

K-Réa v6

C. Notice technique

Assistant tassements

Table des matières

C.1	Notations	2
C.2	Cadre théorique et méthodes proposées dans la littérature	3
C.2.1	Cuvettes de tassement à l'arrière des soutènements	3
C.2.2	Méthodes proposées dans la littérature	3
C.2.2.1	Méthode de Bowles	3
C.2.2.2	Méthode de Clough & O'Rourke	4
C.2.2.3	Méthode de Hamza	5
C.2.2.4	Méthode de Ou et al.	5
C.2.2.5	Méthode de Zhang	6

Table des figures

C 1	Notations retenues dans l'assistant tassement de K-Réa.	2
C 2	Types de cuvettes de tassement, d'après [4].	3
C 3	Profils de tassement adimensionnés recommandés par [2].	4

Liste des tableaux

C 1	Points de tassement remarquables pour la méthode d'Hamza appliquée aux écrans appuyés en tête.	5
C 2	Points de tassement remarquables pour la méthode de Ou et al. appliquée aux écrans en console.	5
C 3	Points de tassement remarquables pour la méthode de Ou et al. appliquée aux écrans appuyés en tête.	6

C.1 Notations

Pour l'ensemble du document, les notations retenues pour les paramètres d'entrée sont présentées en Figure C 1. On note par ailleurs x (m) la distance comptée à partir de l'écran.

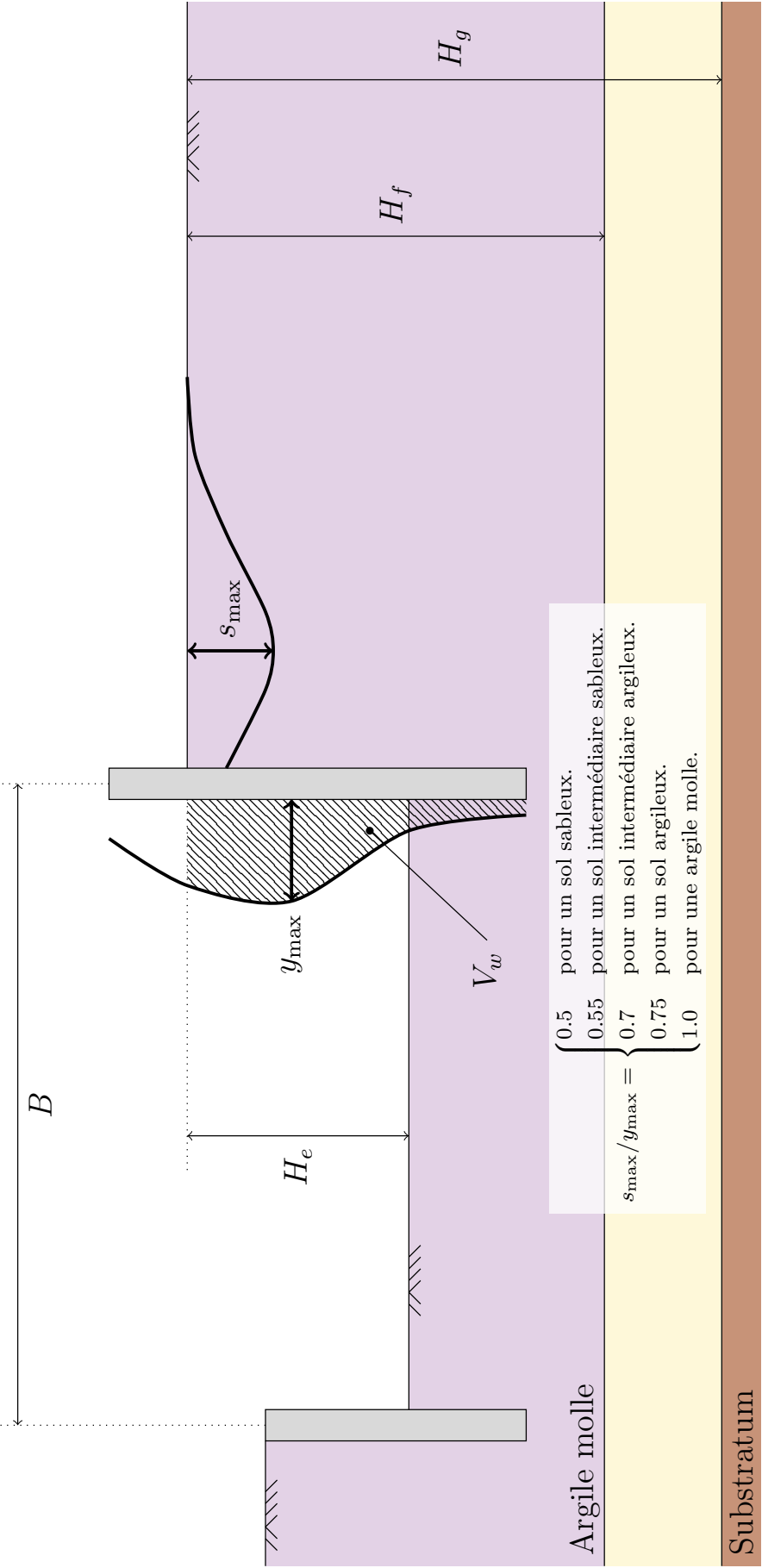


FIGURE C 1 – Notations retenues dans l'assistant tassement de K-Réa.

C.2 Cadre théorique et méthodes proposées dans la littérature

C.2.1 Cuvettes de tassement à l'arrière des soutènements

Deux familles de cuvettes sont généralement décrites dans la littérature :

- ★ Tassements maximaux contre la paroi (*spandrel*). Ces cuvettes correspondent généralement aux cas d'écrans autostables, ou dont le premier appui est relativement éloigné du niveau supérieur de l'écran.
- ★ Tassements maximaux plus à l'arrière de la paroi (*concave*). Ces cuvettes correspondent généralement aux cas d'écrans appuyés en tête.

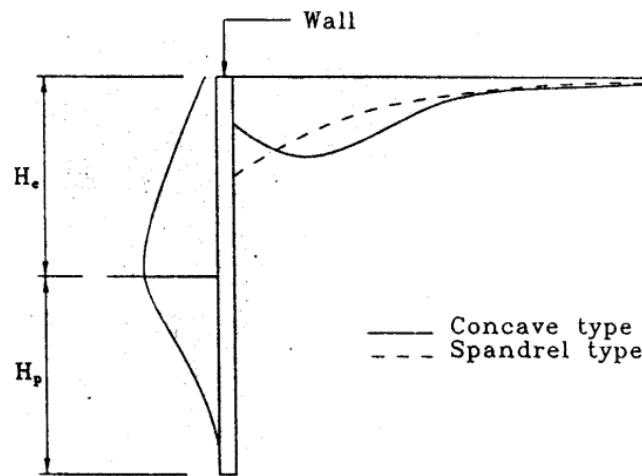


FIGURE C 2 – Types de cuvettes de tassement, d'après [4].

Les différentes méthodes proposées dans la littérature font différentes hypothèses quant au type de cuvette.

C.2.2 Méthodes proposées dans la littérature

Dans K-Réa, cinq méthodes différentes sont proposées, et sont décrites ci-après.

C.2.2.1 Méthode de Bowles

La méthode de Bowles [1] est associée à un profil type « spandrel », et prend la forme suivante :

1. Calcul de la hauteur excavée H_e .
2. Calcul d'une distance H_d représentant l'influence sous le fond de fouille.

$$H_d = \begin{cases} B & \text{si } \phi = 0. \\ 0.5B \tan(\pi/4 + \phi/2) & \text{si } \phi \neq 0. \end{cases} \quad (\text{C.1})$$

3. Calcul de la largeur de la zone de tassements.

$$D = (H_e + H_d) \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \quad (\text{C.2})$$

4. Calcul du tassement maximal $s_{\max}$ (au contact avec la paroi).

$$s_{\max} = \frac{2V_s}{D} \quad (\text{C.3})$$

Il est important de noter que ce facteur 2 est *a priori* associé à une intégration du V_w sur toute la hauteur du mur. Celui-ci est présenté dans la cinquième édition de l'ouvrage de Bowles [1]. Dans les éditions antérieures, une valeur de 4 était plutôt retenue, *a priori* en ne considérant que la portion du mur située au-dessus du fond de fouille et en retenant une valeur nulle pour les déplacements au niveau du fond de fouille. Par ailleurs, Hsieh et Ou [4] remarquent que l'emploi d'un facteur 3 conduit à évaluer le volume de la cuvette de tassement au volume perdu par déflexion du mur (profil parabolique), ce qui peut être représentatif de terrains incompressibles (argiles molles non drainées). **Il est proposé dans K-Réa de conserver une valeur égale à 2 par défaut, et de permettre à l'utilisateur de la modifier (paramètre C).**

5. Calcul du profil parabolique de tassement à l'arrière.

$$s(x) = s_{\max} \left(1 - \frac{x}{D}\right)^2 \quad (\text{C.4})$$

C.2.2.2 Méthode de Clough & O'Rourke

La méthode de Clough & O'Rourke [2] est associée à la définition d'une enveloppe de tassement, fonction du tassement maximal et du type de sol. Il a été choisi dans K-Réa de coupler cette approche au tassement maximal calculé par méthode de Bowles. Les profils de tassement par type de sol sont présentés en Figure C 3. Sur cette figure, H est la hauteur d'excavation H_e .

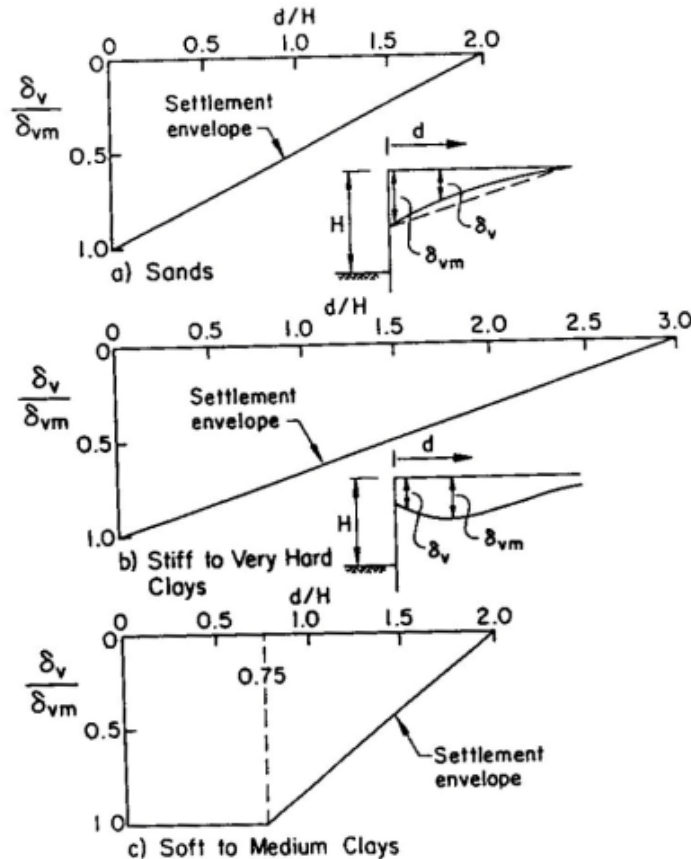


FIGURE C 3 – Profils de tassement adimensionnés recommandés par [2].

C.2.2.3 Méthode de Hamza

Hamza [3] présente, à partir des résultats rassemblés lors de la première ligne de métro du Caire, deux types de courbes de tassement différentes selon que l'écran est libre en tête (« S-curve ») ou appuyé (« Truncated Error Function Curve », une gaussienne tronquée). Seule la seconde méthode est implémentée, car c'est la plus utilisée en pratique.

La méthode consiste à évaluer les tassements comme suit :

1. Calcul du tassement maximal $s_{\max} = y_{\max}/1.4$, et du volume de tassement $V_s = 0.75 \cdot V_w$.
2. Calcul de la distance i du point de tassement maximum au point d'inflexion de la cuvette, par la relation $V_s = 2.109 \cdot i \cdot s_{\max}$.
3. Calcul de la largeur de la cuvette, comptée depuis la paroi, par la relation $x_{\max} = 3.507 \cdot i$.
4. Calcul du tassement en divers points remarquables :

x	0	i	$2i$	$x_{\max}$
s	$0.606 \cdot s_{\max}$	$s_{\max}$	$0.606 \cdot s_{\max}$	0

TABLE C 1 – Points de tassement remarquables pour la méthode d'Hamza appliquée aux écrans appuyés en tête.

5. Il est choisi de tracer le profil à partir d'une interpolation polynomiale de degré 5, en ajoutant aux conditions en tassement énumérées dans la Table C 1 une condition de pente nulle en $x = i$ et en $x = x_{\max}$. Il s'agit alors simplement de résoudre un système linéaire à six équations et six inconnues. Cette interpolation est préférée au profil gaussien car elle permet d'annuler effectivement le tassement au niveau du point $x = x_{\max}$, tout en conservant les principales caractéristiques.

C.2.2.4 Méthode de Ou et al.

Entre la fin du XX^e siècle et les années 2010, Ou et Hsieh ont développé et raffiné une méthode de calcul des enveloppes de tassement pour les types « spandrel » et « concave ». La référence [5] a servi de base pour l'implémentation de la méthode dans K-Réa.

1. Calcul du tassement maximal à partir du rapport $s_{\max}/y_{\max}$ entré par l'utilisateur.
2. Calcul de l'étendue de la zone d'influence primaire (*Primary Influence Zone* PIZ) via :

$$\text{PIZ} = \max[\min(H_f, B), \min(2H_e, H_g)] \quad (\text{C.5})$$

3. Cette étape dépend du type d'appui pour l'écran.

Si l'écran est « en console », les points remarquables de la cuvette de tassement sont :

x	0	PIZ	2PIZ
s	$s_{\max}$	$s_{\max}/6$	0

TABLE C 2 – Points de tassement remarquables pour la méthode de Ou et al. appliquée aux écrans en console.

Si l'écran est « appuyé en tête », les points remarquables de la cuvette de tassement sont :

x	0	PIZ/3	PIZ	2PIZ
s	$s_{\max}/2$	$s_{\max}$	$s_{\max}/6$	0

TABLE C 3 – Points de tassement remarquables pour la méthode de Ou et al. appliquée aux écrans appuyés en tête.

A titre indicatif, le choix de l'un ou l'autre des profils peut être justifié à partir de la déformée de l'écran d'après [4]. En posant $A_c(P_n) = (z_{\text{TN}} - z_{\text{base}}) \cdot [y(z_{\text{TN}}) + y(z_{\text{base}})]/2$ l'aire du déplacement « console » équivalente en phase P_n et $A_s = V_w - A_c$, le critère suivant est proposé par les auteurs :

$$\begin{cases} \text{Le type de cuvette en phase } n \text{ est « spandrel » si} & A_s(P_n) < 1.6 \max[A_c(P_1), A_c(P_n)] \\ \text{Le type de cuvette en phase } n \text{ est « concave » si} & A_s(P_n) \geq 1.6 \max[A_c(P_1), A_c(P_n)] \end{cases} \quad (\text{C.6})$$

L'aire $A_c(P_1)$, correspondant au cas non soutenu initial, peut être évaluée directement à partir de V_w : l'approximation trapézoïdale n'est à employer que pour les phases pour lesquelles un appui est modélisé.

Ces relations ne sont cependant valables que pour des profils de déplacement de paroi très typiques (concaves), ce qui n'est pas toujours le cas (e.g. en cas de gradient hydraulique en pied). Il est donc choisi de proposer une valeur par défaut pour ce champ uniquement sur la base des conditions d'appui entrées dans K-Réa, et non sur la base du critère précédemment développé. L'utilisateur reste libre de l'appliquer.

C.2.2.5 Méthode de Zhang

La méthode de Zhang est implémentée à partir de la référence [6]. Elle permet de tenir compte explicitement du type de bâti rencontré en surface, dans l'optique d'évaluer directement l'impact de l'excavation sur les environnants. Le profil proposé est de type « concave », caractéristique des fouilles soutenues en tête, fréquentes en milieu urbain.

De manière classique, le tassement maximal du terrain est évalué à l'aide d'une relation du type $s_{\max} = k \cdot y_{\max}$ avec k usuellement compris entre 0.30 et 0.90. Le profil de tassement du terrain est alors obtenu par la relation :

$$s(x) = s_{\max} \times \frac{x/H_e + 0.75}{0.9} \exp \left[-\frac{(x/H_e + 0.75)^2}{4.5} \right] \quad (\text{C.7})$$

Dans le cas de pipelines, les auteurs proposent de retenir un facteur réducteur de 0.5 sur la formule précédente des tassements du terrain, en raison de la rigidité intrinsèque de la structure :

$$s(x) = 0.5 s_{\max} \times \frac{x/H_e + 0.75}{0.9} \exp \left[-\frac{(x/H_e + 0.75)^2}{4.5} \right] \quad (\text{C.8})$$

Pour les bâtiments, la forme est légèrement différente, s'écrivant :

$$s(x) = s_{\text{bâtiment},\max} \times \frac{x/H_e + 0.7}{1} \exp \left[-\frac{(x/H_e + 0.7)^2}{5.4} \right] \quad (\text{C.9})$$

$$\text{Avec } s_{\text{bâtiment,max}} = \begin{cases} s_{\text{max}} & \text{pour un bâtiment sur fondations superficielles ;} \\ 0.6 \times s_{\text{max}} & \text{pour un bâtiment sur fondations profondes.} \end{cases}$$

Références

- [1] BOWLES (1997). *Foundation Analysis and Design*, Fifth Edition.
- [2] CLOUGH, G. W., O'ROURKE, T., D. (1990). *Construction Induced Movements of In Situ Walls*, Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures.
- [3] HAMZA, M., ATA, A., ROUSSIN, A. (1999). *Ground Movements Due to the Construction of Cut-and-Cover Structures and Slurry Shield Tunnel of the Cairo Metro*, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 14, no. 3.
- [4] HSIEH, P.-G., OU, C.-Y. (1998). *Shape of ground surface settlements profiles caused by excavation*, Can. Geotech. J. no. 35.
- [5] OU, C.-Y., HSIEH, P.-G. (2011). *A simplified method for predicting ground settlement profiles induced by excavation in soft clay*, Computers and Geotechnics no. 38.
- [6] ZHANG, H.-B., CHEN, J.-J., ZHAO, X.-S., WANG, J.-H., HU, H. (2015). *Displacement Performance and Simple Prediction for Deep Excavations Supported by Contiguous Bored Pile Walls in Soft Clay*, J. Aerosp. Eng.