active en fonction de la rotation par rapport à la base de l'écran rigide et lisse $d = 0$ et $(\varphi = \psi = 40^\circ)$

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-1) à (4-7) permet d'établir les observations suivantes :

- Les valeurs du coefficient actif de la terre K_a obtenues numériquement (FLAC 2D) sont très proches à celles de Bouali Meriem Fakhreddine avec une différence n'excédant pas 9.1% sauf en cas de $\varphi = \psi = \delta = 30^\circ$ on observe une différence importante.

4-1-4-2-2-1 Distribution de la pression active de la terre contre l'écran:

Les figures 4-9a, 4-9b, présentent le changement de la distribution de la pression normale active de terre le long de l'écran rigide en fonction du changement de φ avec $\delta = 0^\circ$, $\psi = \varphi$ et en fonction du changement de l'angle de l'interface δ avec $\psi = \varphi = 30^\circ$ respectivement.

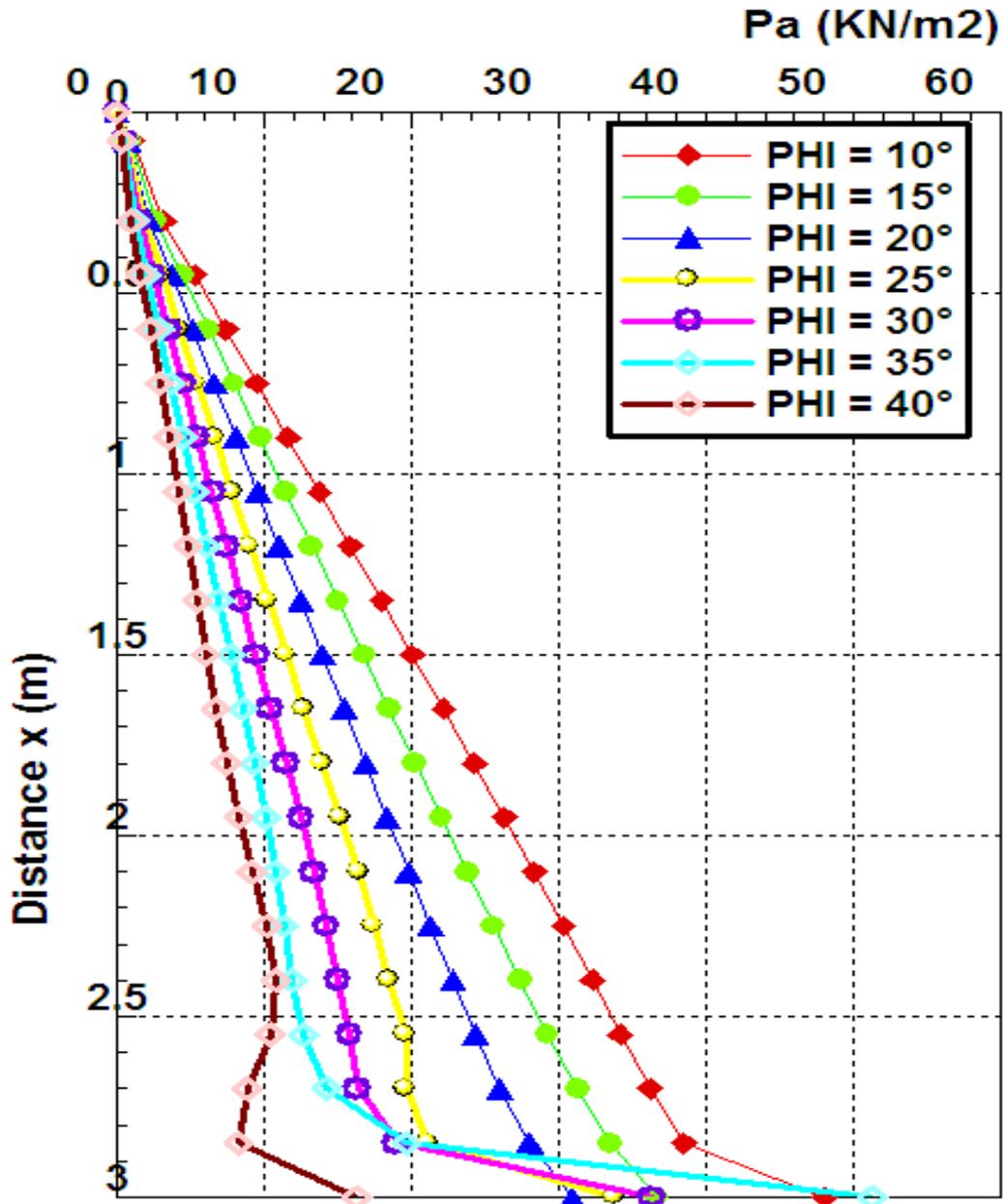


Figure 4-9a- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement interne du sol φ sur la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide et lisse $\delta = 0^\circ$ et $\psi = \varphi$
Cas de rotation par rapport à la base

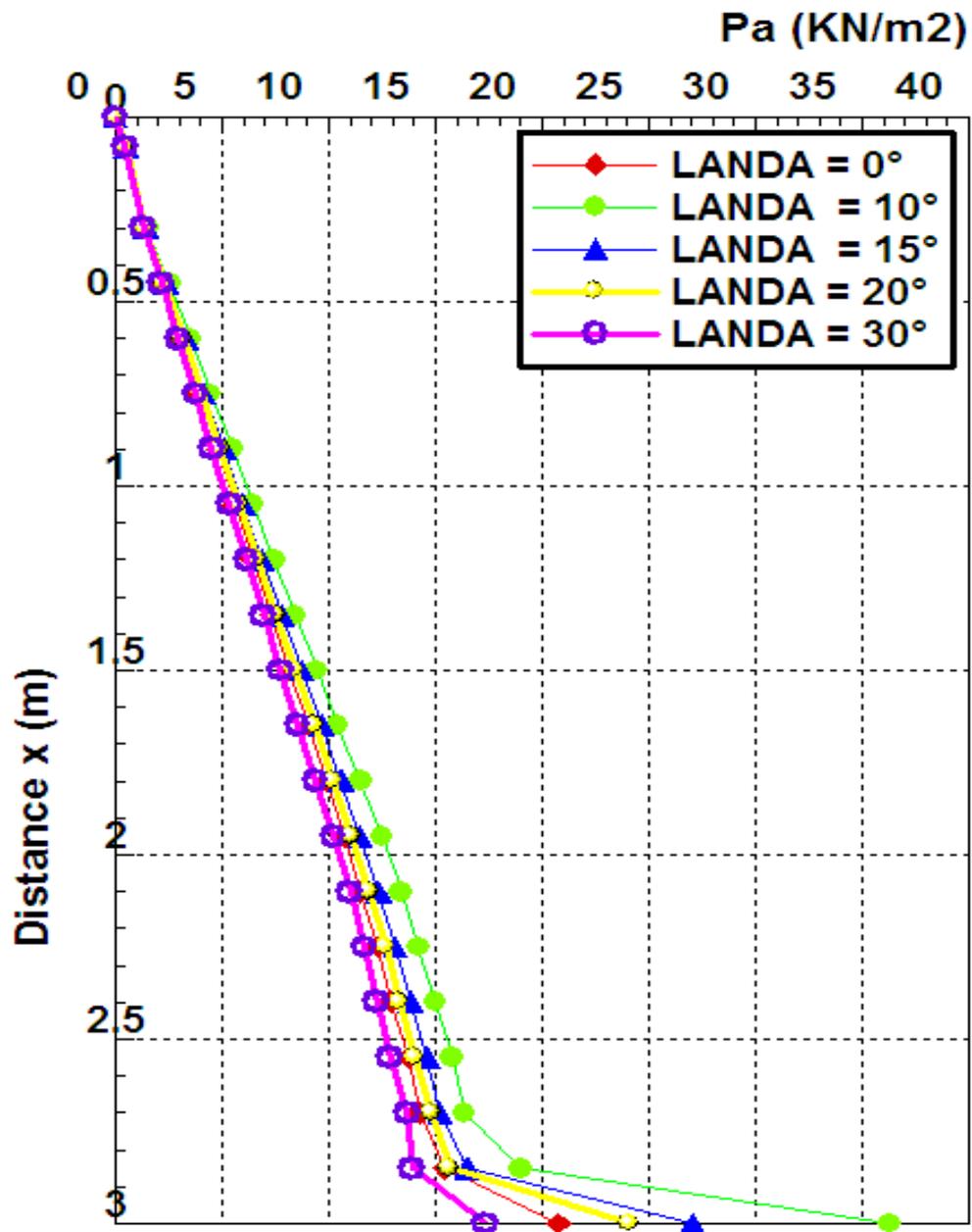


Figure 4-9b- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement De l'interface Paroi-sol (δ) sur la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide avec $\psi = \phi = 30^\circ$ Cas de rotation par rapport à la base

4-1-4-2-2-2 Discussion :

- La figure 4-9a montre que la distribution de la pression active de terre calculée à partir de logiciel FLAC 2D en cas de **rotation par rapport à la base** d'un écran rigide est

§ Parfaitement triangulaire si $\varphi \leq 20^\circ$

§ Triangulaire avec une augmentation brusque de la pression uniquement à la base proche du centre de rotation pour $\varphi > 20^\circ$

Un effet remarquable de l'augmentation de l'angle φ sur les pressions de terre, tant *que* φ augmente la pression active agissant sur le mur diminue.

- La figure 4-9b montre que la distribution de la pression active de terre calculée à partir de logiciel FLAC 2D en cas de **rotation par rapport à la base** d'un écran rigide est linéaire avec une augmentation brusque de la pression uniquement à la base proche du centre de rotation, on note un effet très faible de l'augmentation de l'angle δ sur les pressions.

4-1-4-2-3 Cas de rotation par rapport au sommet :

La figure 4-10, montre la variation de la force horizontale active en fonction de la rotation par rapport au sommet de l'écran rigide et rugueux par rapport au sommet $\delta = \varphi = \psi = 20^\circ$.

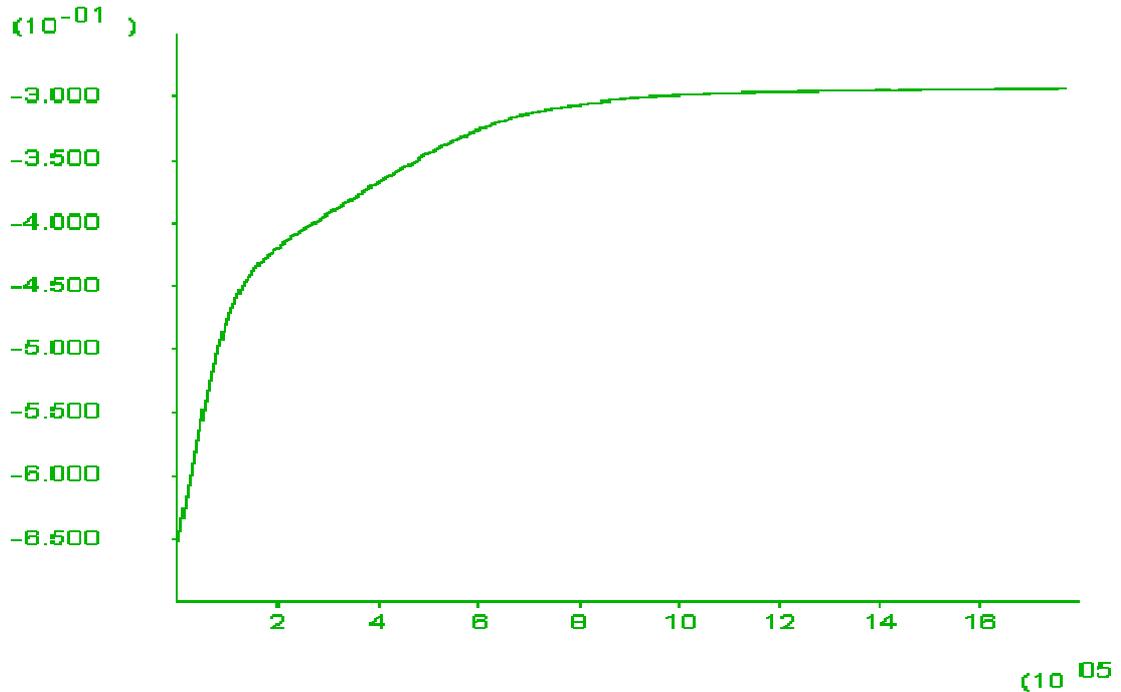


Figure 4-10- Montre la variation de la force horizontale active en fonction de la rotation par rapport au sommet de l'écran rigide et rugueux $\delta = \varphi = \psi = 20^\circ$

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-1) à (4-7) permet d'établir les observations suivantes :

- Les valeurs du coefficient actif de la terre K_a obtenues numériquement (FLAC 2D) sont très proches de celles de Bouali Meriem Fakhreddine avec une différence n'excédant pas 9.1% sauf $\varphi = \psi = \delta = 30^\circ$ on observe une grande différence.

4-1-4-2-3-1 Distribution de la pression active de terre contre l'écran :

Les figures 4-11a, 4-11b, présentent le changement de la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide en fonction du changement de φ avec $\delta = 0^\circ$, $\psi = \varphi$ et en fonction du changement de l'angle de l'interface δ avec $\psi = \varphi = 30^\circ$ respectivement.

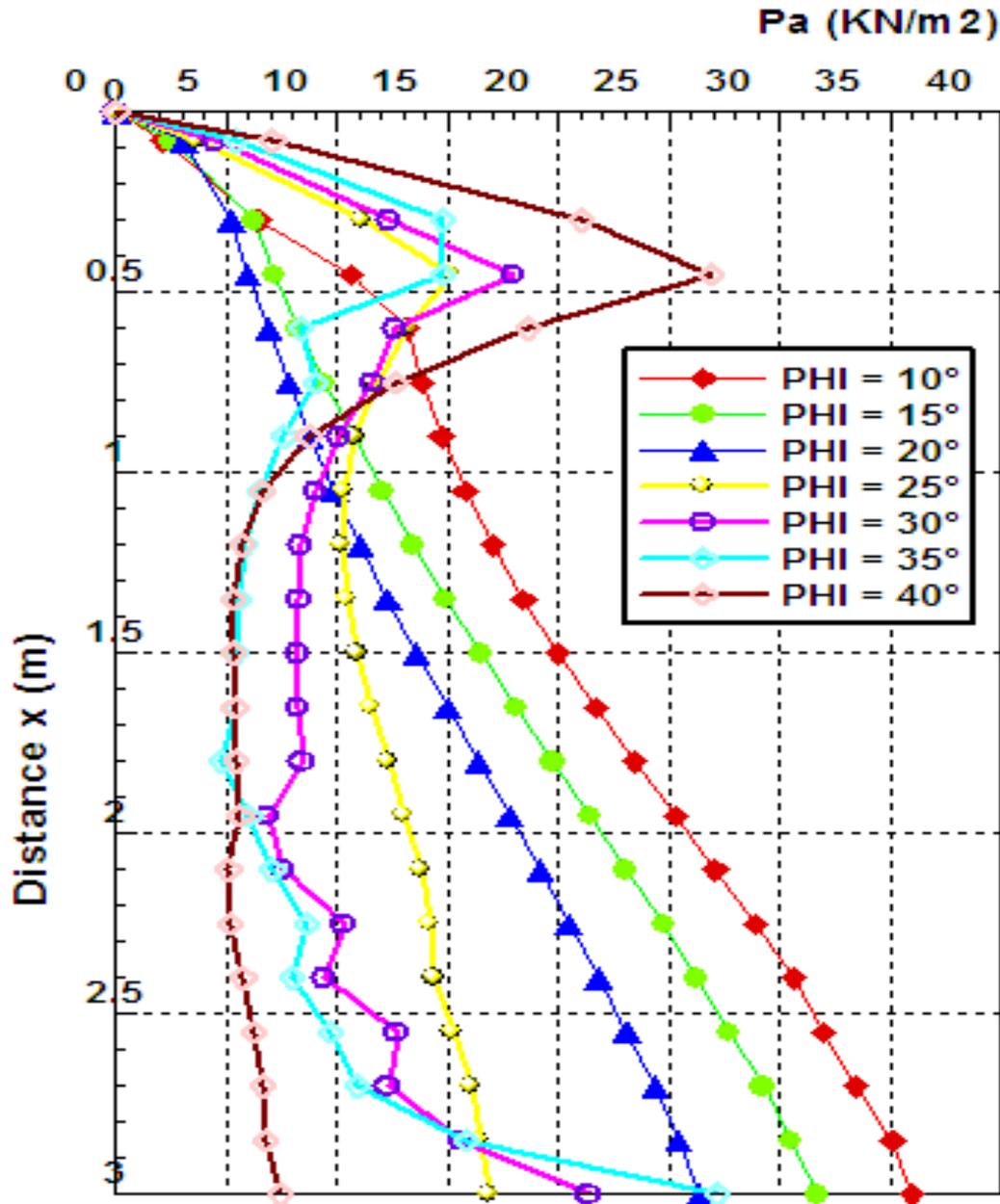


Figure 4-11a- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement interne du sol (φ) sur la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran lisse $\delta = 0^\circ$ et rigide avec $\psi = \varphi$
Cas de rotation par rapport au sommet

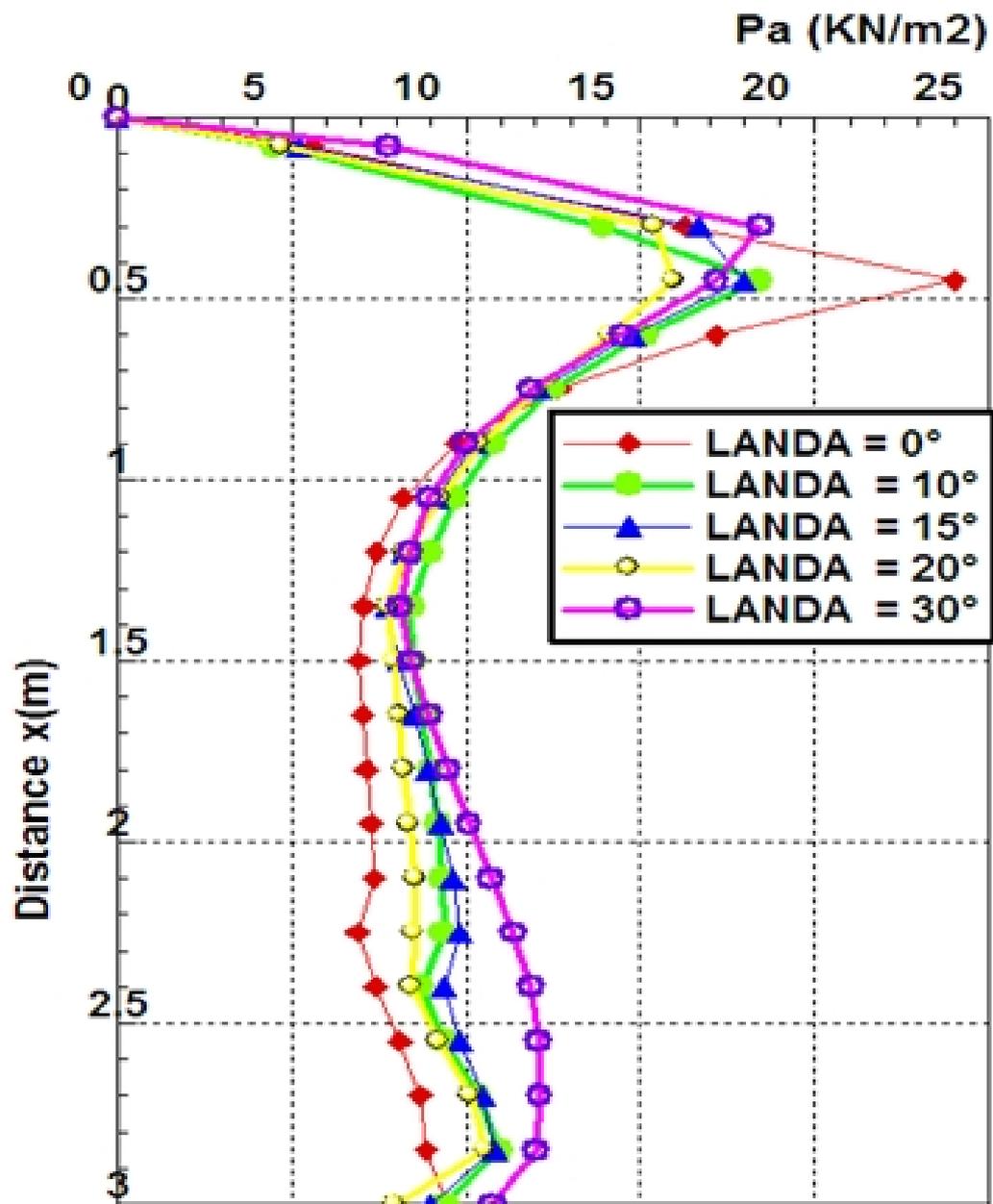


Figure 4-11b- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement De l'interface Paroi-sol (δ) sur la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide avec $\psi = \varphi = 30^\circ$
Cas de rotation par rapport au sommet

4-1-4-2-3-2 Discussion :

- La figure 4-11a montre que la distribution de la pression active de terre calculée à partir de logiciel FLAC 2D en cas de **rotation par rapport au sommet** d'un écran rigide est
 - § Légèrement triangulaire si $\varphi \leq 20^\circ$
 - § Non linéaire avec une concentration des contraintes au sommet de l'écran
- La figure 4-11b montre que la distribution de la pression active de terre calculée à partir de logiciel FLAC 2D en cas de **rotation par rapport au sommet** d'un écran rigide est non linéaire avec une concentration des contraintes au sommet de l'écran

4-1-4-3 Pression passive de terre (K_p) :

Les différentes valeurs du coefficient passif de la terre K_p pour les différents modes de mouvement, présentées ci-dessus, sont regroupées dans les tableaux (4-8) à (4-14) pour des raisons de comparaison avec quatre solutions existantes de Coulomb-Rankine (1776), Caquot-Kérisel (1948), Soubra (2000), Soubra-Macuh (2002).

I-4-4-4 Évaluation de la pression passive (k_p) de la terre contre l'écran:

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux 4-8 à 4-14 permet d'établir les interprétations suivantes :

- ü Les tableaux montrent l'augmentation du coefficient passif de la terre (K_p) quelle que soit le mode de mouvement avec :

 - **L'augmentation de l'angle de frottement de sol φ** : quelque soient les valeurs des angles de frottement sol-paroi $\delta = (0, 1/2, 1/3, 2/3, 1) \varphi$ ou les valeurs des angles de dilataance du sol $\psi = (0, 1, 1/2) \varphi$.
 - **L'augmentation de l'angle de frottement sol-paroi δ** : quelles que soient les valeurs des angles de frottement du sol φ ou les valeurs des angles de dilataance du sol $\psi = (0 ; 1 ; 1/2) \varphi$.
 - **L'augmentation de l'angle de dilataance du sol ψ** : quelles que soient les valeurs des angles de frottement du sol φ ou les valeurs des angles de frottement sol-paroi $\delta = (0, 1/2, 1/3, 2/3, 1) \varphi$
- ü Un effet plus significatif d'angle ψ sur la valeur du coefficient passif de la terre (K_p) uniquement pour les sols présentant un fort angle de frottement ($\varphi = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$), et un angle de frottement paroi-sol $\delta = (20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ)$. Alors que son influence est pratiquement négligeable pour $\varphi = (10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ)$ et $\delta = (0^\circ, 5^\circ, 10, 15^\circ)$.

- ü On constate que l'effet de la variation de l'angle de frottement de l'interface paroi-sol δ sur le coefficient passif de la terre est décroissant uniquement pour les sols présentant un faible angle de frottement ($\varphi = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$) et $\delta = (0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ)$, et croissant pour les sols présentant un fort angle de frottement ($\varphi = 30^\circ, 40^\circ$) et $\delta = 20^\circ; 30^\circ; 40$.
- ü L'effet de la variation de l'angle de frottement du sol φ sur le coefficient passif de la terre est décroissant.
- ü L'effet de l'angle de frottement interne φ est plus significatif que les deux autres effets étudiés (effet de l'angle de frottement de l'interface paroi-sol δ et l'effet de l'angle de dilatance ψ) pour les trois modes de mouvement translation, rotation par rapport à la base et rotation par rapport au sommet.
- ü Les valeurs données par Coulomb s'éloignent au-delà de $\varphi = 30^\circ$

4-1-4-5-1 Cas de translation :

La figure 4-12, montre la variation de la force horizontale passive en fonction de translation horizontale de l'écran rigide avec $\delta = 0^\circ$ et $\varphi = \psi = 35^\circ$.

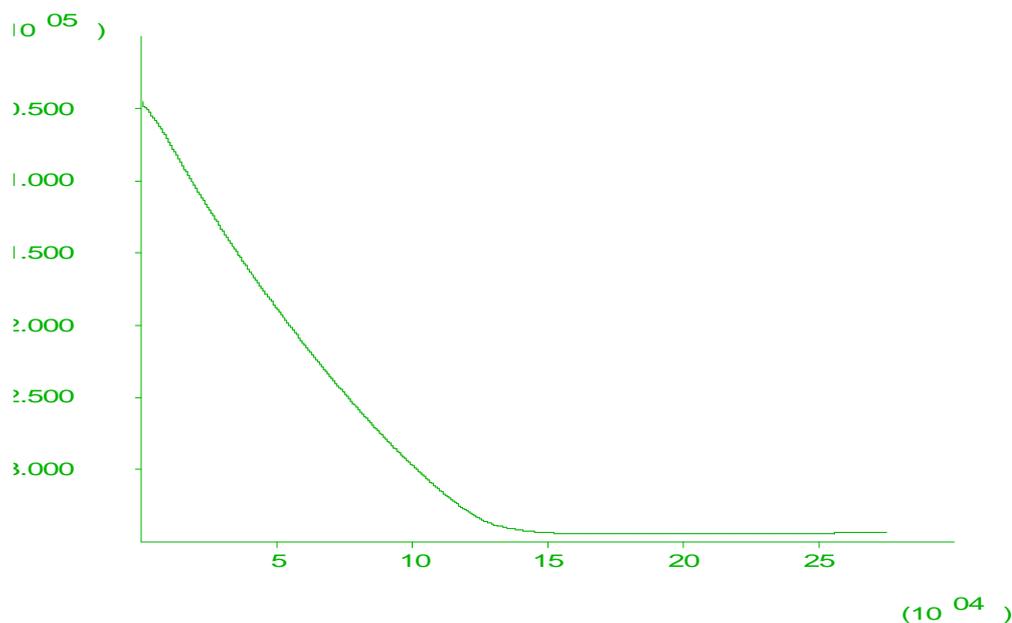


Figure 4-12- Montre la variation de la force horizontale passive en fonction du déplacement horizontal de l'écran rigide $\delta = 0^\circ$ et $(\varphi = \psi = 35^\circ)$

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-8) à (4-14) permet d'établir les observations suivantes :

- Les valeurs du coefficient passif de la terre K_p obtenues numériquement (FLAC 2D) **en cas de translation d'un écran lisse et rigide** sont en parfait accord avec les valeurs actuellement utilisées de Caquot-Kérisel quel que soit l'angle de frottement du sol φ .
- Les valeurs du coefficient passif de la terre K_p obtenues numériquement (FLAC 2D) **en cas de translation d'un écran rugueux et rigide** sont en parfait accord avec les valeurs actuellement utilisées de Caquot-Kérisel pour les sols présentant un faible angle de frottement $\varphi < 30^\circ$.
- Pour les sols présentant un fort angle de frottement $\varphi > 30^\circ$, les valeurs obtenues numériquement (FLAC 2D) pour le mode de translation horizontal d'écran d'un écran rugueux et rigide sont inférieures aux solutions données par Caquot-Kérisel mais elles ne sont pas très éloignées alors que la différence est remarquable avec les valeurs données par Coulomb-Rankine.

FLAC 2D présente une différence avec

Caquot-Kérisel n'excédant pas 18 % **pour. $\varphi = \psi = \delta = 40^\circ$**

Coulomb-Rankine n'excédant pas 82 % **pour. $\varphi = \psi = \delta = 40^\circ$**

- Lorsque $\varphi \leq 30^\circ$ les valeurs du coefficient passif de la terre K_p obtenues numériquement (FLAC 2D) pour le mode de translation horizontal d'écran sont en parfait accord avec les valeurs de Soubra et de Soubra-Macuh avec une différence n'excédant pas 6.49 % pour $\varphi = \psi = \delta = 30^\circ$ et lorsque $\varphi > 30^\circ$ sont inférieures bondissent des solutions de Soubra et de Soubra-Macuh de façon très remarquable.
- Pour le mode de mouvement (T), les résultats de simulation pour les différentes valeurs des angles (δ, φ, ψ) donnent des valeurs proches à celles de Bouali Meriem Fakhreddine FLAC 2D et présentent une différence n'excédant pas 2.70 % pour $\varphi = \psi = \delta = 30^\circ$

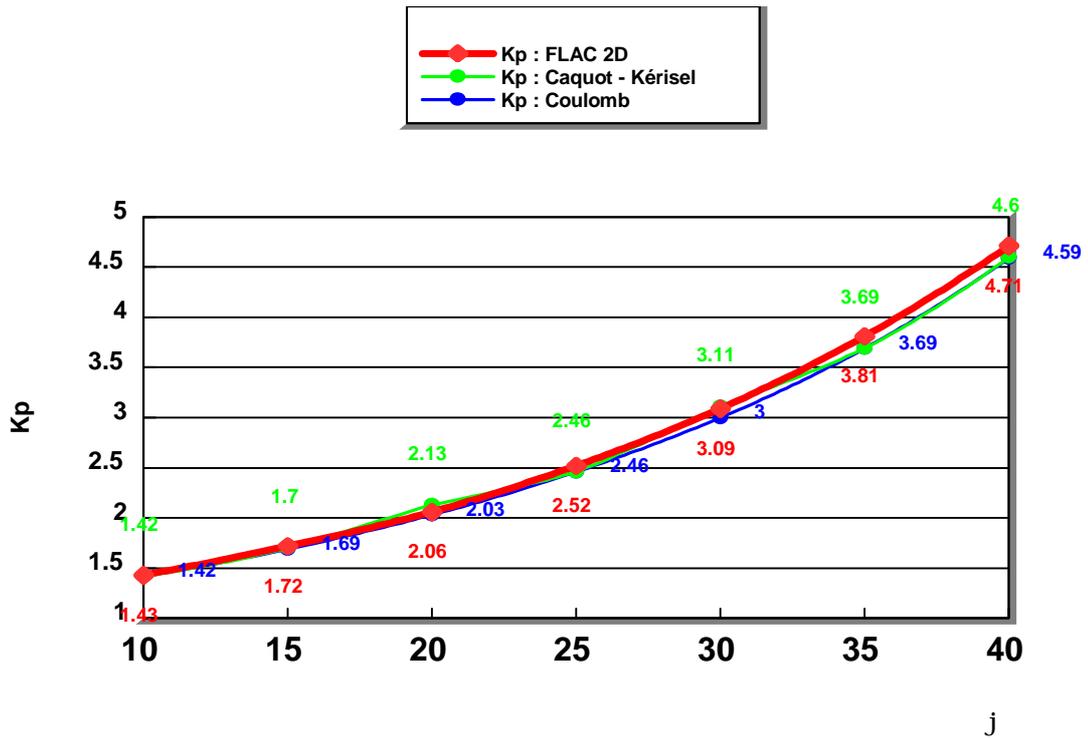


Figure 4-13a Cas de translation avec $\varphi = \psi$, et $\delta = 0^\circ$

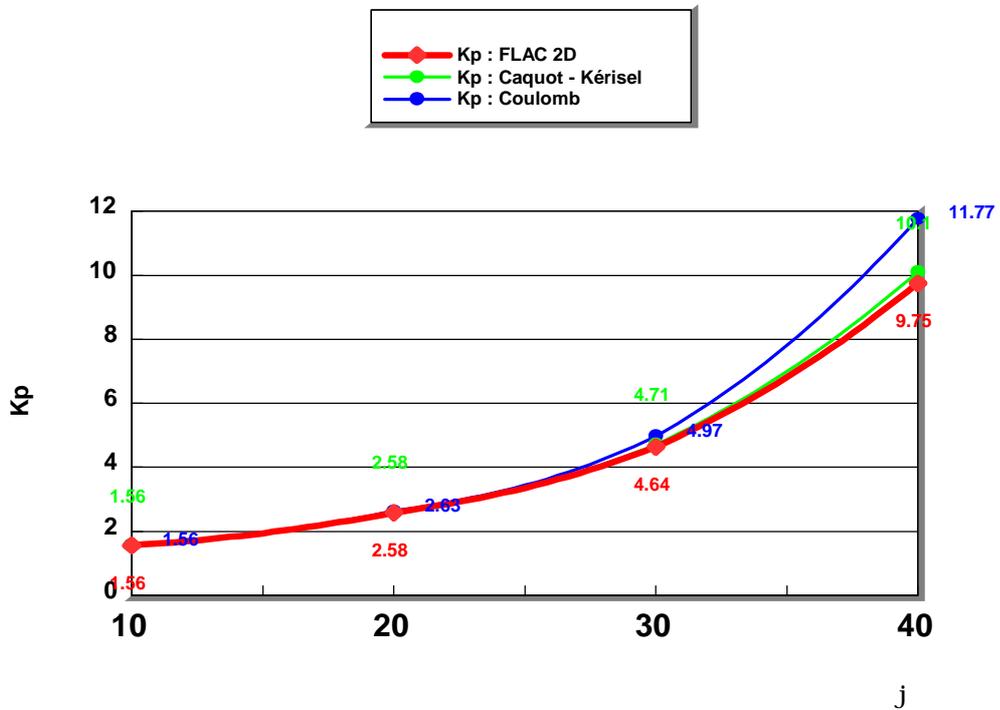


Figure 4-13b- Cas de translation avec $\varphi = \psi$, et $\delta = 1/2 \varphi$

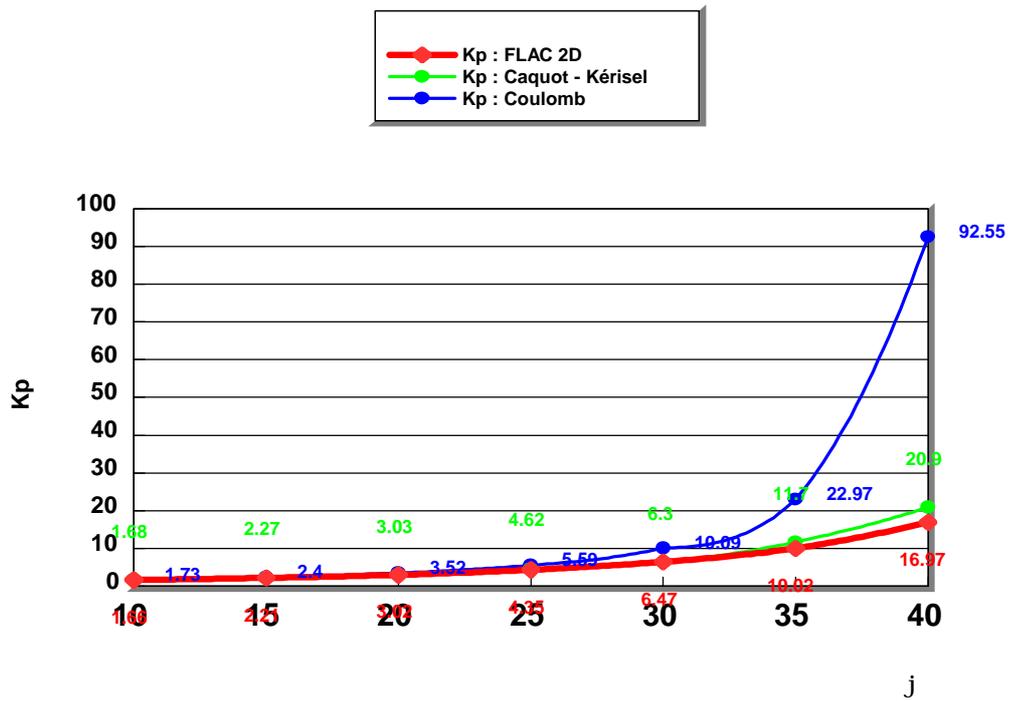


Figure 4-13c Cas de translation avec $\phi = \psi = \delta$

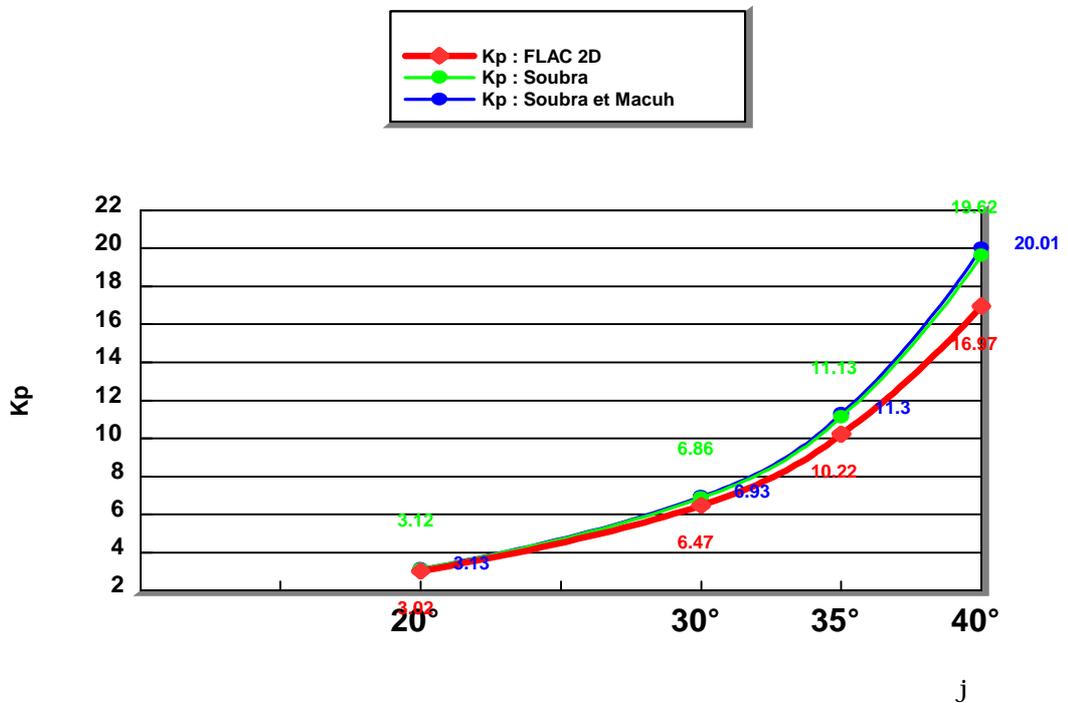


Figure 4-13d Cas de translation avec $\phi = \psi = \delta$

4-1-4-5-1-1 Distribution de la pression passive de terre contre l'écran :

Les figures 4-14a, 4-14b, présentent le changement de la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide en fonction du changement de φ avec $\delta = 0^\circ$, $\psi = \varphi$ et en fonction du changement de l'angle de l'interface δ avec $\psi = \varphi = 30^\circ$ respectivement.

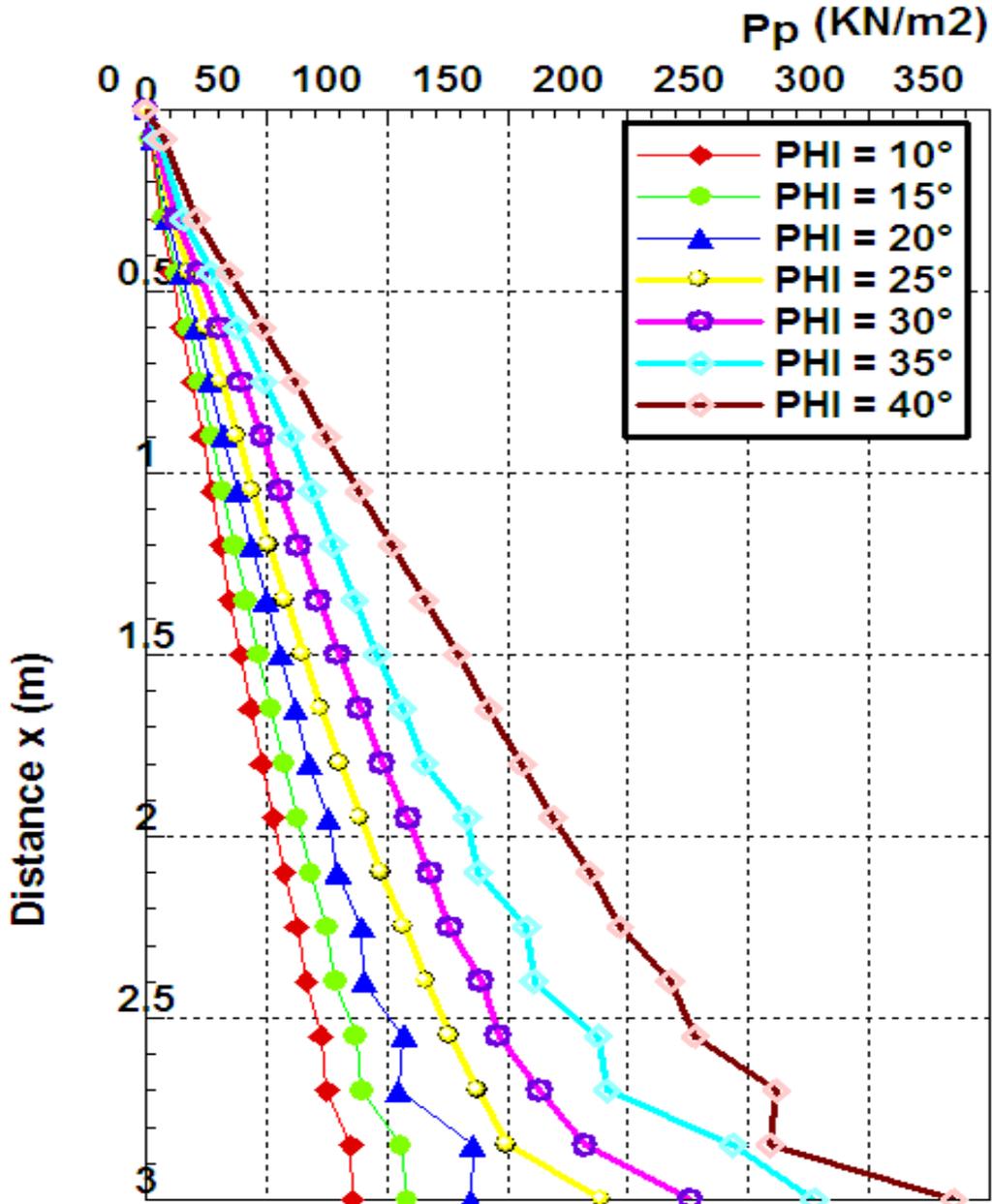


Figure 4-14a- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement interne du sol (φ) sur la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide et lisse $\delta = 0$ avec $\psi = \varphi$
Cas de translation

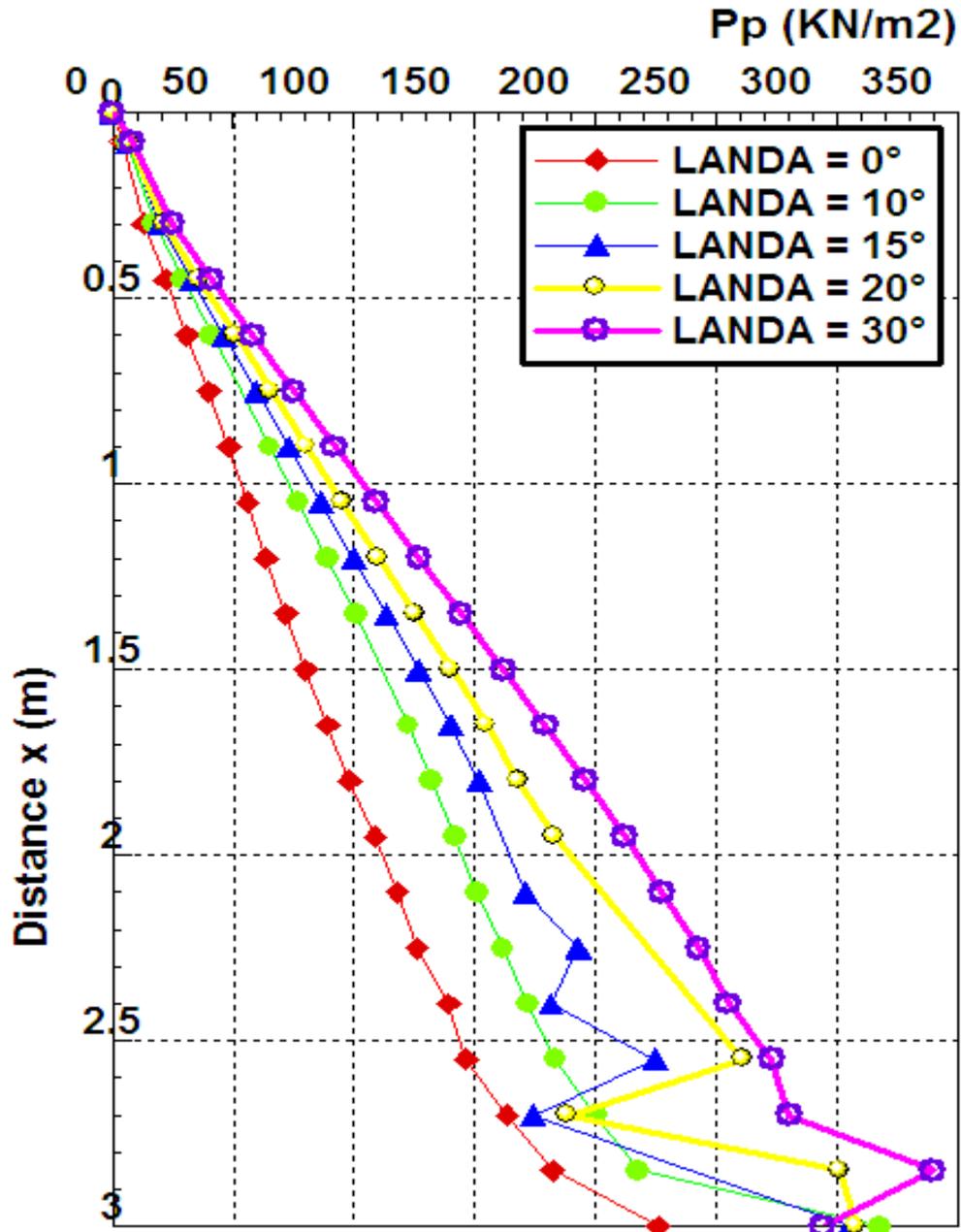


Figure 4-14b- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement De l'interface Sol-paroi δ sur la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide avec $\psi = \varphi = 30^\circ$
Cas de translation

4-1-5-1-2 Discussion :

- La figure 4-14a montre que la distribution des pressions passives pour la **translation horizontale** est linéaire, avec un effet remarquable de l'augmentation de l'angle φ sur les pressions de terre, tant que φ augmente la pression passive agissant sur le mur augmente.
- La figure 4-14b montre que la distribution des pressions passive pour la **translation horizontale** est linéaire sauf une courbure observée près de la base d'écran, avec un effet remarquable de l'augmentation de l'angle δ sur les pressions de terre, tant que δ augmente la pression passive agissant sur le mur augmente.

4-1-4-5-2 Cas de rotation par rapport à la base :

La figure 4-15, montre la variation de la force horizontale passive en fonction de la rotation par rapport à la base de l'écran rigide avec $\delta = 0^\circ$, et $\varphi = \psi = 35^\circ$.

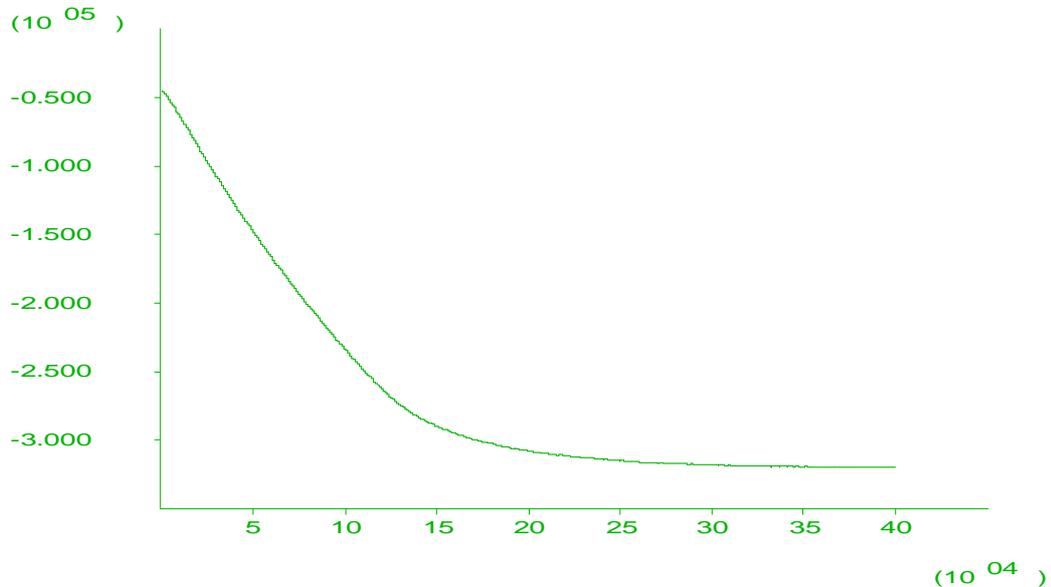


Figure 4-15- Montre la variation de la force horizontale passive en fonction de rotation par rapport à la base de l'écran rigide $\delta = 0^\circ$, et ($\varphi = \psi = 35^\circ$)

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-8) à (4-14) permet d'établir les observations suivantes :

- Pour le mode de mouvement (**RB**), les résultats de simulation pour les différentes valeurs des angles (δ, φ, ψ) donnent des valeurs proches de celles de Bouali Meriem Fakhreddine FLAC 2D et présentent une différence n'excédant pas 4.37 % pour $\psi = 30^\circ$ et $\delta = 0^\circ$

I-4-4-5-2-1 Distribution de la pression passive de terre contre l'écran :

Les figures 4-16a, 4-16b, présentent le changement de la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide en fonction du changement de φ avec $\delta = 0^\circ$, $\psi = \varphi$ et en fonction du changement de l'angle de l'interface δ avec $\psi = \varphi = 30^\circ$ respectivement.

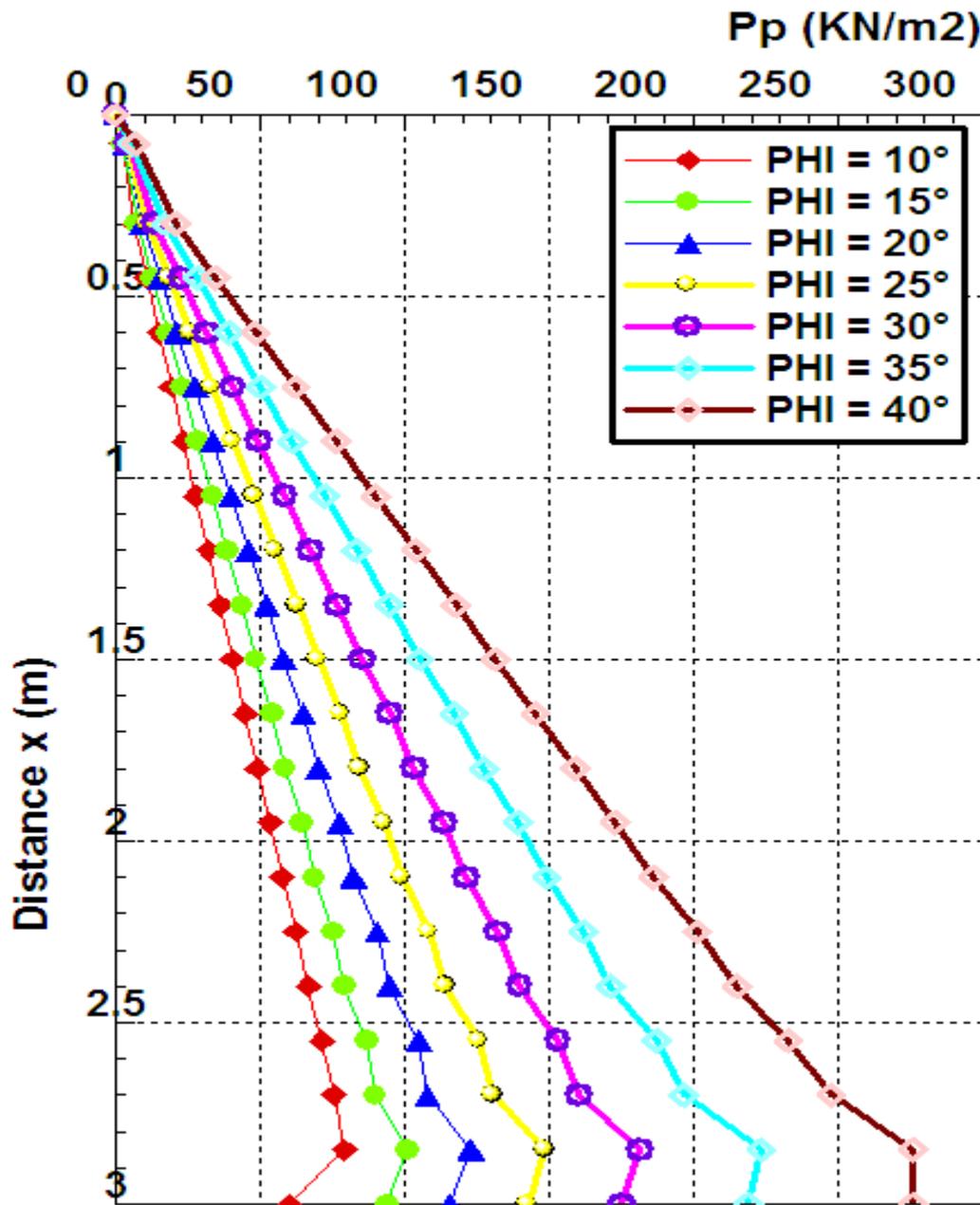


Figure 4-16a- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement interne du sol (φ) sur la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide et lisse $\delta = 0$ avec $\psi = \varphi$
Cas de rotation par rapport à la base

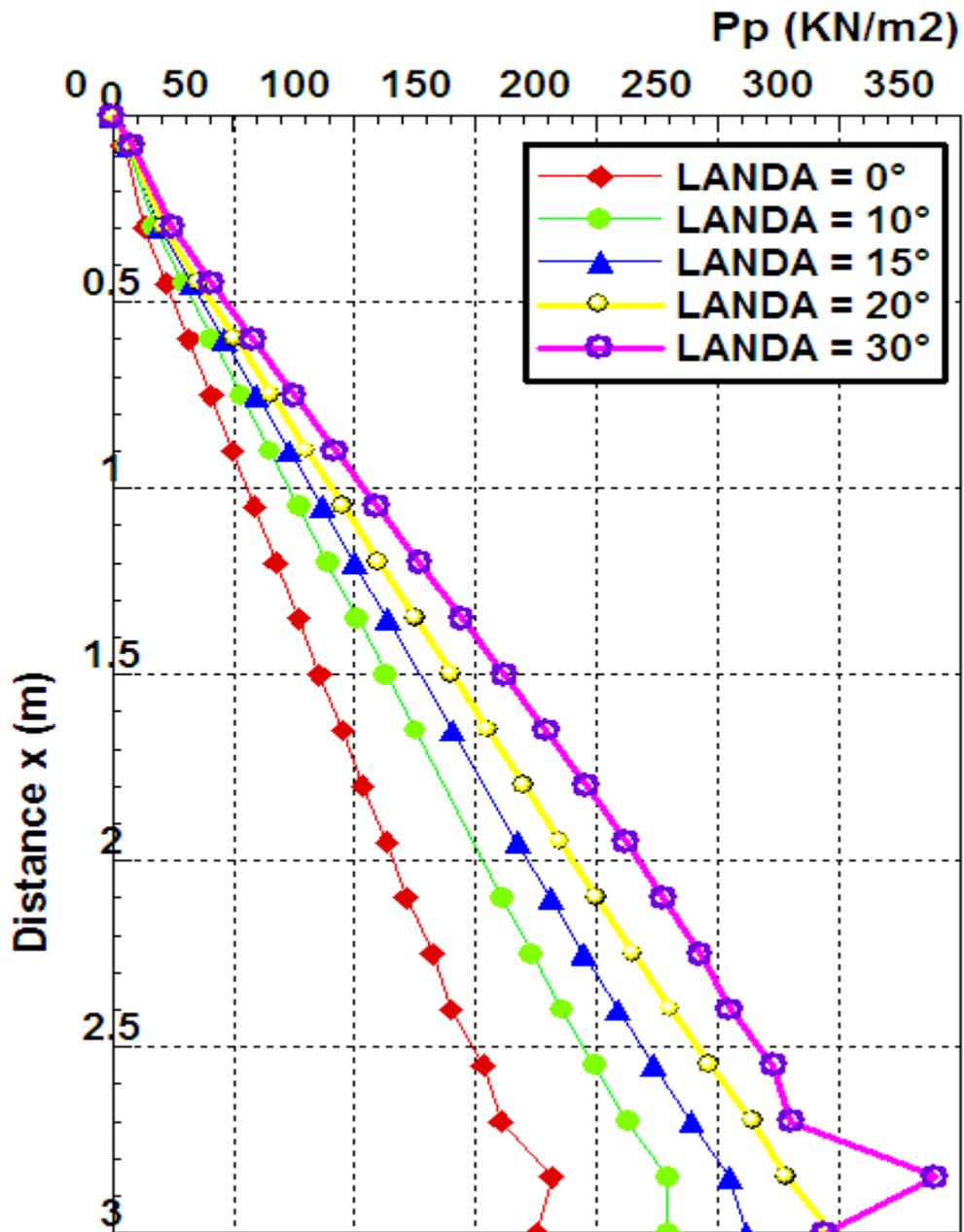


Figure 4-16b- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement De l'interface Sol-paroi δ sur la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide avec $\psi = \varphi = 30^\circ$ Cas de rotation par rapport à la base

4-1-4-5-2-2 Discussion :

- La figure 4-16a montre que la distribution des pressions passives est linéaire avec un effet remarquable de l'augmentation de l'angle φ sur les pressions de terre, tant que φ augmente la pression passive agissant sur le mur augmente.
- La figure 4-16b montre que la distribution des pressions passive est linéaire avec un effet de l'augmentation de l'angle δ sur les pressions de terre, tant que δ augmente la pression passive agissant sur le mur augmente.

4-1-4-5-3 Cas de rotation par rapport au sommet ;

La figure 4-17, montre la variation de la force horizontale passive en fonction de rotation par rapport au sommet de l'écran rigide avec $\delta = 0^\circ$, $\varphi = \psi = 35^\circ$.

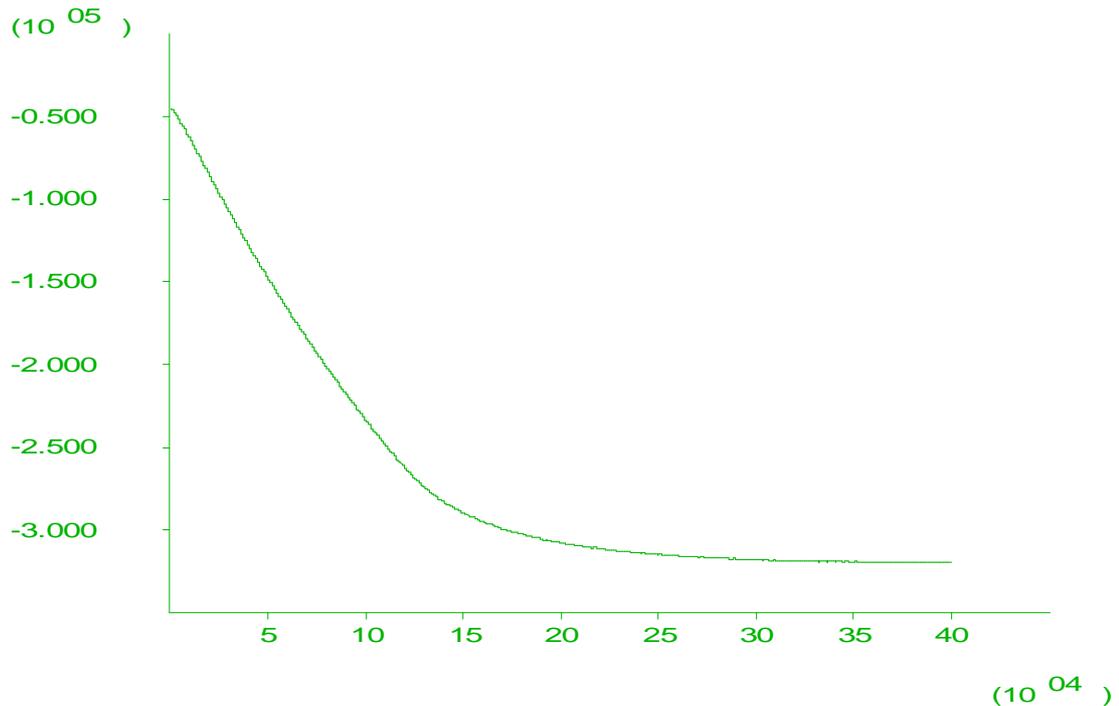


Figure 4-17- Montre la variation de la force horizontale passive en fonction de la rotation par rapport au sommet de l'écran rigide $\delta = 0^\circ$, $\varphi = \psi = 35^\circ$

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-8) à (4-14) permet d'établir les observations suivantes :

- Pour le mode de mouvement (**RS**), les résultats de simulation pour les différentes valeurs des angles (δ , φ , ψ) donnent des valeurs proches de celles de Bouali Meriem Fakhreddine. FLAC 2D est présentement une différence n'excédant pas 6.52 % pour $\varphi = \psi = 30^\circ$ et $\delta = 0^\circ$

4-1-4-5-3-1 Distribution de la pression passive de terre contre l'écran :

Les figures 4-18a, 4-18b, présentent le changement de la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide en fonction du changement de φ avec $\delta = 0^\circ$, $\psi = \varphi$ et en fonction du changement de l'angle de l'interface δ avec $\psi = \varphi = 30^\circ$ respectivement.

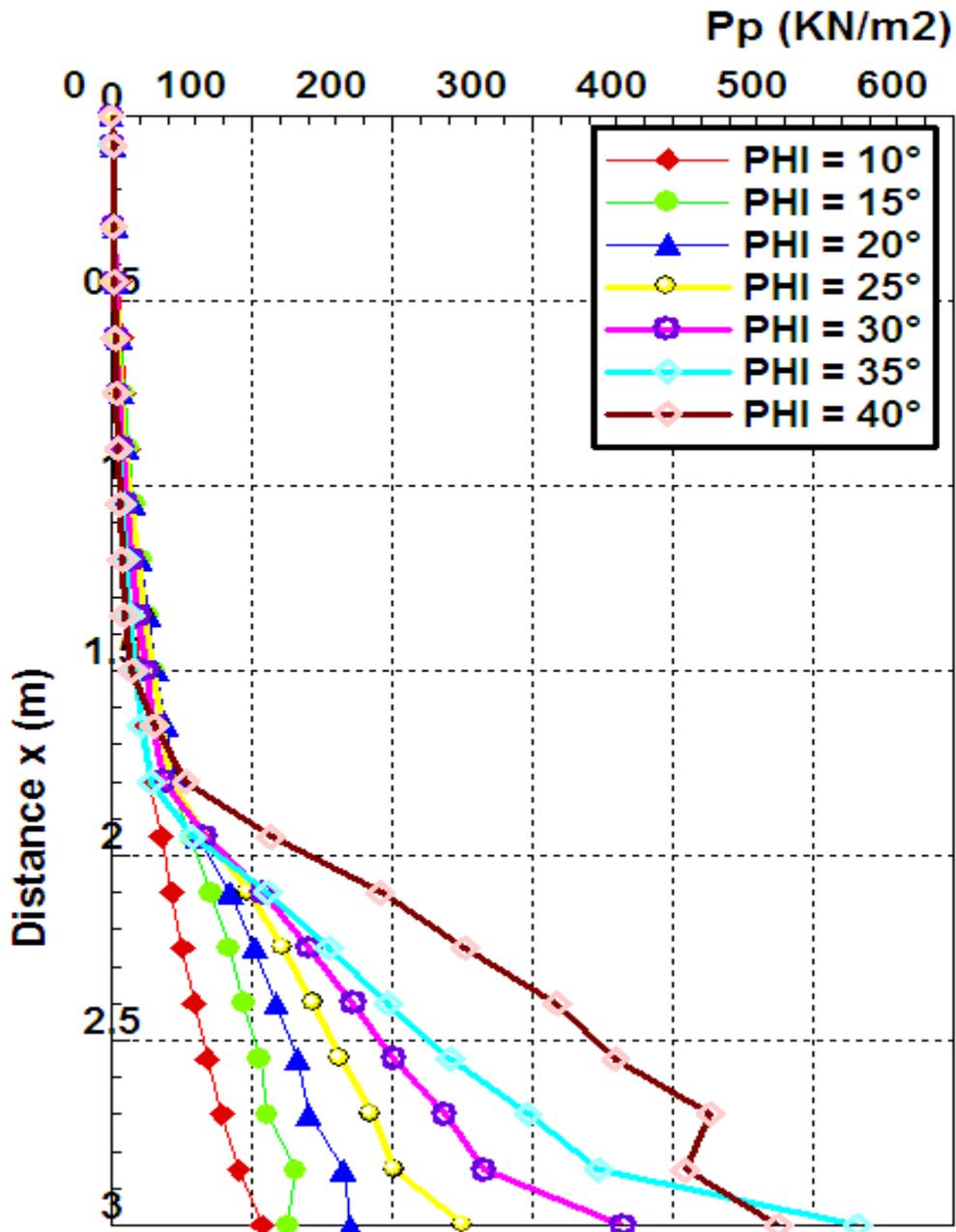


Figure 4-18a- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement interne du sol (φ) sur la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide et lisse $\delta = 0$ avec $\psi = \varphi$
Cas de rotation par rapport au sommet

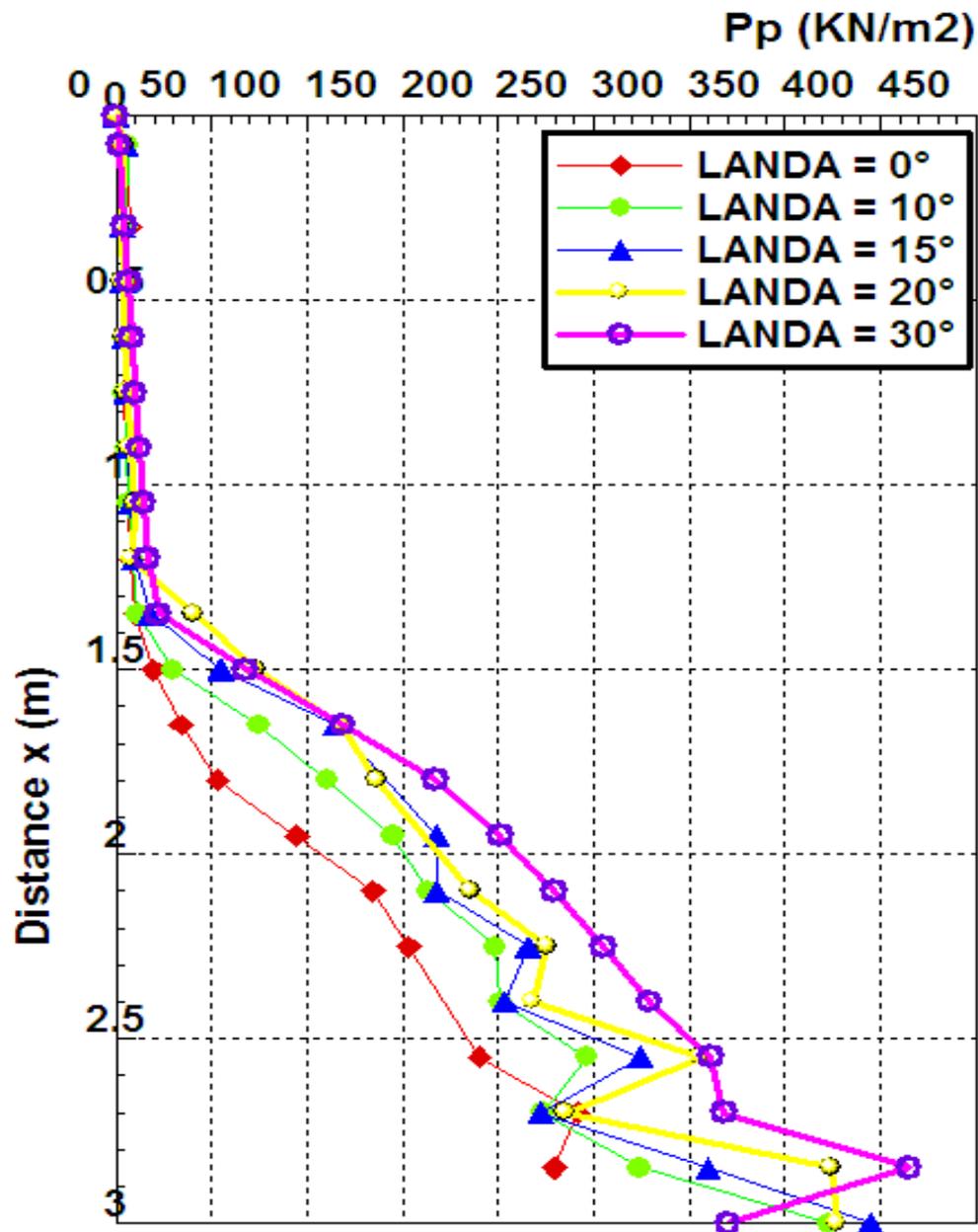


Figure 4-18b- Présente l'effet du changement de l'angle de frottement De l'interface Sol-paroi δ sur la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide avec $\psi = \varphi = 30^\circ$
Cas de rotation par rapport au sommet

4-1-4-5-3-2 Discussion :

- Les deux figures 4-18a et 4-18b montrent que dans le cas de **rotation par rapport au sommet** la butée présente un état de pression au repos sur moins de 50% de la hauteur de l'écran comptée à partir du sommet.

4-1-5 Comparaison entre les trois modes étudiées (T, RB, RS):

4-1-5-1 Les zones mobilisées par la butée et la poussée :

Afin de visualiser la zone mobilisée par la butée et la poussée, nous présentons sur les figures 4-19a, 4-19b, 4-19c, les champs de déplacements maximaux pour les trois modes de mouvement T, RB, RS respectivement avec $\varphi = \psi = 30^\circ$ et $\delta = 0^\circ$.

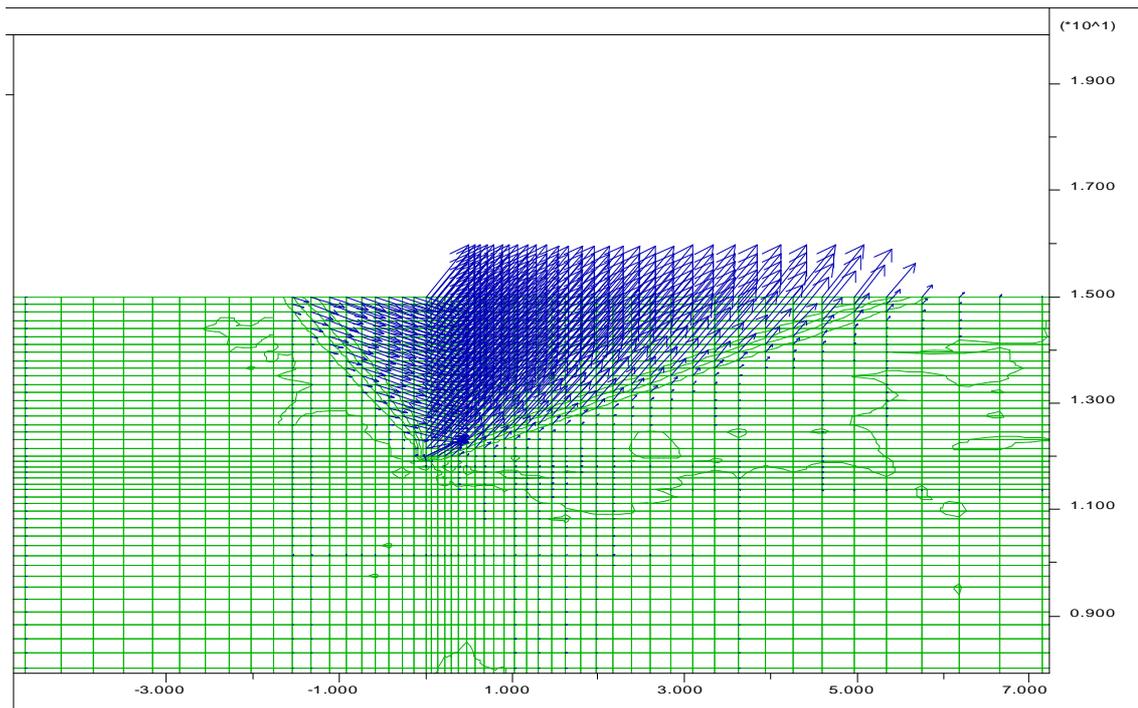


Figure 4-19a- Montre le champ de déplacement maximal pour le mode de translation

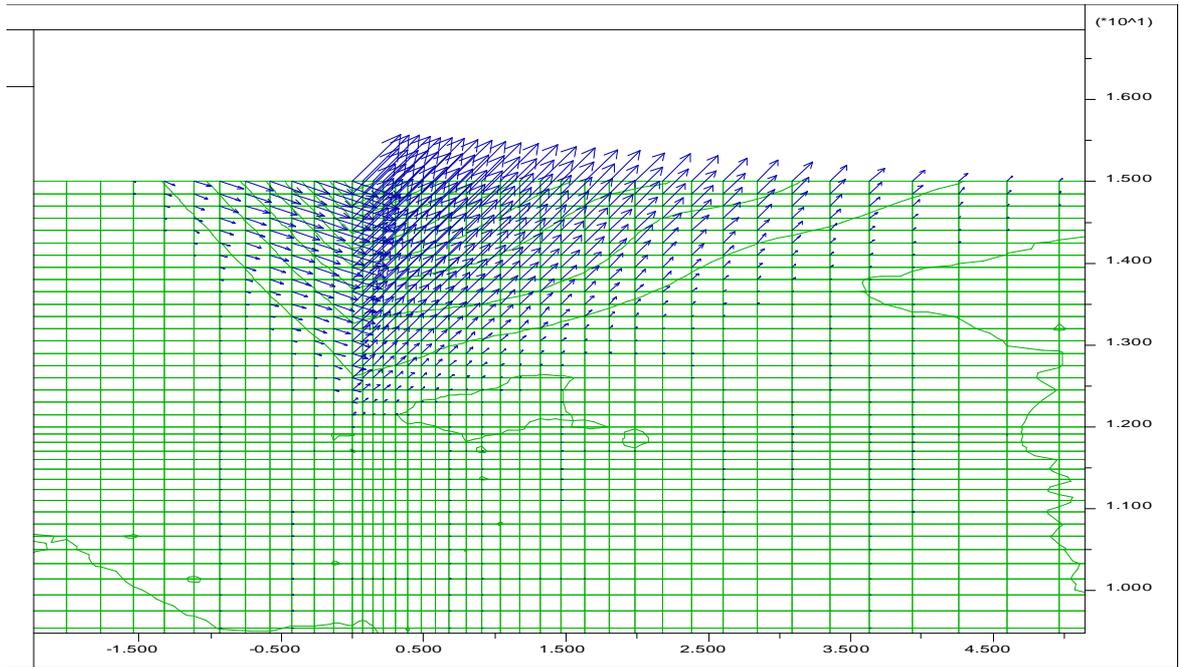


Figure 4-19b- Montre le champ de déplacement maximal pour le mode de rotation par rapport à la base

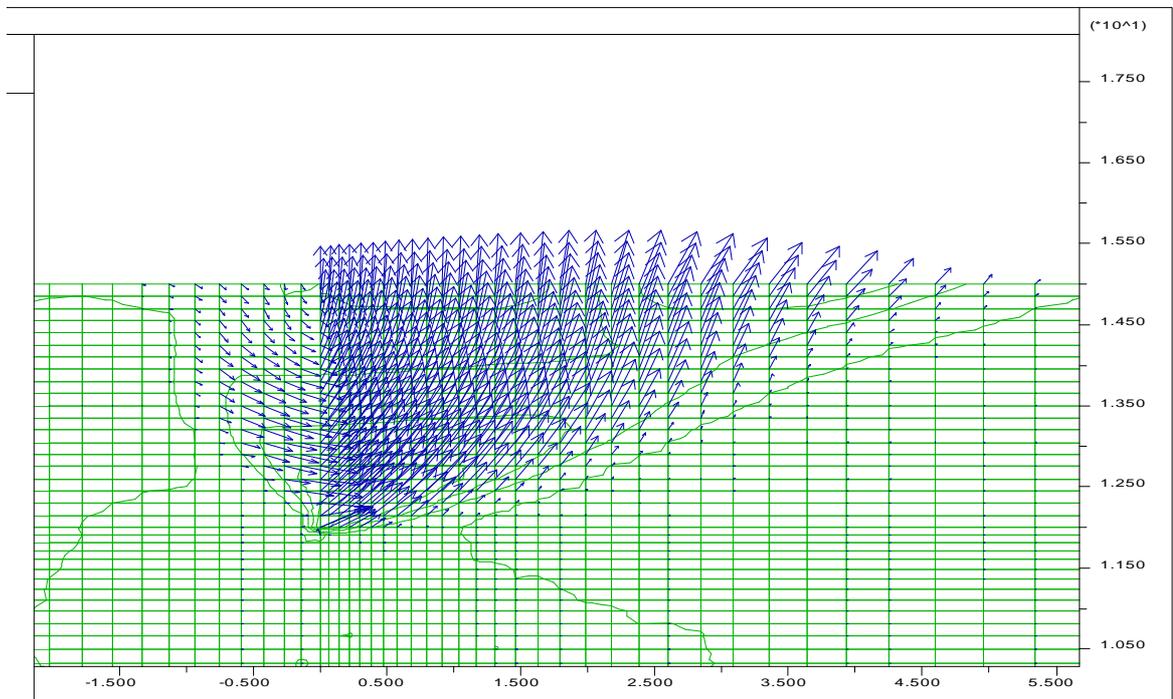


Figure 4-19c- Montre le champ de déplacement maximal pour le mode de rotation par rapport au sommet

4-1-5-2 Les zones plastifiées par la butée et la poussée :

Afin de visualiser la zone plastifiées par la butée et la poussée, nous présentons sur les figures 4-20a, 4-20b, 4-20c, les zone plastifiées pour les trois modes de mouvement T, RB, RS respectivement avec $\varphi = \psi = 30^\circ$ et $\delta = 0^\circ$.

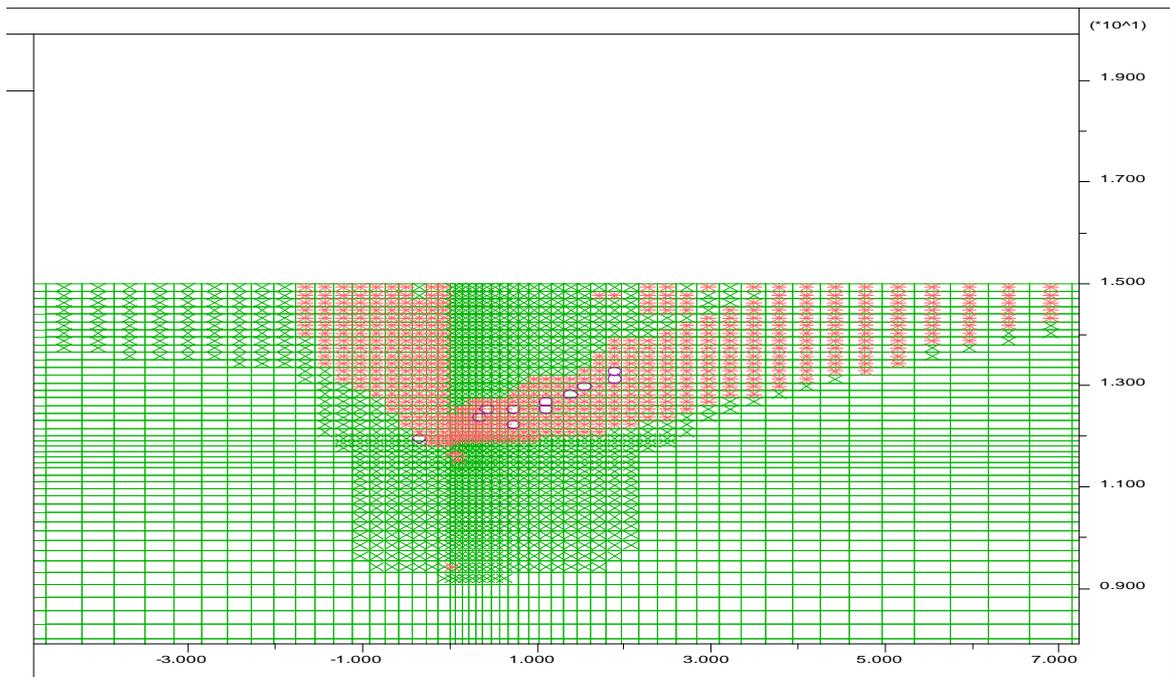


Figure 4-20c- Montre la zone plastifiée par la poussée et la butée pour le mode de translation

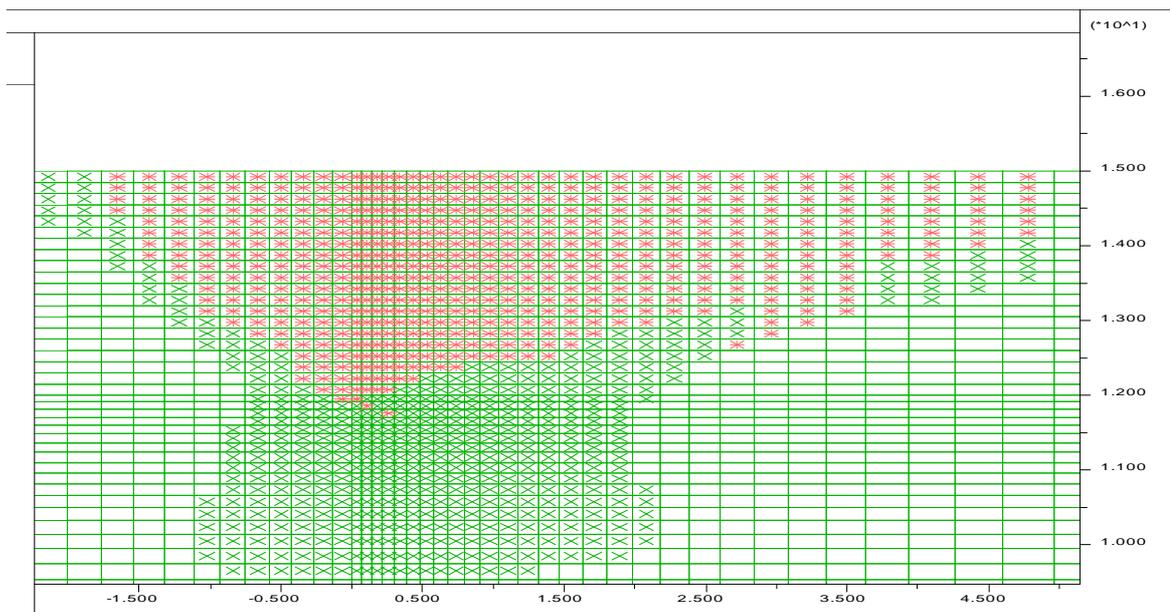


Figure 4-20b- Montre la zone plastifiée par la poussée et la butée pour le mode de rotation par rapport à la base

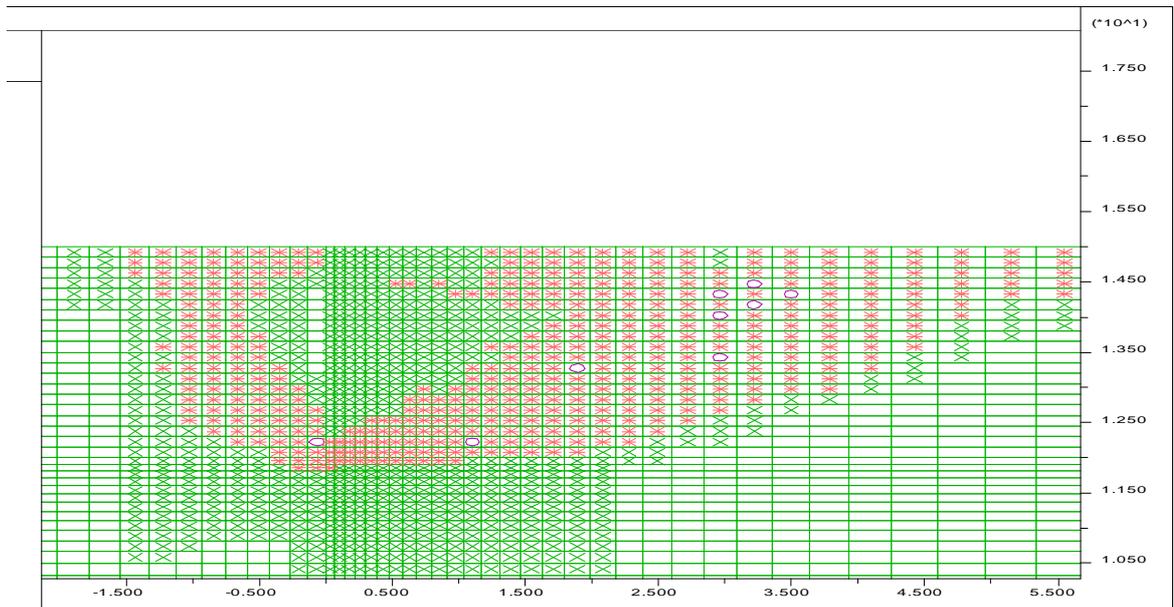


Figure 4-20c- Montre la zone plastifiée par la poussée et la butée pour le mode de rotation par rapport au sommet

4-1-5-3 discussion :

Les figures 4-19a, 4-19b et 4-19c montrent pour $\delta = 0^\circ$ avec $\varphi = \psi = 30^\circ$ la visualisation du champ de déplacement pour trois modes de mouvements (**T**, **RB**, **RS**) respectivement.

Ces figures montrent clairement les zones mobilisées par la butée et la poussée visualisées par la concentration des vecteurs de déplacements, la surface de rupture est similaire à la surface plane proposée par Rankine délimitant un prisme triangulaire.

4-1-5-4 Coefficient de poussée K_a :

L'analyse des résultats de simulation présentés dans le tableau (4-1) à (4-7) permet d'établir les interprétations suivantes :

- Le mode T (translation) possède le plus faible coefficient de pression active, ensuite vient le mode RB (rotation par rapport à la base) et RS (rotation par rapport au sommet) qui possède le plus grand coefficient de pression active.
- On peut observer que lorsque $\psi = \delta = 0$ les valeurs de coefficient actif de la terre K_a de mode de translation sont très proches aux valeurs de mode de rotation par rapport à la base de l'écran quelles que soient les valeurs de φ .
- La translation (T) et la rotation par rapport à la base (RB) qui ont presque les mêmes coefficients (l'écart ne dépasse pas 7%).
- L'égalité des coefficients des terres actifs des modes T (translation) et rotation par rapport à la base (RB) peut être justifiée par la même nature de distribution des pressions.
- La rotation par rapport au sommet (RS) possède le plus grand K_a (la différence maximale entre K_a de RS et celui de T est de l'ordre de 58% dans le cas où $\varphi = 40^\circ$, $\delta/\varphi = 0^\circ$ et $\psi = 0$).
- On observe que l'influence du mode de mouvement de translation sur l'évaluation de coefficients de pression active de terre a presque le même effet avec que le mode de mouvement de rotation par rapport à la base en cas de la variation de l'angle de frottement interne du sol φ .
- On observe que l'influence du mode de mouvement de translation sur l'évaluation de coefficients de pression active de terre a presque le même effet avec le mode de mouvement de rotation par rapport à la base en cas de la variation de l'angle de frottement de l'interface paroi-sol δ de (0° à φ) et avec $\psi = \varphi$.
- Le mode de mouvement de translation est plus critique que les deux autres modes de mouvements étudiés (RS. RB) respectivement.

4-1-5-4-1 Cas de la distribution de pression active de la terre contre l'écran:

Les figures 4-21a, 4-21b, présentent le changement de la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide et lisse $\delta = 0^\circ$ en fonction du changement du mode de mouvements (T, RB, RS) avec $\varphi = \psi = 30^\circ$ et 40° respectivement.

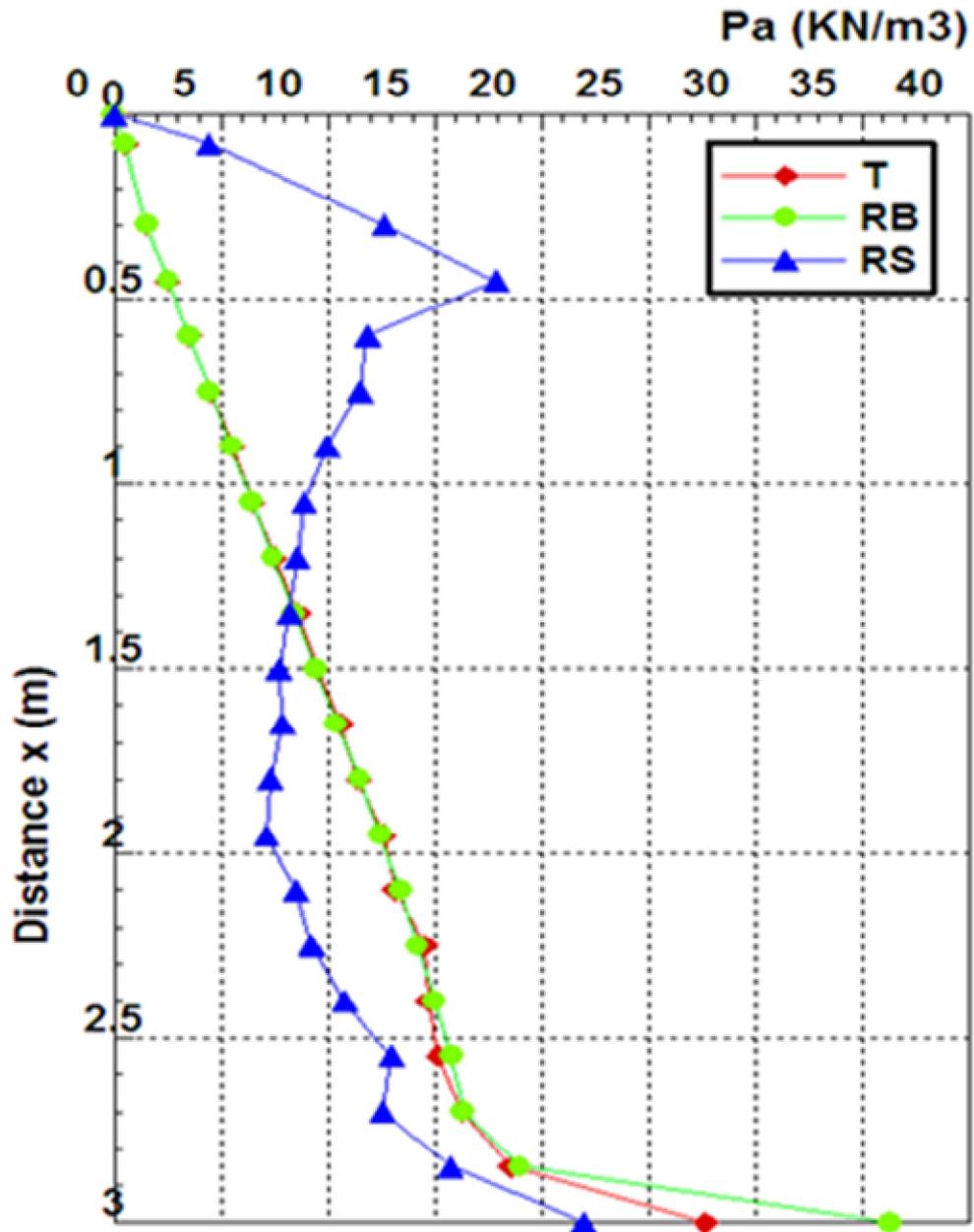


Figure 4-21a- Cas de l'écran rigide et lisse $\delta = 0$ avec $\psi = \varphi = 30^\circ$

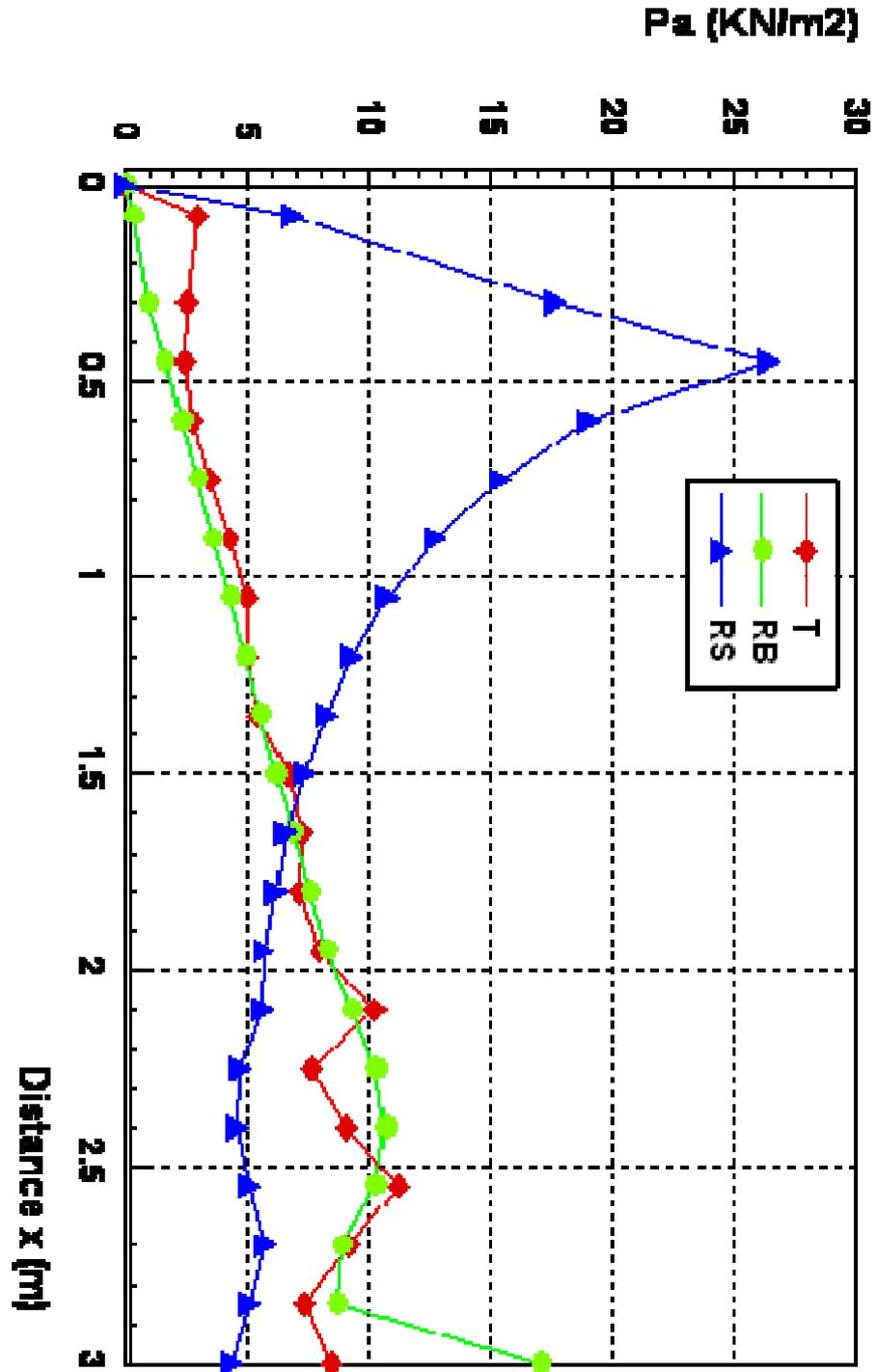


Figure 4-21b - Cas de l'écran rigide et lisse $\delta = 0$ avec $\psi = \phi = 40^\circ$

La figures 4-22, présente le changement de la distribution de pression normale active de terre le long de l'écran rigide et rugueux $\delta = \varphi = \psi = 30^\circ$ en fonction du changement du mode de mouvements (T, RB, RS).

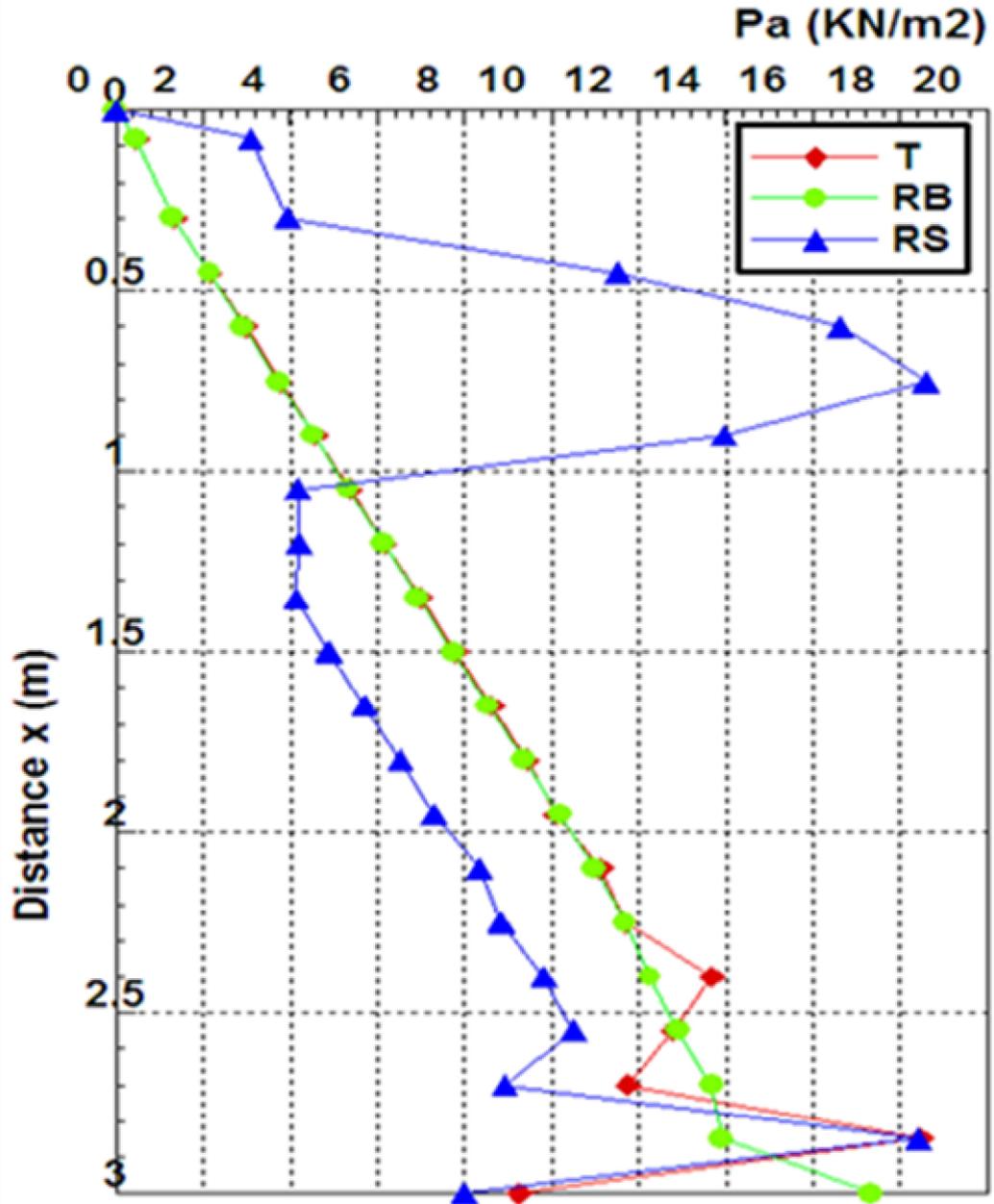


Figure 4-22- Cas de l'écran rigide et rugueux $\delta = \psi = \varphi = 30^\circ$

4-1-5-4-2 Discussions:

L'analyse comparative des résultats des diagrammes des pressions actives permet d'aboutir aux observations suivantes :

- Les diagrammes des trois modes de mouvement se croisent à moins de 50 % de la hauteur de l'écran comptée à partir du sommet.
- Au sommet de l'écran, les pressions du mode de mouvement de rotation par rapport au sommet sont importantes, par contre les pressions des modes de mouvements de translation et de rotation par rapport à la base sont presque confondues et remarquablement négligeable devant celles du mode de rotation par rapport au sommet.
- A la base, les pressions des trois modes de mouvement sont presque confondues.
- La translation et la rotation par rapport à la base ayant une même nature de la distribution de pression

4-1-4-5 Cas du coefficient de butée K_p :

L'analyse des résultats de simulation présentés dans les tableaux (4-8) à (4-14) permet d'établir les interprétations suivantes :

- On observe que l'influence du mode de mouvement de translation sur l'évaluation des coefficients de pression passive de terre a presque le même effet avec le mode de mouvement de rotation par rapport à la base soit en cas de variation de l'angle de frottement de l'interface paroi-sol δ , ou en cas de la variation de φ .
- Le mode T (translation) possède le plus grand coefficient de pression passive, ensuite vient le mode RB (rotation par rapport à la base) et RS (rotation par rapport au sommet), possède le plus faible coefficient de pression passive. avec deux exceptions.
 - 1- Lorsque $\delta = \psi = 0^\circ$ et les sols présentant un fort angle de frottement ($\varphi = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$) on constate que les coefficients de pression de terre K_p de RS sont plus grands que k_p de RB.
 - 2- Lorsque le rapport $\delta/\varphi = 1$, $\psi = 0^\circ$ et les sols présentent un fort angle de frottement ($\varphi = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$) on constate que les coefficients de pression de terre K_p de RB sont plus grands que k_p de T.
- La translation T et la rotation de base RB possèdent les mêmes coefficients de pression passive K_p avec une légère différence n'excédant pas 18%. Cette égalité peut être justifiée par la même nature de pression passive des deux modes. ou par le même déplacement du sommet d'écran.

4-1-5-5-1 Cas de la distribution de pression passive de la terre contre l'écran:

Les figures 4-23a et 4-23b, présentent le changement de la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide et lisse $\delta = 0^\circ$ en fonction du changement du modes de mouvements (T, RB, RS) avec $\varphi = \psi = 30^\circ$ et 40° respectivement.

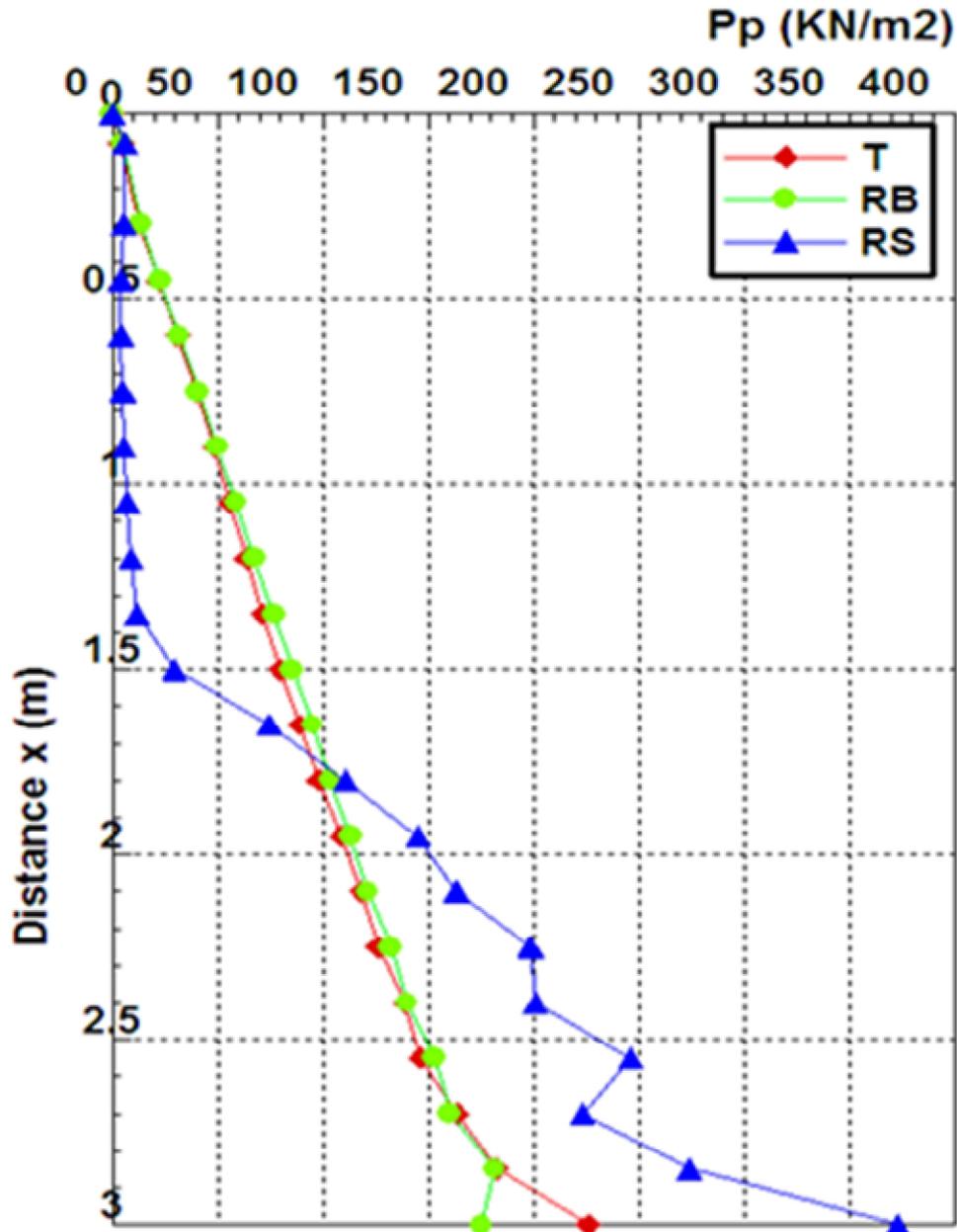


Figure 4-23a- Cas de l'écran rigide et lisse $\delta = 0^\circ$ et $\psi = \varphi = 30^\circ$

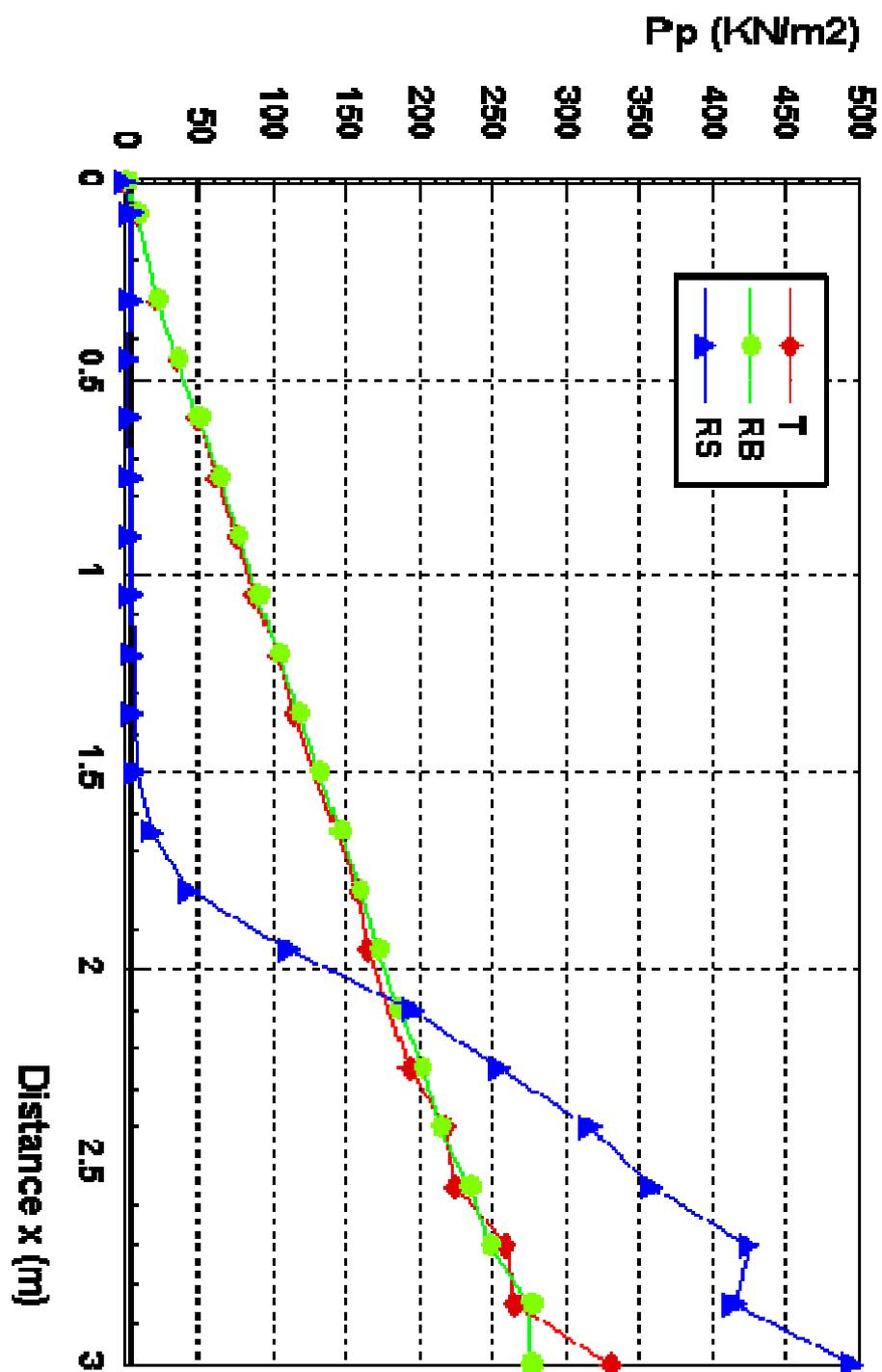


Figure 4-23b- Cas de l'écran rigide et lisse $\delta = 0^\circ$ et $\psi = \varphi = 40^\circ$

La figure 4-24, présente le changement de la distribution de pression normale passive de terre le long de l'écran rigide et rugueux $\delta = \varphi = \psi = 30^\circ$ en fonction du changement du mode de mouvements (T, RB, RS).

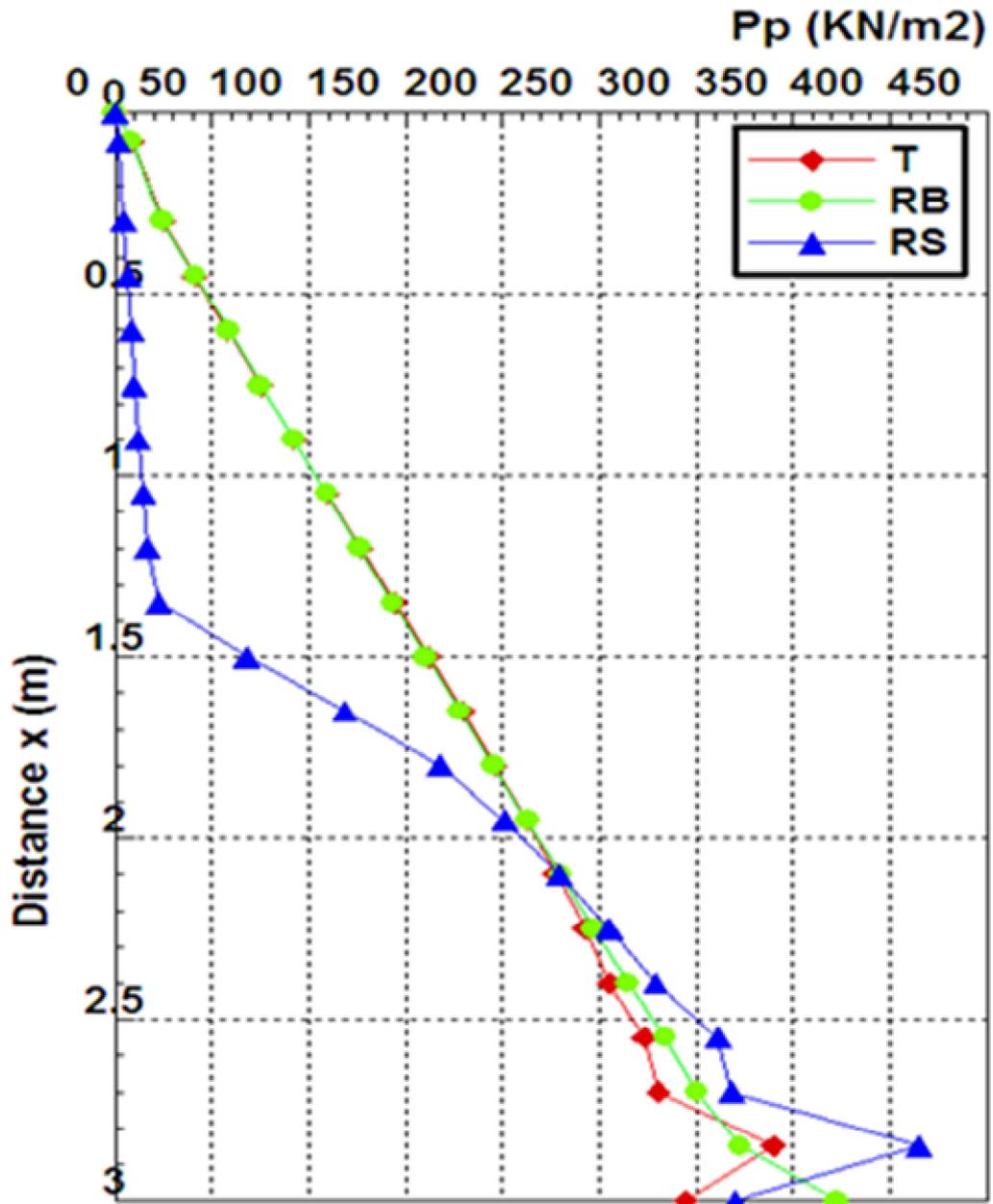


Figure 4-24a- Cas de l'écran rigide et rugueux $\delta = \psi = \varphi = 30^\circ$

4-1-4-5-2 Discussions :

L'analyse comparative des résultats des diagrammes des pressions passives permet d'établir les interprétations suivantes:

- Les diagrammes des trois modes de mouvement se croisent à plus de 50 % de la hauteur de l'écran comptée à partir du sommet.
- Au sommet de l'écran, les pressions du mode de mouvement de rotation par rapport au sommet sont très faible remarquablement négligeables devant celles des modes de mouvements de translation et de rotation par rapport à la base qui sont confondues.
- A la base, et pour un **écran parfaitement lisse $\delta = 0^\circ$** les pressions passives du mode de mouvement de rotation par rapport au sommet sont importantes, par contre les pressions des modes de mouvements de translation et de rotation par rapport à la base sont presque confondues et pour un **écran parfaitement rugueux $\delta = \varphi$** les pressions passives des trois modes sont presque confondues.
- La translation et la rotation par rapport à la base ayant une même nature de la distribution de pression