Influence de la déformation horizontale sur le bâti Rôle d'une tranchée péripérique

Marwan Al Heib, Marie Degas, M. David

▶ **To cite this version:**

Marwan Al Heib, Marie Degas, M. David. Influence de la déformation horizontale sur le bâti Rôle d'une tranchée péripérique. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur "Insertion des grands ouvrages dans leur environnement. Bulletin n°1" (JNGG'08), Jun 2008, Nantes, France. pp.159-166. ineris-00973306

HAL Id: ineris-00973306

https://ineris.hal.science/ineris-00973306

Submitted on 4 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INFLUENCE DE LA DEFORMATION HORIZONTALE SUR LE BATI – RÔLE D'UNE TRANCHEE PERIPHERIQUE

IMPACT OF HORIZONTAL STRAIN ON BUILDINGS – EFFECT OF DEVICE TRENCHE

M. Marwan AL HEIB
INERIS, Nancy, France. marwan.alheib@ineris.fr

RÉSUMÉ : L'impact de la déformation horizontale du sol sur une structure (un mur) est étudié à l'aide de la modélisation numérique, en tenant compte de l'interaction sol-structure. Pour une déformation horizontale de 12 mm/m, les contraintes horizontales sont 5 fois plus importantes que celles induites en état vierge (sous l'effet du poids propre). Une tranchée périphérique permet de réduire les déformations du sol et les contraintes horizontales de compression transmises à la structure.

ABSTRACT: The impact of the horizontal deformation of soil on a structure is studied using the model of a wall, taking into account the interaction between soil and structure. For a horizontal deformation of 12 mm/m, horizontal stresses are 5 times greater than those induced in the virgin case. A device trench can reduce soil strain and horizontal stresses transmitted to the structure.

1. Introduction

Certains mouvements de terrains peuvent avoir différentes origines : effondrements naturels ou anthropiques des cavités souterraines, extraction de minerai, pompage de l'eau, exploitation de gaz et de hydrocarbure, etc. Ces mouvements peuvent dépasser certains seuils caractérisant le comportement limite des structures et être à l'origine de dégradations, voire de la destruction de bâti et d'infrastructures et donc limiter des développements économiques et sociaux.

Une cuvette d'affaissement se décompose en un mouvement vertical (V) du sol, appelé **affaissement** (A), et des **mouvements** horizontaux (U, W). Les effets en surface se font sentir en dehors de l'aplomb des vides souterrains (figure 1). La cuvette d'affaissement peut également être caractérisée en chaque point par la pente, la courbure et les déformations horizontales (en compression et en extension). La déformation horizontale du terrain à l'origine des dommages, se transmet aux ouvrages selon deux modes : une poussée du terrain (zone de compression) ou un relâchement (zone d'extension) et un frottement le long de l'interface entre la structure et les terrains. Le frottement induit se traduit par des contraintes transmises à la structure, à l'origine des dommages. Le niveau des dommages dépend des caractéristiques du sol et des caractéristiques géométriques et géomécaniques de la structure (Geddes et Kennedy, 1984). Pour une déformation horizontale inférieure à 0,5 mm/m, les dommages sont négligeables. En revanche pour une déformation supérieure à 3 mm/m, les dommages sont structurels (figure 2). Nous consacrons la suite de l'article au transfert des déformations horizontales aux structures (mur), en négligeant les mouvements verticaux dus à l'affaissement.

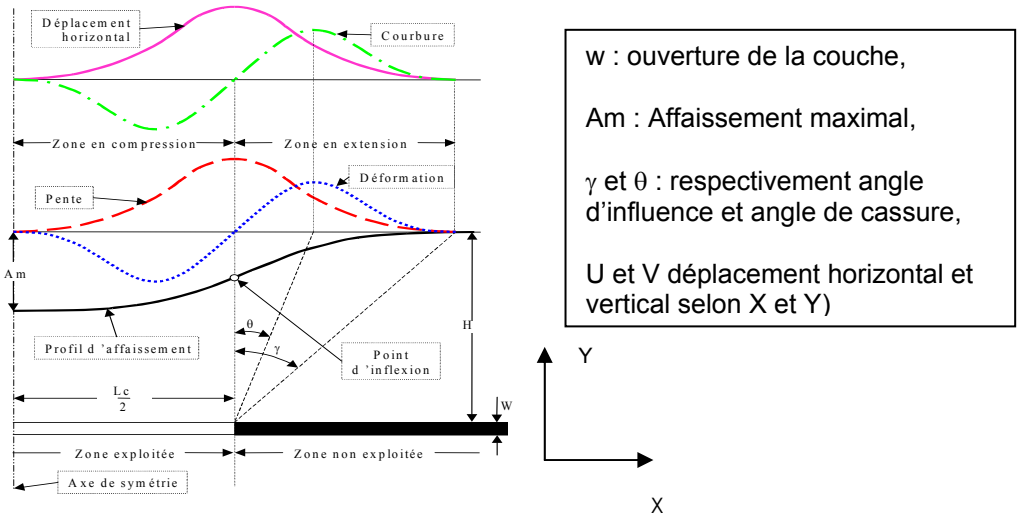


Figure 1. Paramètres de la cuvette d'affaissement

2. Méthodes de réduction de la vulnérabilité des structures

Plusieurs techniques sont proposées pour réduire la vulnérabilité des ouvrages : fondations profondes, utilisation de géotextile, etc. Certaines techniques ont pour objectif d'augmenter la résistance de la structure grâce à des câbles ou à des chaînages, d'autres ont pour rôle de désolidariser les structures du sol (joints horizontaux, par exemple). Une de ces techniques, la tranchée, permet la réduction des conséquences de la déformation horizontale du sol grâce à sa propre déformation.

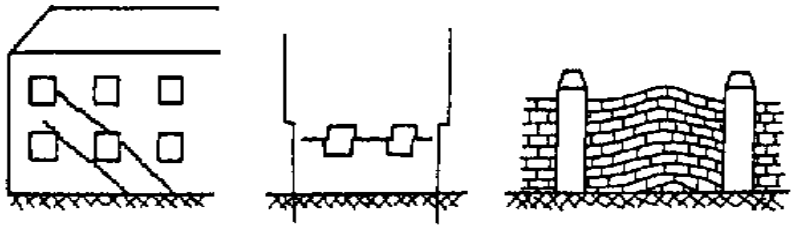


Figure 2. Conséquence de la déformation horizontale (d'après Kratzch, 1983)

Ce type de tranchée est différent d'une tranchée drainante utilisée pour abaisser le niveau d'eau. Les tranchées sont réalisées autour des structures et remplies d'un matériau compressible afin d'absorber la déformation de compression du terrain et de diminuer ainsi la sollicitation dans la structure (figure 4). Cette technique peut être appliquée aux bâtis existants et futurs. Beaucoup d'auteurs (NCB (1975), Kratzsch (1983), Whittaker et Reddish (1989), Peng et *al*. 1996, CSTB, 2004) proposent cette technique. Chacun recommande des dimensions et remplissage différents, à réaliser à une distance comprise entre 0,4 et 1,5 m des murs (figure 3). Sa profondeur dépasse légèrement la base des fondations ou du sous-sol. Peu d'expériences sont citées dans la littérature, Ji-Xian (1980) a étudié deux tranchées réalisées autour d'un pont en maçonnerie. Dans cet exemple, les déformations induites par le sol sont égales à 86 mm/m et 160 mm/m. Les déformations imposées au pont ont été réduites, elles ne sont alors que de 0,4 mm/m. Peng et *al*. (1996) ont également étudié l'efficacité d'une tranchée de 60 cm de large, réalisée à 60 cm au-dessous du sous-

sol et à 1 m des murs. Les mouvements ont été contrôlés le long de la maison et de la tranchée. La réduction des déformations fut de l'ordre de 30% de la déformation horizontale du sol.

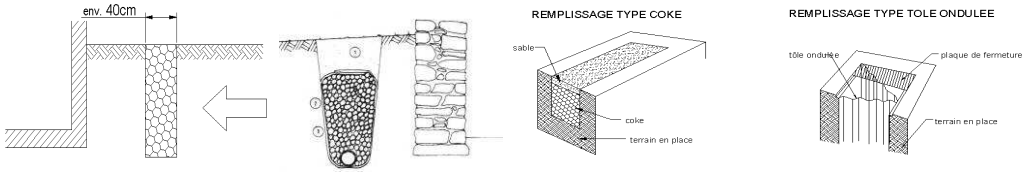


Figure 3. Présentation de la méthode de la tranchée (CSTB, 2004)

3. Comportement d'un mur sous la sollicitation d'une déformation horizontale et rôle de la tranchée

L'objectif est de préciser le transfert des déformations horizontales aux ouvrages et d'étudier le rôle d'une tranchée réalisée autour d'une structure. Un modèle en 2D est réalisé, de 50 m de large et 10 m de long, par la méthode des éléments distincts. Les dimensions du modèle correspondent à une longueur de 50 m et une hauteur de 15 m (figure 4). Deux configurations simplifiées ont été étudiées : un mur continu posé directement sur le sol et un mur s'appuyant sur deux fondations isolées. La tranchée de 50 cm de large et 1 m de profondeur est placée à 1 m du mur.

Tableau II : Caractéristiques utilisées pour la réalisation du modèle (UDEC)

	γ kN/m^3	E (MPa)	ν	C (MPa)	ϕ (°)	ψ (°)	Rt (MPa)
Sol	18	100	0,3	0,1	30	30	0,1
Mur en béton	25	10000	0,3	6	60	60	3
Interface Sol/mur	Kn (MPa/m)	Ks (MPa/m)					
	980	375		1	40		

γ : Poids volumique ; E : Module de Young ; ν : coefficient de Poisson, c : cohésion, φ angle de frottement, ψ angle de dilatance, Rt résistance à la traction, Kn raideur normale et Ks raideur tangentielle

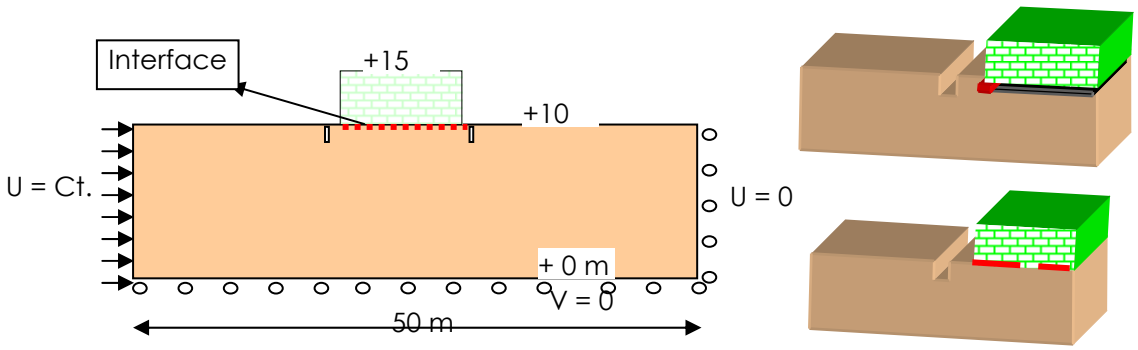


Figure 4. Dimensions du modèle et conditions aux limites

Le mur est un matériau élastique et isotrope. La structure et le sol sont séparés par une interface caractérisée par une cohésion, un angle de frottement et une résistance à la traction. Le sol et l'interface ont un comportement élasto-plastique parfait ayant un critère de type Mohr-Coulomb (tableau II). La déformation horizontale

(maxi) du sol est calculée par la relation suivante : $\varepsilon = D / L$ avec : D : déplacement imposé sur la limite gauche du modèle et L : longueur du modèle.

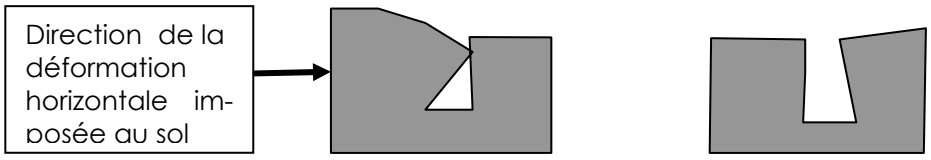
3.1. Modélisation d'un mur en contact continu avec le sol

Les comportements du sol, du mur, de l'interface et des deux tranchées sont observés pour les trois valeurs de déformations imposées en limite gauche du modèle (1, 6 et 12 mm/m). Le tableau III présente les principaux paramètres caractérisant la plastification du sol (2), son soulèvement[1] (3), l'amplitude du déplacement de cisaillement (4) le long de l'interface sol-structure correspondant à la déformation du sol transmise via l'interface (avec et sans tranchée) et la longueur de la partie concernée, la fermeture (5) de la tranchée gauche (côté sollicitation) et le déplacement vertical (soulèvement) du mur (6). La tranchée atténue significativement le déplacement de cisaillement dans l'interface sol-structure et donc les contraintes transmises au mur.

Tableau III : Comportement du sol, de l'interface et de la tranchée
1 : déformation imposée au modèle ; 2 : plastification du sol ; 3 : amplitude de soulèvement du sol, 4 : amplitude du déplacement de cisaillement sur une longueur de l'interface, 5 : fermeture de la tranchée, 6 : soulèvement vertical du mur

1	2	3	4 : AT	4 : ST	5	6
1 mm/m	non	non	0,5 mm / 5 m	1,2 mm / 2,5 m	5 mm	5 mm
6 mm/m	oui	25 mm	1,65 mm / 6 m	4,25 mm / 1,5 m	102 mm	25 mm
12 mm/m	oui	450 mm	3,8 mm / 2 m	16 mm / 3 m	500 mm	250 mm

La figure 5 présente la déformation de deux tranchées (gauche et droite). La tranchée droite est également sollicitée. Au-delà de 12 mm/m, la tranchée gauche est complètement fermée et ne joue plus son rôle de réducteur de la vulnérabilité.



Tranchée gauche Tranchée droite

Figure 5. Fermeture de la tranchée par une déformation horizontale de 12 mm/m

Nous avons analysé les déformations horizontales induites au niveau du sol et de la structure (mur). La figure 6 présente les déformations horizontales induites dans le sol (au-dessous du mur) et dans le mur pour les trois valeurs de déformations imposées (en présence ou non de la tranchée). On note que les déformations horizontales sous le mur sont inférieures à celles imposées au sol, en limite gauche du modèle (2,5 mm/m par rapport à 12 mm/m). Les déformations transmises au mur sont faibles, à cause de la rigidité élevée du mur. La tranchée réduit les déformations ho-

[1] Effet uniquement du à l'influence de la déformation horizontale imposée au sol sans tenir compte du déplacement vertical dû à l'affaissement.

rizontales dans le sol sous le mur, d'environ 40% sauf dans le cas de déformation imposée de 12 mm/m (probablement à cause de la fermeture de la tranchée gauche).

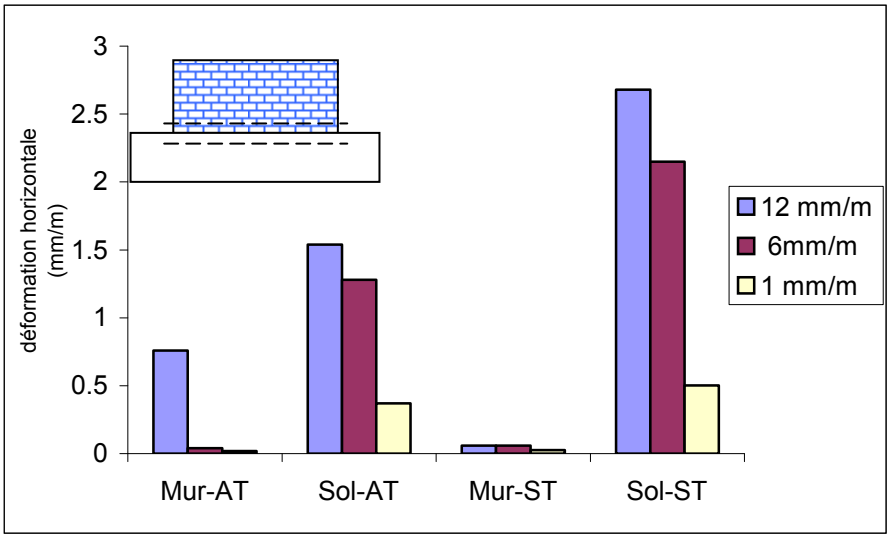


Figure 6. Déformation horizontale du sol et du mur avec (AT) et sans tranchée (ST) le long d'un profil horizontal

Les contraintes horizontales le long du profil vertical sont parfaitement symétriques, à l'état vierge, par rapport à la fibre neutre du mur (figure 7). Le mur se comporte ainsi comme une poutre mince sur un sol déformable. L'application d'une déformation horizontale de 12 mm/m se traduit par une contrainte de compression de 1200 kPa en limite gauche du modèle, qui induit une contrainte de compression maximale calculée à la base du mur de 600 kPa (environ 5 fois plus importante que, sous l'influence du seul poids propre du mur). La figure 7 montre que la tranchée réduit de 25% les contraintes horizontales de compression dans la partie inférieure du mur, en limitant la transmission de la déformation du sol vers le mur.

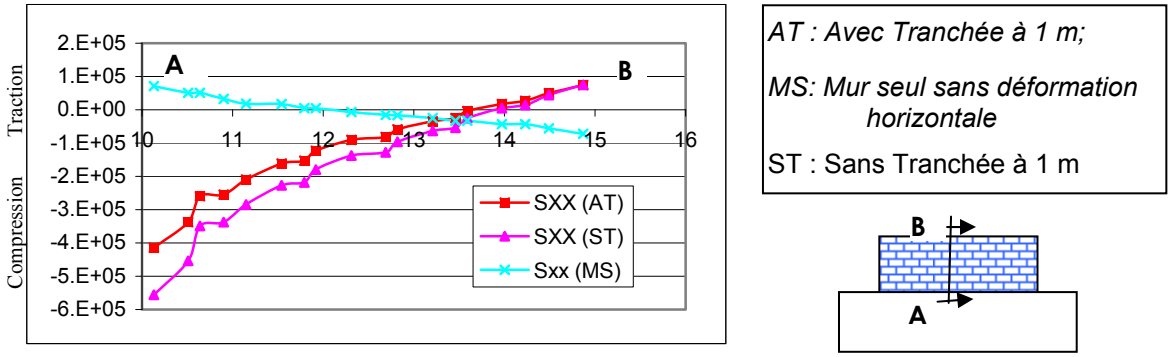


Figure 7. Evolution de la contrainte horizontale (Pa) le long d'un profil vertical au milieu du mur

Nous avons réalisé un calcul avec une tranchée placée à 50 cm au lieu de 1 m du mur. Le calcul a été réalisé avec une déformation horizontale imposée en limite gauche du modèle de 12 mm/m. On note que le sol est plastifié sur une zone plus importante que celle obtenue avec une tranchée à 1 m de la limite du mur. Le déplacement de cisaillement le long de l'interface sol-structure est plus important : 2,45 mm

au lieu de 1,65 mm. Ce déplacement est à l'origine d'un transfert plus important des contraintes vers la structure. L'atténuation des contraintes horizontales et verticales est ainsi moins importante. Kratzsch, (1983) et Peng et *al*. (1996) recommandaient déjà de placer la tranchée à plus de 1 m de la structure après avoir montré qu'une tranchée à 50 cm de la structure était moins efficace.

3. 2. Modélisation d'un mur sur deux appuis

Cette modélisation simplifiée s'appuie sur l'hypothèse qu'un voile vertical sur semelles filantes peut-être assimilé, en 2D, au modèle retenu ici. Nous avons donc considéré un mur sur deux fondations isolées de 1 m de large et de 50 cm d'épaisseur (figure 8). Les conditions aux limites, ainsi que les sollicitations sont identiques au modèle précédent. Les tranchées sont situées à 1 m du mur. L'interface sol-structure ne concerne que la longueur des deux fondations. L'analyse de la distribution des contraintes montre que le mur se comporte, sous l'influence de son poids propre, comme une poutre sur deux appuis simples en flexion. La concentration de contraintes verticales de compression est localisée aux appuis (fondations, figure 8) et celles de traction dans la partie inférieure du mur. Les contraintes induites dans ce cas sont plus importantes (compression et traction) que celles induites dans un mur continûment en contact avec le sol.

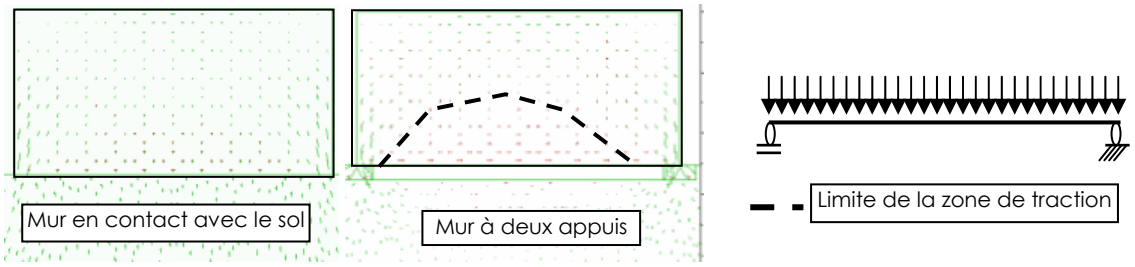


Figure 8. Contraintes principales dans le mur pour les deux configurations : un mur sur deux appuis et un mur en contact continu avec le sol (poids propre)

La figure 9-a compare les deux profils verticaux au milieu du mur, pour un mur en contact avec le sol et un mur sur deux fondations isolées. Les contraintes horizontales de traction apparaissent à la base du mur et celles de compression dans la partie supérieure. La valeur de la contrainte de traction est de 323 kPa, valeur similaire à celle obtenue dans le cas d'une poutre simple sur deux appuis soumise à un chargement uniformément réparti. L'absence de contact entre le sol et le mur, excepté les fondations, favorise un comportement en flexion du mur.
Sous la sollicitation d'une déformation horizontale en limite de modèle de 12 mm/m, les déformations horizontales du sol sous les fondations sont plus importantes pour un mur sur deux appuis que pour un mur continu, respectivement 3,35 et 2,68 mm/m (cas sans tranchée). Il en est de même pour les déformations horizontales du mur, qui restent cependant très faibles. La figure 9-b, présente les contraintes horizontales le long d'un profil vertical. En présence de la tranchée, la distribution des contraintes redevient très comparable à la situation d'un mur sous son poids propre. La tranchée aura permis de réduire l'impact des déformations horizontales sur la structure en filtrant fortement les effets induits (déformations verticales dues uniquement à la sollicitation horizontale via le coefficient de poisson). C'est ce phé-

nomène qui explique les comportements opposés de tractions/compressions sur la figure 9b.

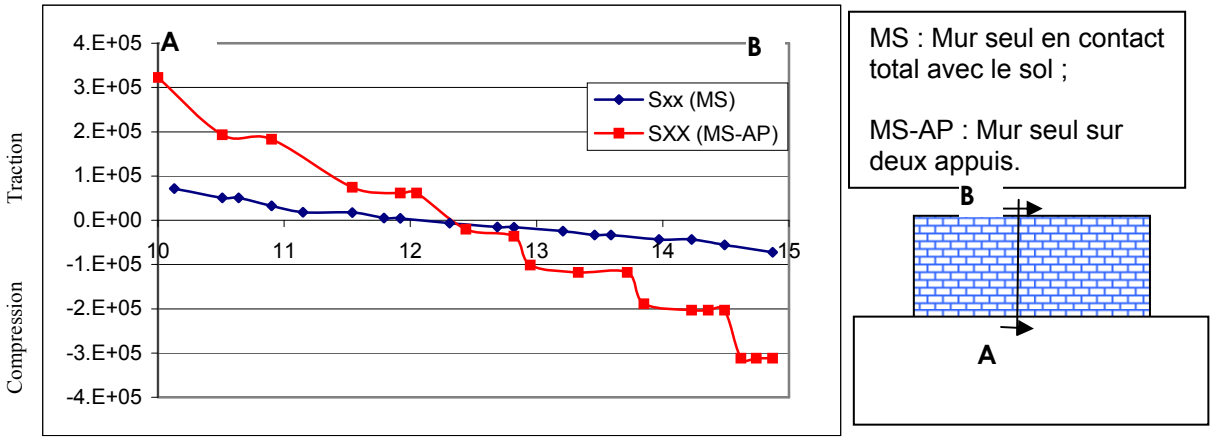


Figure 9-a. Evolution des contraintes horizontales (Pa) dues au chargement d'un mur seul sous uniquement son propre poids le long d'un profil vertical

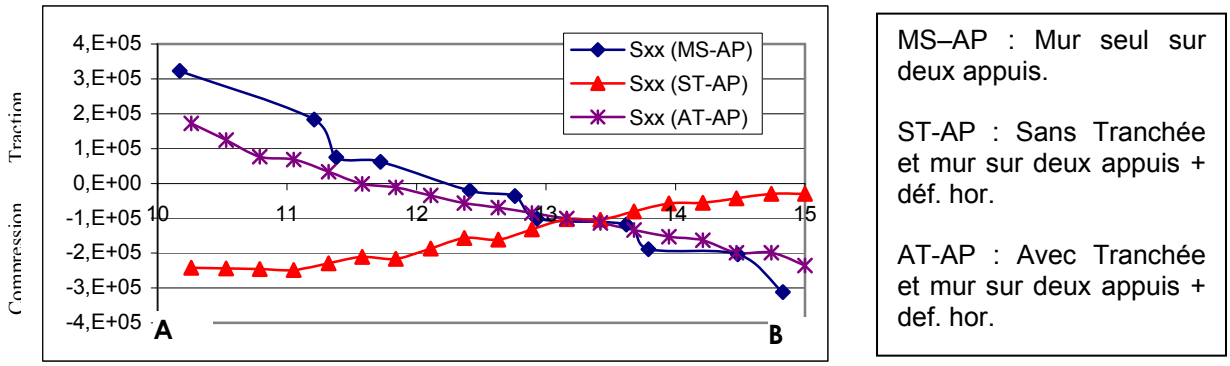


Figure 9-b. Evolution des contraintes horizontales (Pa) pour un mur sur deux appuis le long d'un profil vertical

La figure 10 compare le comportement de la fondation en présence ou absence de la tranchée, sous la sollicitation d'une déformation horizontale maxi de 12 mm/m. On note l'ouverture entre les fondations et le sol (3) due aux déformations du sol et à la rigidité des fondations. Le déplacement de cisaillement (4) se localise essentiellement à l'interface sol-fondation en présence de la tranchée et à l'interface fondation-mur sans la tranchée. Un soulèvement du sol (2) côté gauche de 25 cm est visible. La tranchée permet ainsi de diminuer les contraintes de compression dans la fondation. En revanche, elle contribue à augmenter la contrainte de traction ((figure 10). Cette augmentation est due au degré de liberté introduit par la fermeture de la tranchée. Les fondations, disposant ainsi d'un degré de liberté supplémentaire, peuvent se déplacer vers le vide créé par la tranchée. Cette analyse n'est acceptable que si l'on considère l'hypothèse que le mouvement imposé du sol se limite à la déformation horizontale sans tenir compte de la composante verticale propre à l'affaissement.

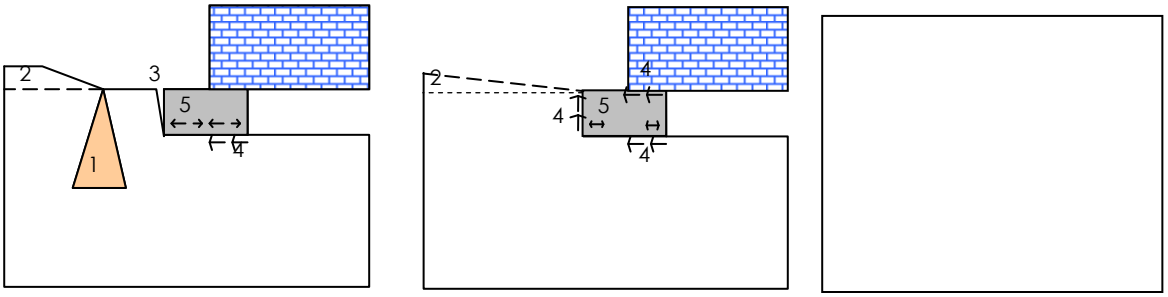


Figure 10. Comportement de zones de fondations en présence ou non de la tranchée

4. Conclusion

L'étude réalisée, en ne considérant que la composante horizontale du mouvement imputable aux phénomènes d'affaissement de sol permet de découpler le mécanisme généralement abordé sous l'angle « vertical ». Elle met en lumière la contribution positive de la technique de la tranchée périphérique qui a pour effet principal de limiter la transmission de la déformation horizontale du sol vers la structure (deux cas étudiés : mur sur appui continu et sur deux appuis). Sur la base de cette hypothèse restrictive, la tranchée semble également permettre de limiter les contraintes dans la structure pour peu qu'elle soit située à une distance d'au moins 1 mètre de la structure.

5. Références

CSTB (2004) : Etude des conditions de constructibilité dans le bassin sidérurgique et ferrifère nord-lorrain du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) - juin 2004

Geddes J. D., Kennedy D. (1984). Structural implications of horizontal ground strains. Ground movement and their effects on structures, Proc. Of the 3rd Int. Conf., Cardiff, 610-629.

Ji-Xian C. (1992). Study of deformation resistant structural systems for buildings in coal mining areas. Proc. of the 4th int. conf. on ground movement and structures. Pentech press (Londres), pp. 356-369.

Kratzsch (1983). Mining Subsidence Engineering, Springer-Verlag.

Whittaker, Reddish (1989).- Subsidences : Occurrence, Prediction, Control. Editions Elsevier.

Peng S.S., Luo Y., Dutta (1996). D. An Engineering Approach to Ground Surface Subsidence Damage Due to Long-wall Mining, pp. 227-231.