

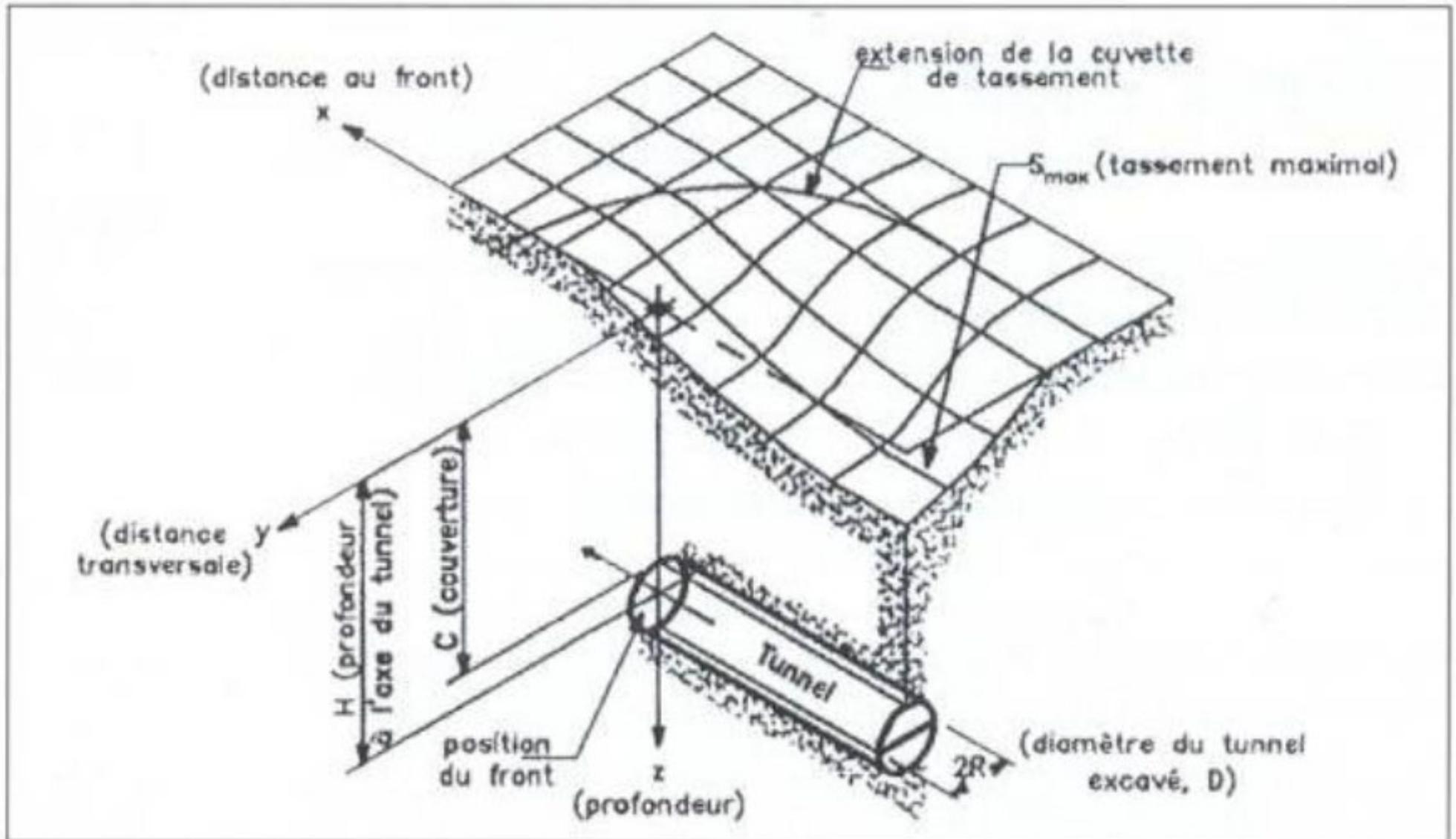
École des Ponts
ParisTech

Estimation des tassements et de leurs effets sur les constructions Pilotage d'un chantier de tunnel

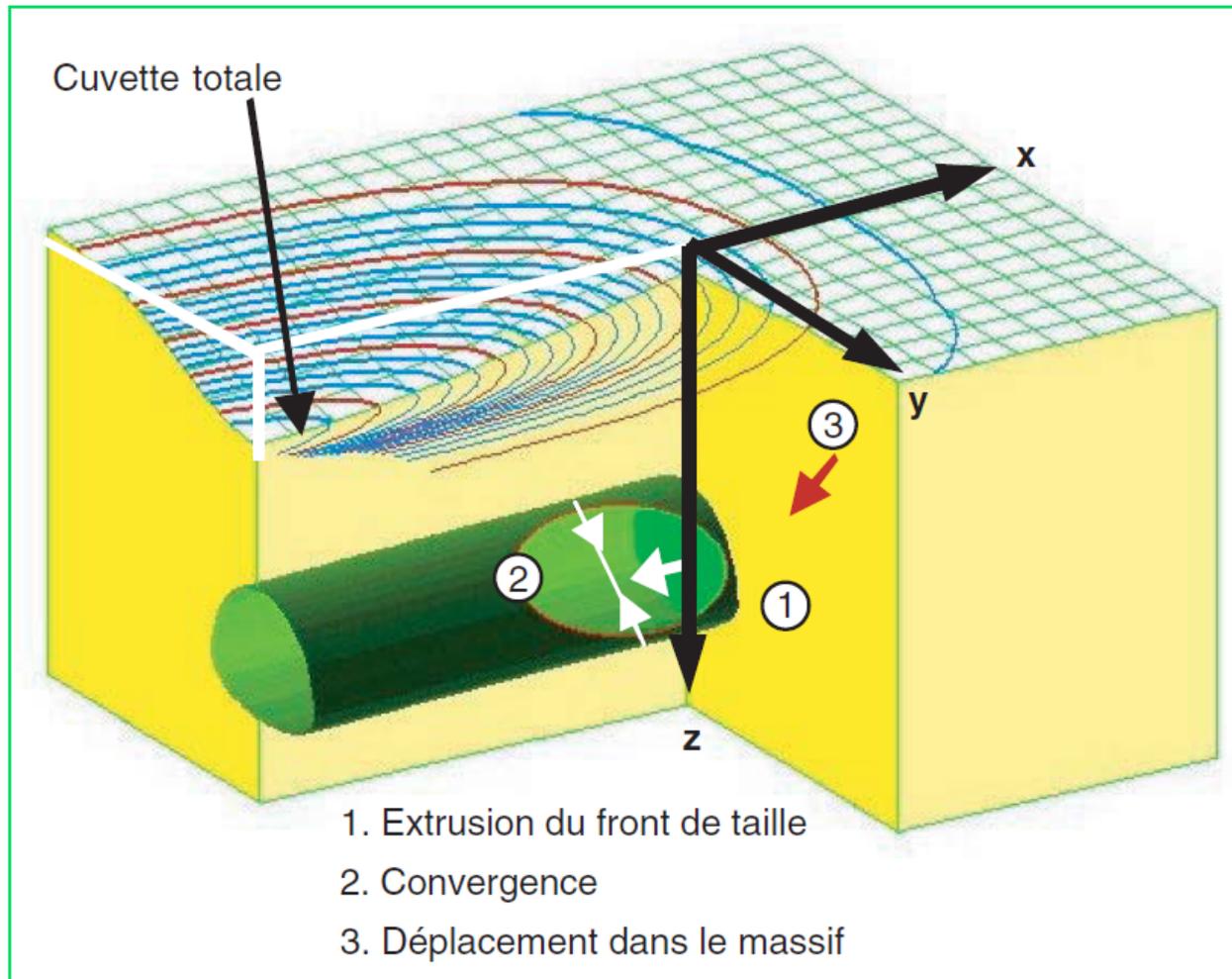
Michel Pré



Développement de la cuvette de tassement avec la progression du front de taille

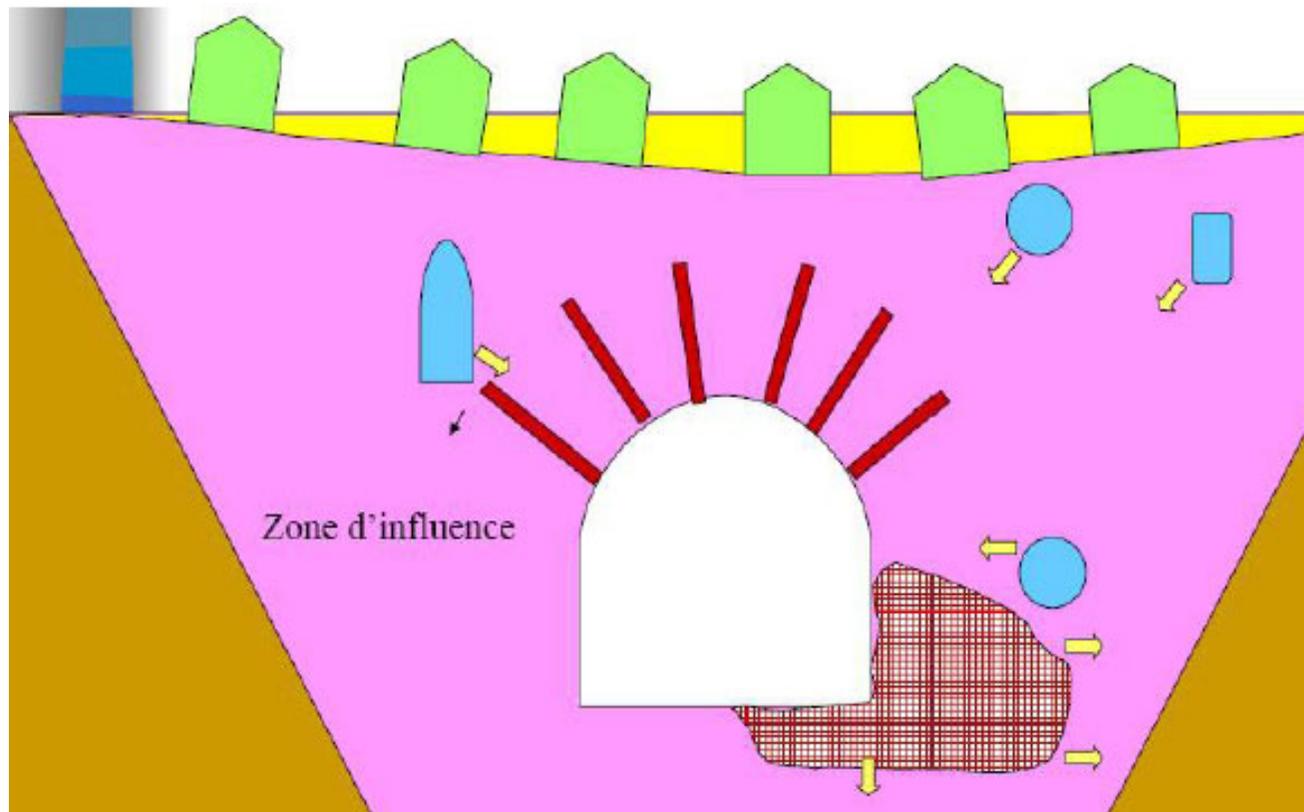


Cuvette de tassement : origine



Zone d'influence géotechnique (ZIG) : zone susceptible de subir des déformations produites par les travaux d'excavation.

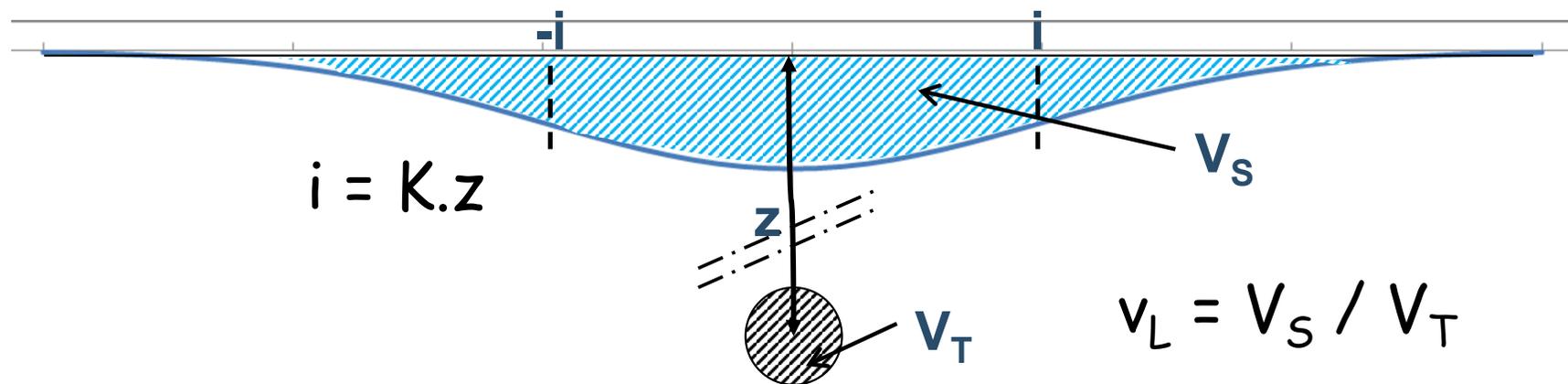
Tous les bâtis, ouvrages ou réseaux situés dans la ZIG sont exposés à des dommages potentiels par les travaux.



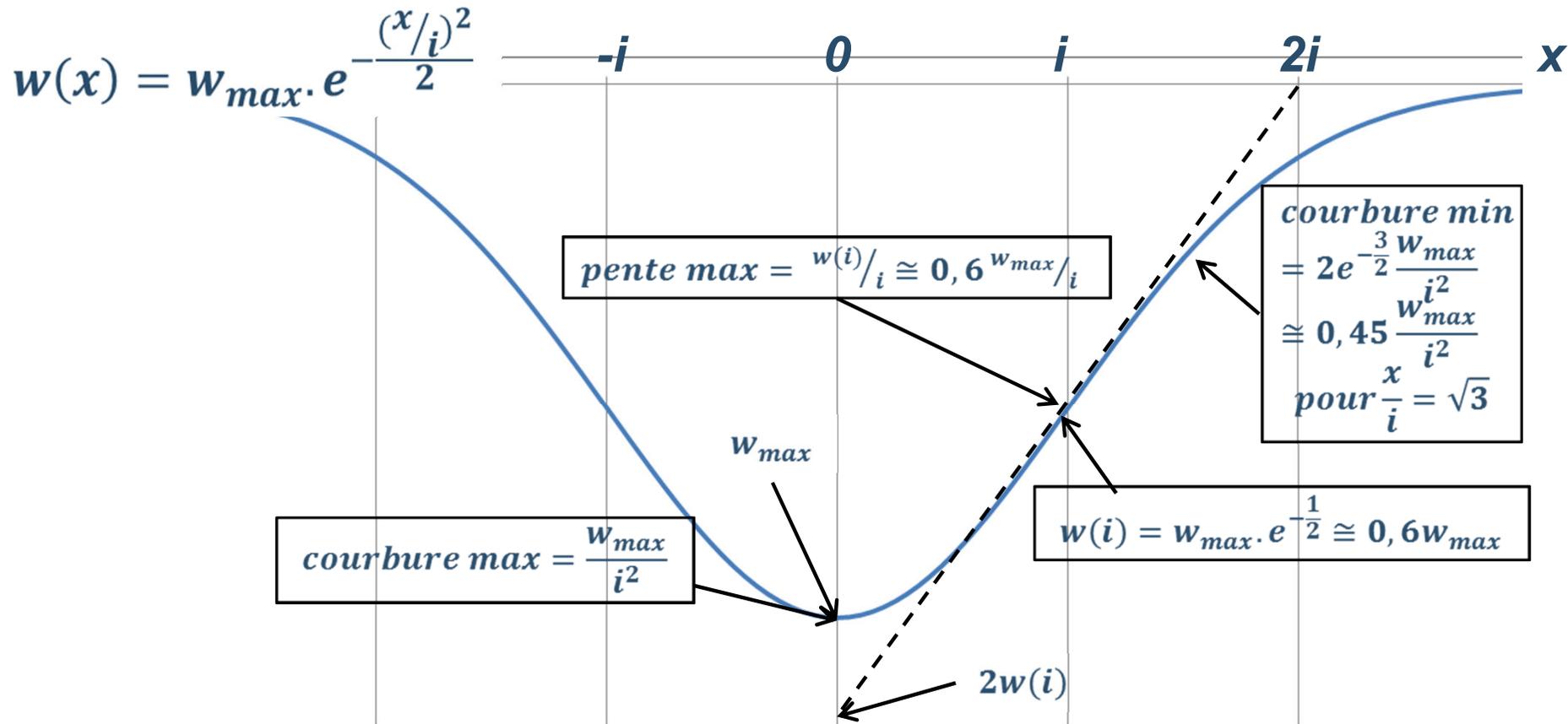
Forme générale de la cuvette de tassement

Méthode du « Volume Loss » (PECK 1969)

Le profil de la cuvette de tassement en surface s'apparente à une gaussienne :
Peck rapproche le volume de la cuvette V_S du volume d'excavation du tunnel V_T .
Le « volume loss » est le rapport $v_L = V_S / V_T$, lié à la méthode de creusement.
La largeur de la cuvette est caractérisée par le paramètre i , distance à l'axe du point d'inflexion de la gaussienne. La constante K caractérise le rapport entre i et la profondeur z du tunnel. K est liée à la nature du terrain encaissant.



Formulation de la cuvette de tassement



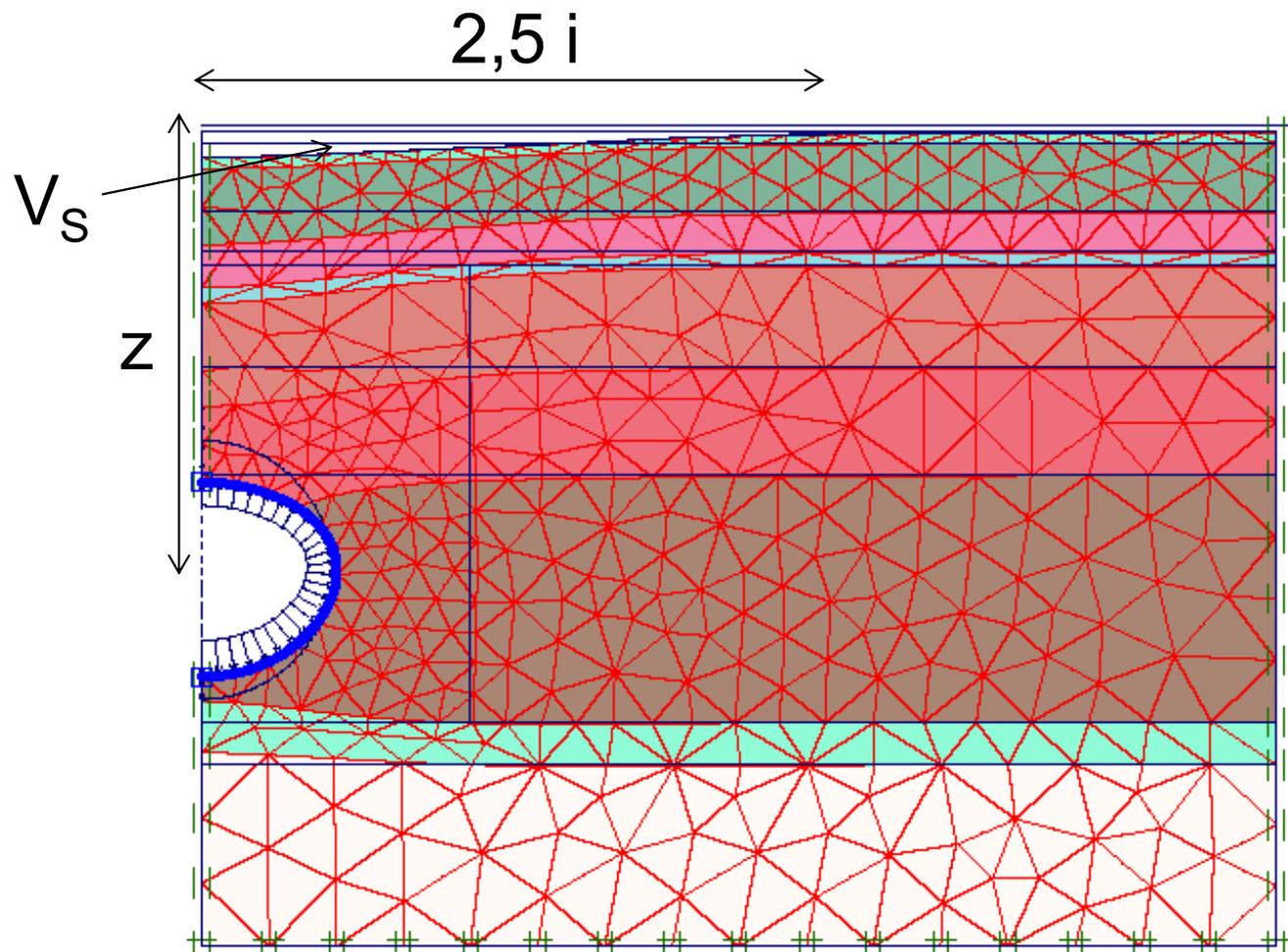
$$V_S = \int_{-\infty}^{+\infty} w \cdot dx = w_{max} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x/i)^2}{2}} dx = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot w_{max} \cong 2,5 \cdot i \cdot w_{max}$$

Exemples de valeurs des paramètres v_L et K

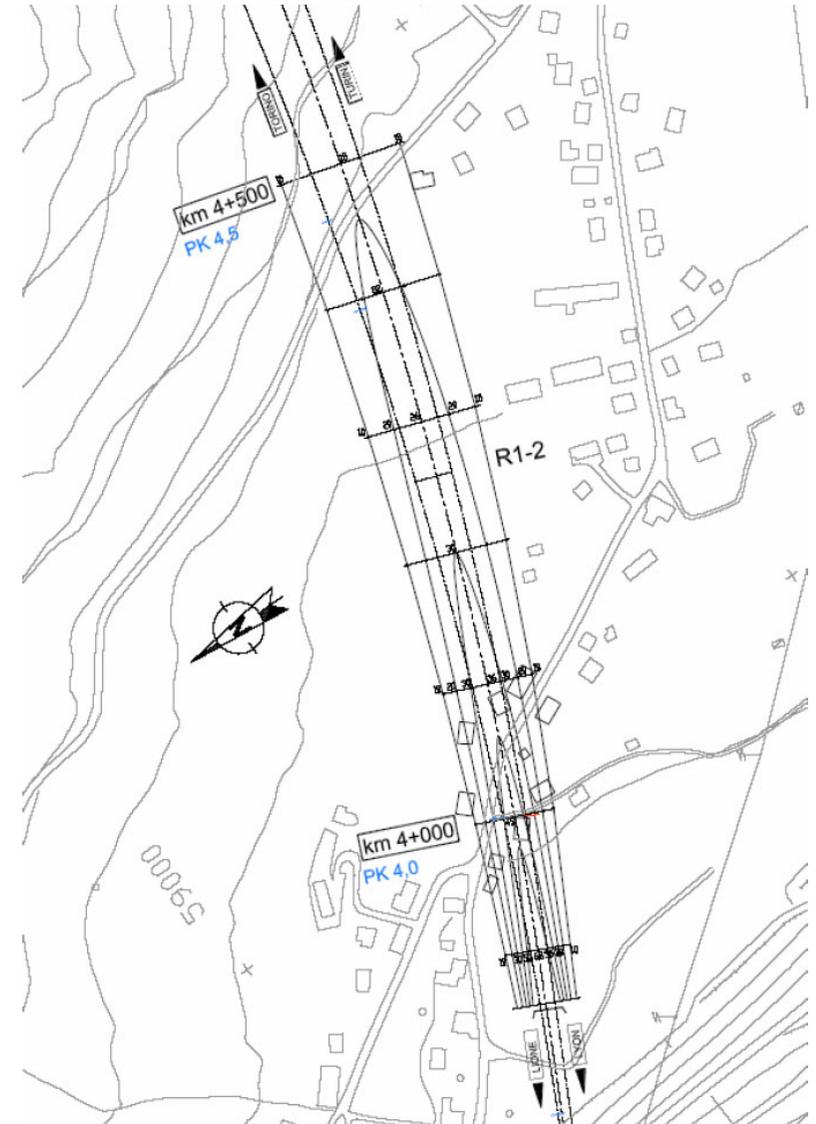
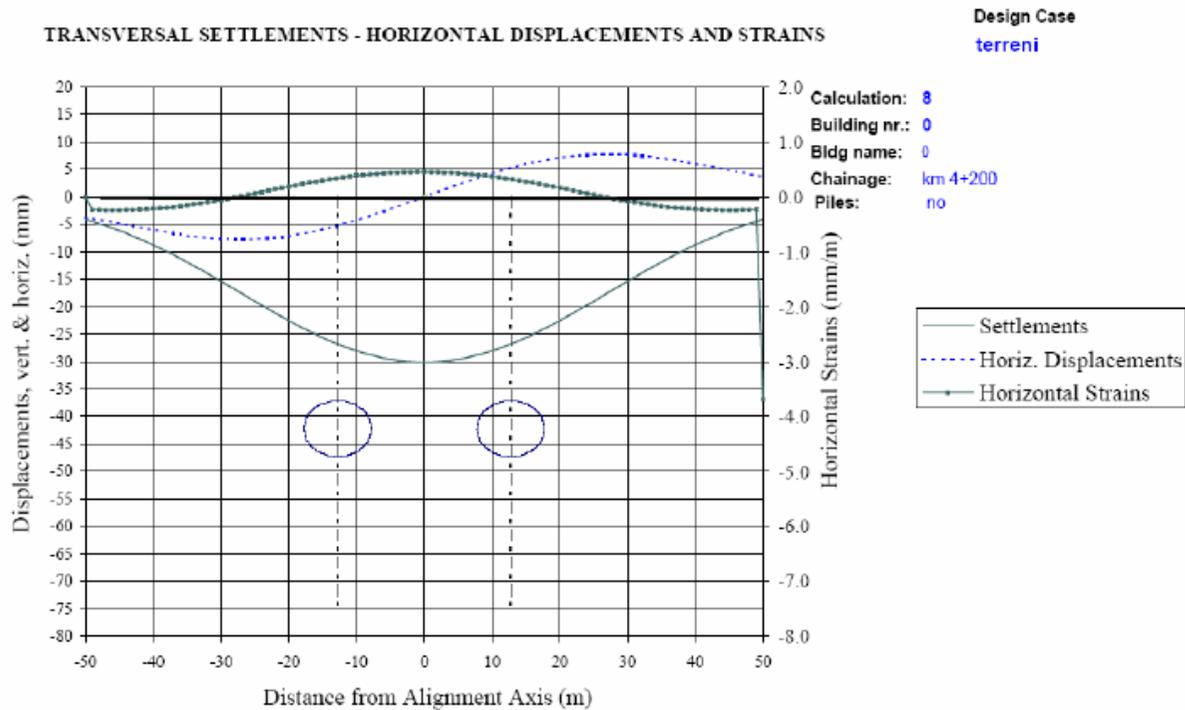
Technologie	$v_L = V_S/V_T$
Traditionnel	0,8% - 1,5%
Tunnelier	
ouvert	0,6% - 1,2%
pression de terre	0,4% - 0,8%
pression de boue	0,2% - 0,6%

Nature du terrain	$K = i/z$
Sol sans cohésion	0,3
Argile normalement consolidée	0,5
Argile surconsolidée	0,6 - 0,7
Schiste argileux	0,6 - 0,8
quartzite	0,8 - 0,9

Calage des paramètres à partir d'un calcul FEM paramétrique

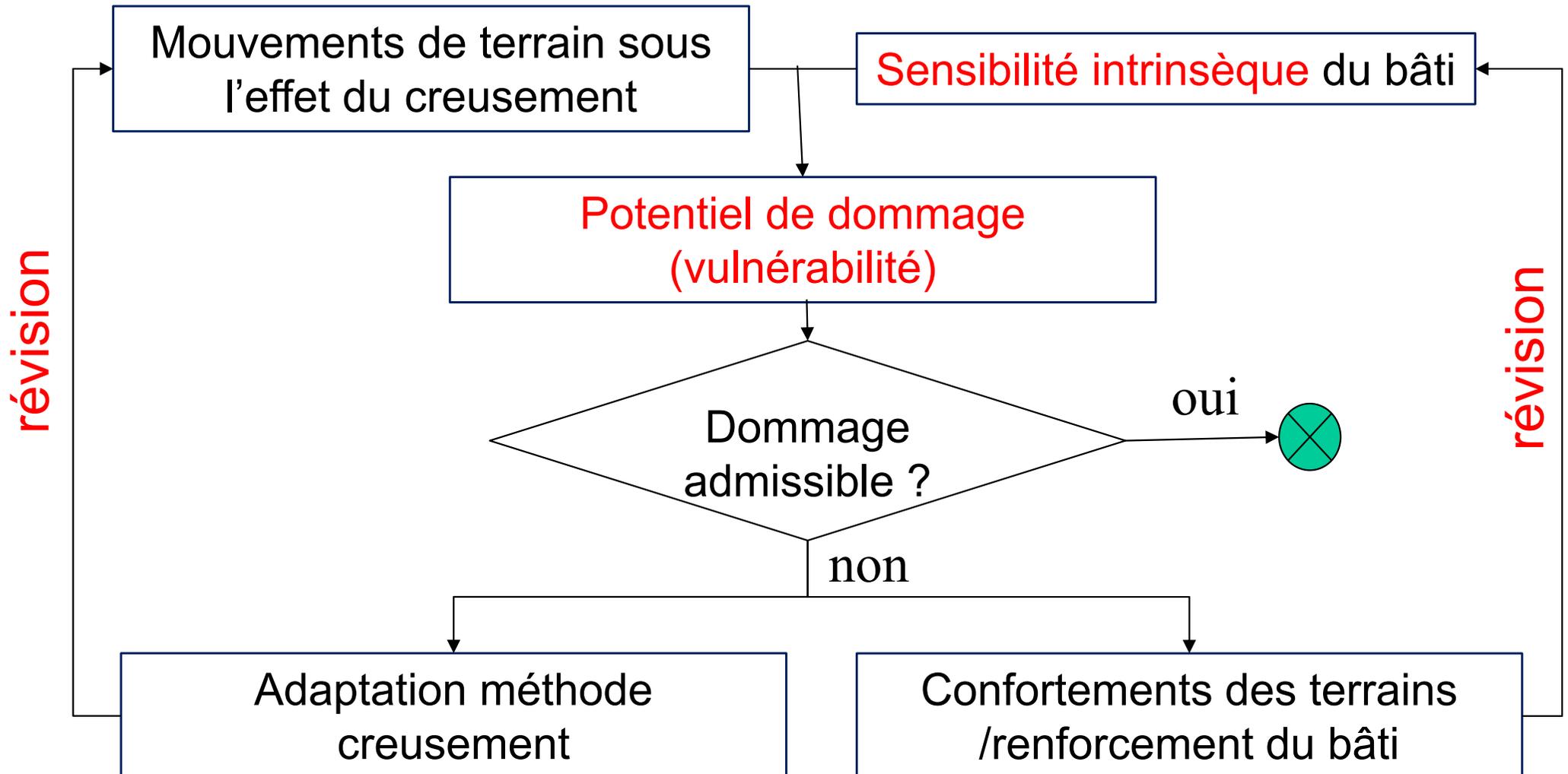


Exemple de cuvette de tassement : cas d'un bitube



Effets sur les constructions : la démarche

Pour un bâti donné:



Les classes de dommages

Classe de dommages	Degré de dommages	Description des dommages	Largeur des fissures (mm) (1)
0	Dommages négligeables	Microfissures	< 0.1
1	Dommages très légers	Esthétiques	< 1
2	Dommages légers	Esthétiques, à traiter	< 5
3	Dommages modérés	Fonctionnels	5 à 15, ou plusieurs fissures > 3 mm
4	Dommages sérieux	Structurels	15 à 25 (2)
5	Dommages très sérieux	Structurels	> 25 (2)

(1) La largeur des fissures n'est qu'un aspect des dommages et ne peut être utilisée comme mesure directe

(2) Le nombre de fissures est également à considérer

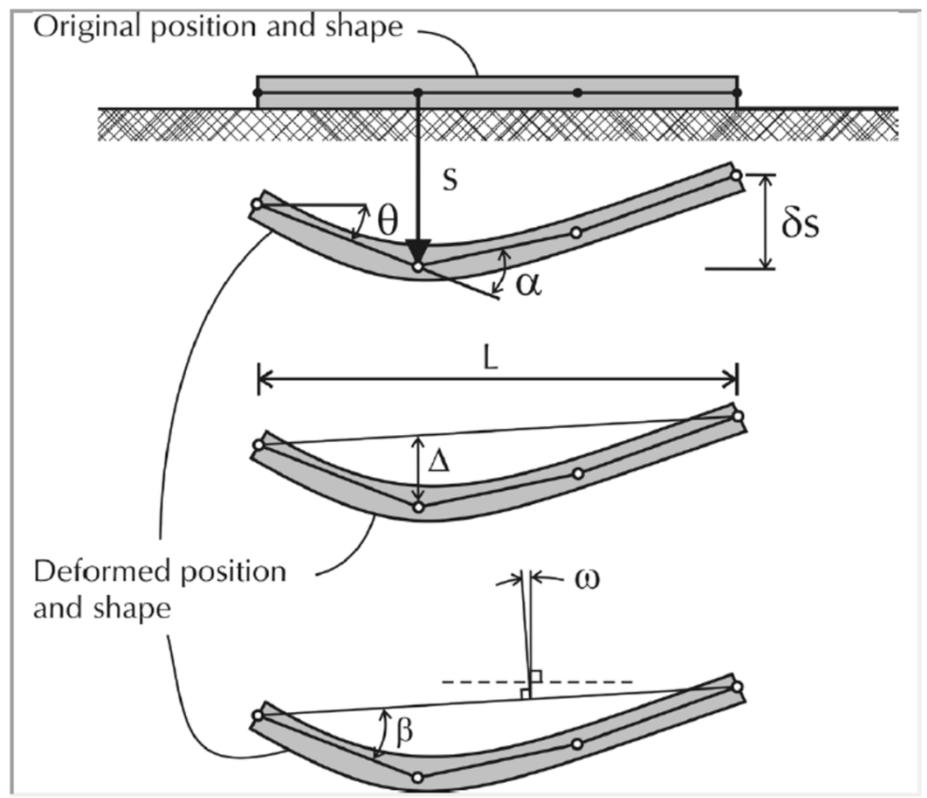
Dommmage esthétique : dommmage qui affecte l'apparence visuelle d'une construction : fissures de petites dimensions dans les éléments non structuraux, dégradation ou chute d'éléments d'habillage,....:

Dommmage fonctionnel : dommmage qui affecte le confort des utilisateurs, l'usage fonctionnel d'une construction et sa durabilité (sans que cela n'affecte la tenue de la construction) : coincement ou blocage des portes et des fenêtres, perte de verticalité des ascenseurs, dysfonctionnement des réseaux, des machines ou des équipements,...

Dommmage structurel : dommmage qui affecte la sécurité des occupants et/ou la stabilité de tout ou partie d'une construction : déformation excessive ou instabilité de certains éléments structuraux, possibilité de rupture de certaines parties,...

Il est de la responsabilité du Maître d'Ouvrage de fixer les niveaux de dommages admissibles sur les bâtis. Habituellement, le niveau 3 est admis, car les travaux de remise en état éventuels restent peu onéreux.

Caractérisation des mouvements des fondations



- s : tassement
- δs : tassement différentiel
- θ : rotation
- α : déformation angulaire
- Δ : déflexion
- Δ/L : déflexion relative
- ω : inclinaison (tilt)
- β : rotation relative ou distorsion angulaire

Sensibilité intrinsèque des bâtis

Classes de sensibilité intrinsèque		Mouvements admissibles correspondant à la classe 3 de dommages (exemple)		
		δ_s (1)	β (1)	ω
1	Très peu sensible	100 mm	5 ‰	5 ‰
2	Peu sensible	60 mm	3 ‰	4 ‰
3	Sensible	30 mm	1,5 ‰	3 ‰
4	Très sensible	15 mm	0,75 ‰	2 ‰
5	Fragile	10 mm	0,5 ‰	1 ‰

(1) Valeurs pour un fléchissement (sagging), à diviser par deux en cas de flèche négative (hogging)

d) Exemple de cartographie des classes de sensibilité intrinsèque



- La sensibilité intrinsèque dépend de la nature de la construction
- Des travaux de renforcement peuvent modifier la classe Des techniques spécifiques de renforcement peuvent s'avérer nécessaires

Pilotage par les seuils d'un chantier de tunnel

A) Seuils définis pour chaque paramètre de déformation (tassement, mise en pente, etc...) à partir de l'analyse de sensibilité intrinsèque:

- **Seuil d'urgence:** c'est le seuil qui déclenche une situation de danger avérée pour les constructions et/ou les personnes. Son franchissement impose l'arrêt des travaux accompagné de mesures de sauvegarde.
- **Seuil contractuel:** lié au niveau de dommage accepté, qui définit les limites de responsabilité vis-à-vis des coûts de réparation. En-deçà, le Maître d'Ouvrage accepte de prendre en charge les dommages causés par les travaux. Au-delà, l'Entreprise est responsabilisée sur les dommages que causent les travaux.

Exemple:

Grandeur impactée	Seuil contractuel		
	Voirie Bâtis peu sensibles Zones inoccupées	Bâtis sensibles	Bâtis très sensibles
Bâtis courants			
Tassement	15 mm	15 mm	10 mm
Mise en pente	2,0 ‰	1,5 ‰	1,0 ‰
Déformation horizontale	1,2 ‰	0,9 ‰	0,6 ‰
Bâtis spécifiques listés au paragraphe 8.3.10.2 du livret 0 du CCTP			
Tassement	30 mm	20 mm	15 mm
Mise en pente	2,0 ‰	1,5 ‰	1,0 ‰
Déformation horizontale	1,2 ‰	0,9 ‰	0,6 ‰

B) Pilotage

1) **Le scénario de référence:** correspond au comportement attendu au stade des études de conception et/ou d'exécution aux prévisions d'étude. Il doit respecter, avec une marge suffisante, les seuils contractuels, faute de quoi:

- soit les méthodes doivent être revues
- soit des confortements des constructions sont à envisager de façon à pouvoir relever les seuils contractuels.

2) Les seuils de pilotage:

Exemple:

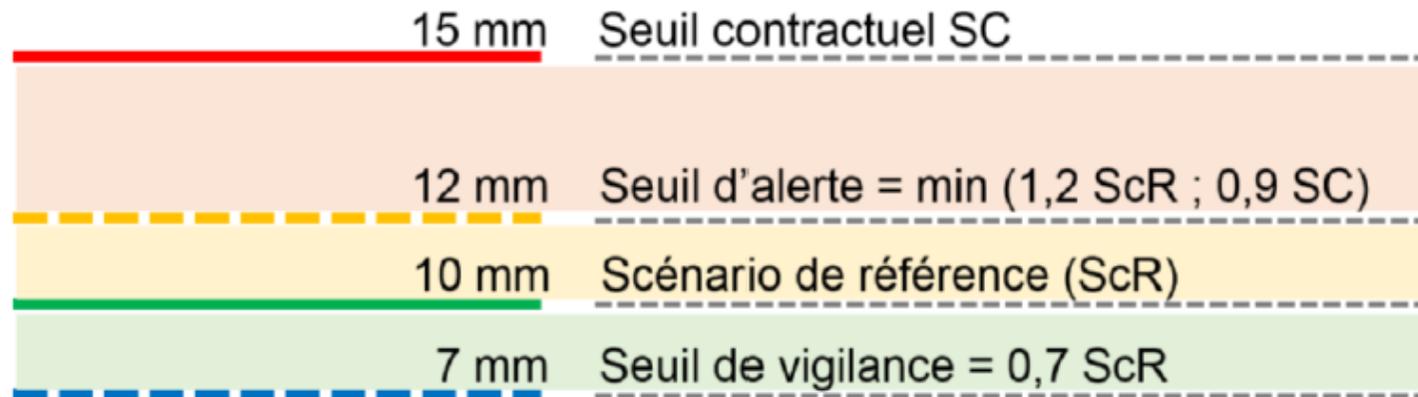


Figure 1 : exemple de définition des seuils de vigilance et d'alerte pour un tassement absolu d'un bâtiment peu sensible, voiries et zones inoccupées

À partir du seuil de vigilance, on vérifie la conformité entre les prévisions d'étude et le comportement constaté.

Le franchissement du seuil d'alerte implique la mise en œuvre de contre-mesures afin d'éviter la poursuite des déformations.

Mesures de tassement en surface et sur bâtiments

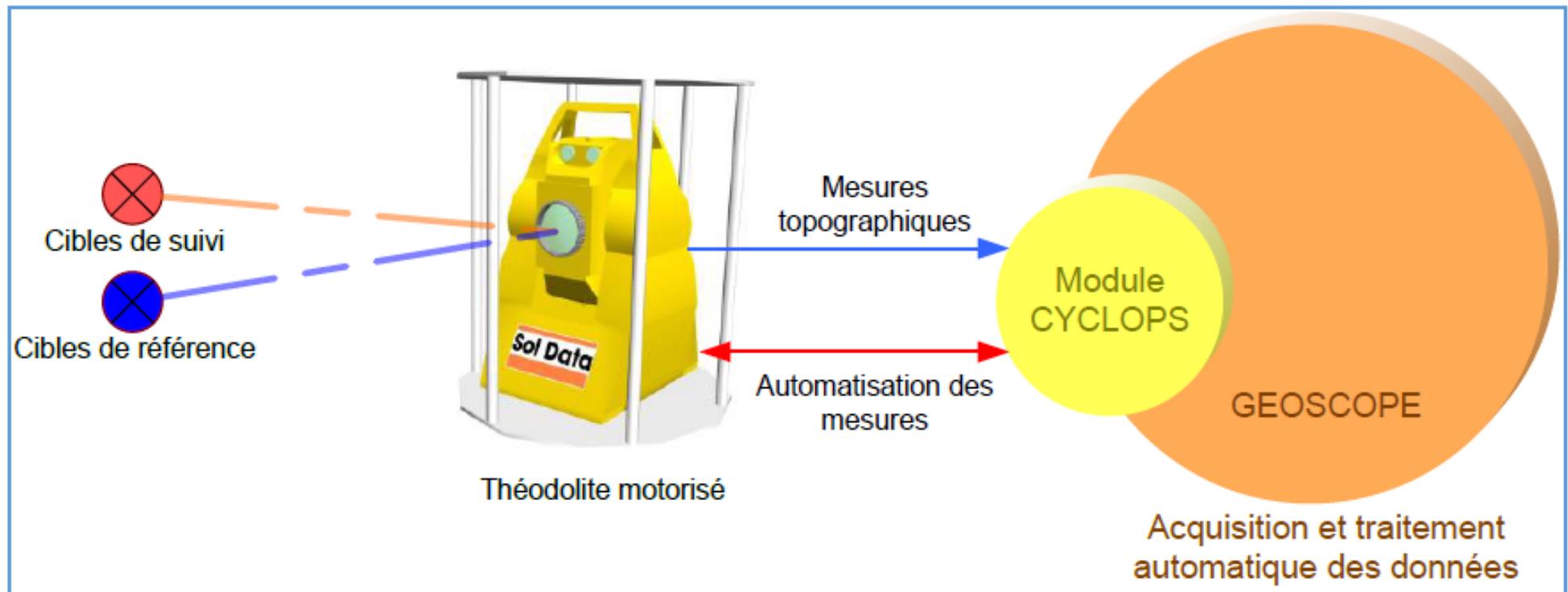
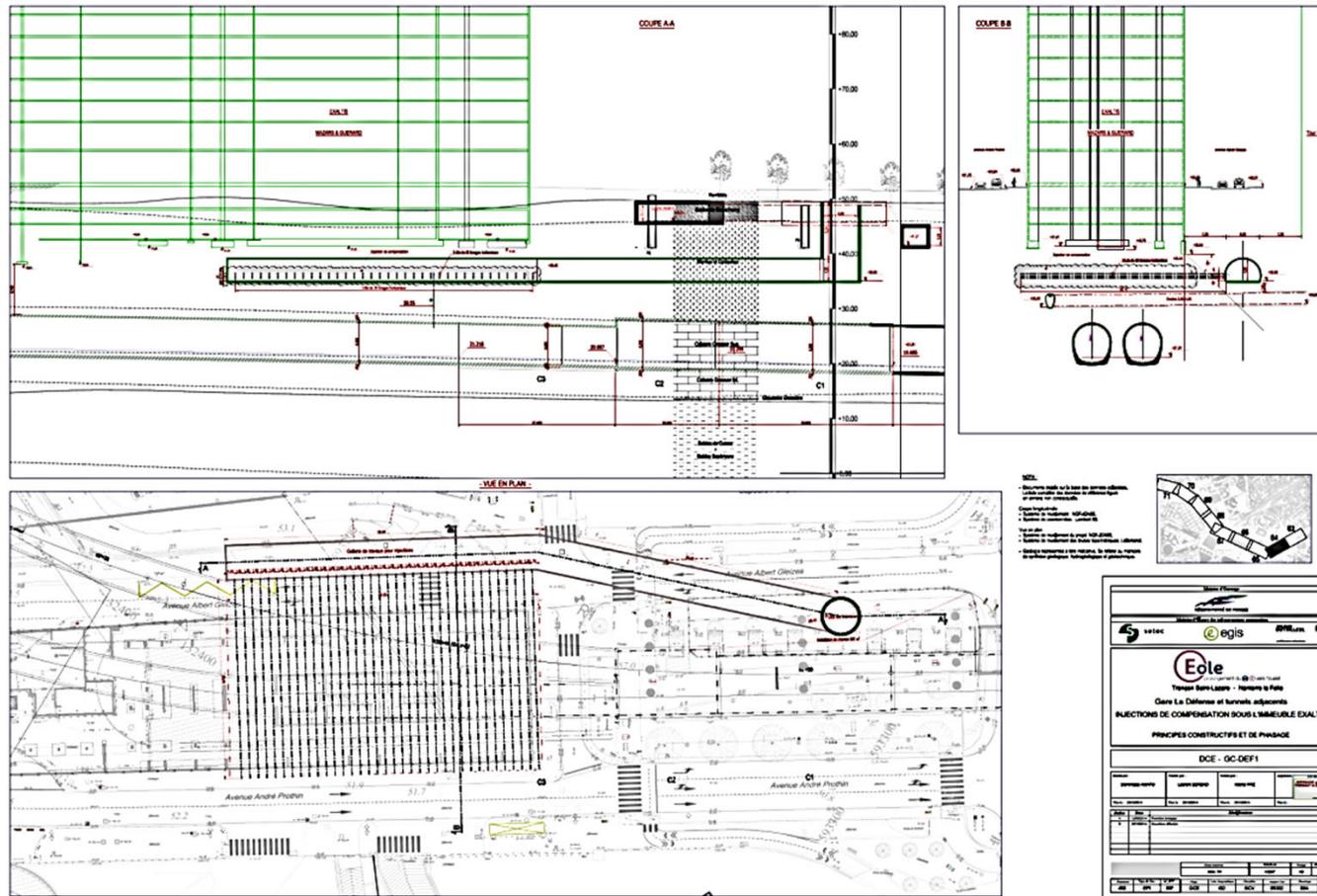
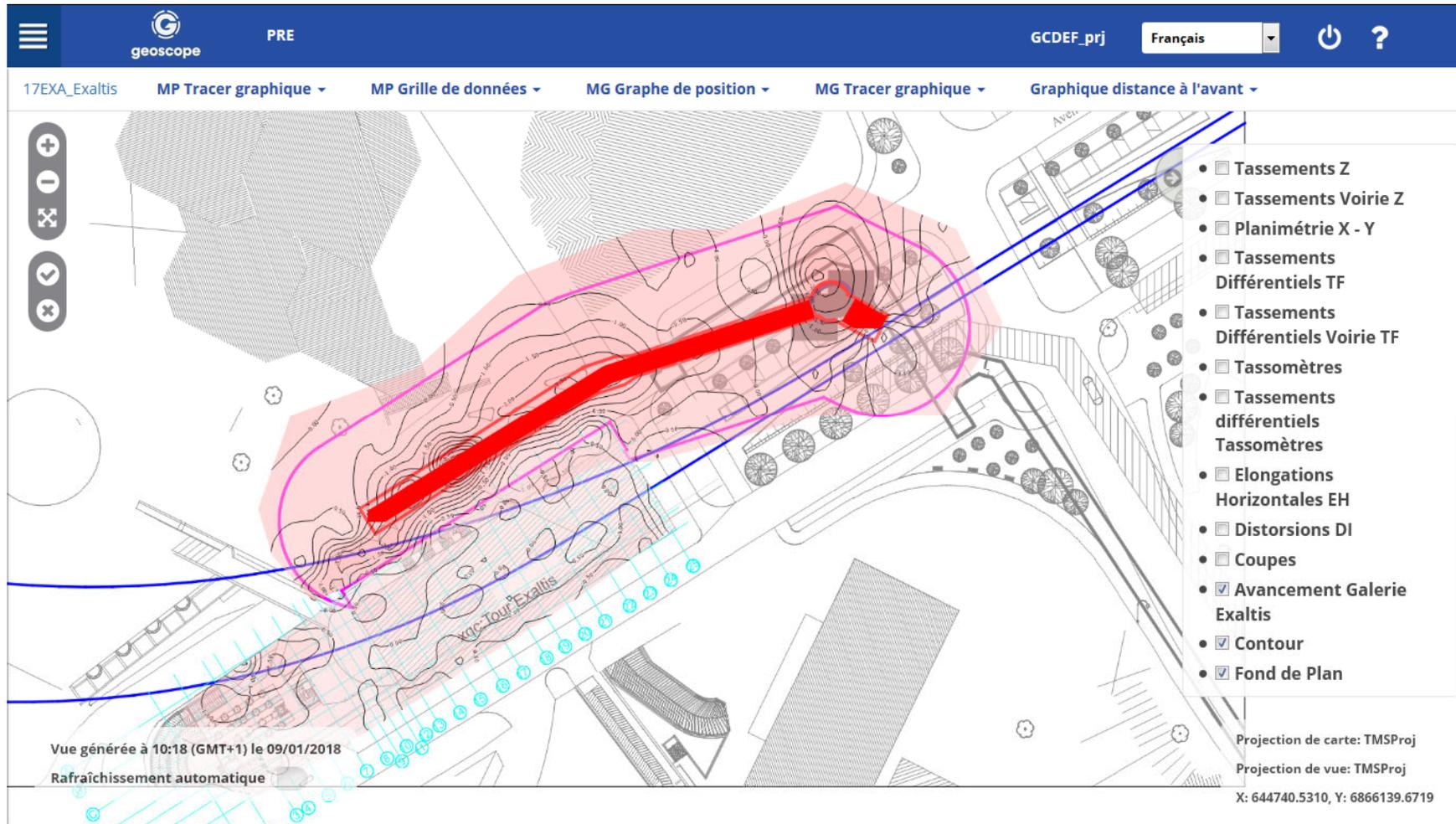


Schéma de principe du module CYCLOPS

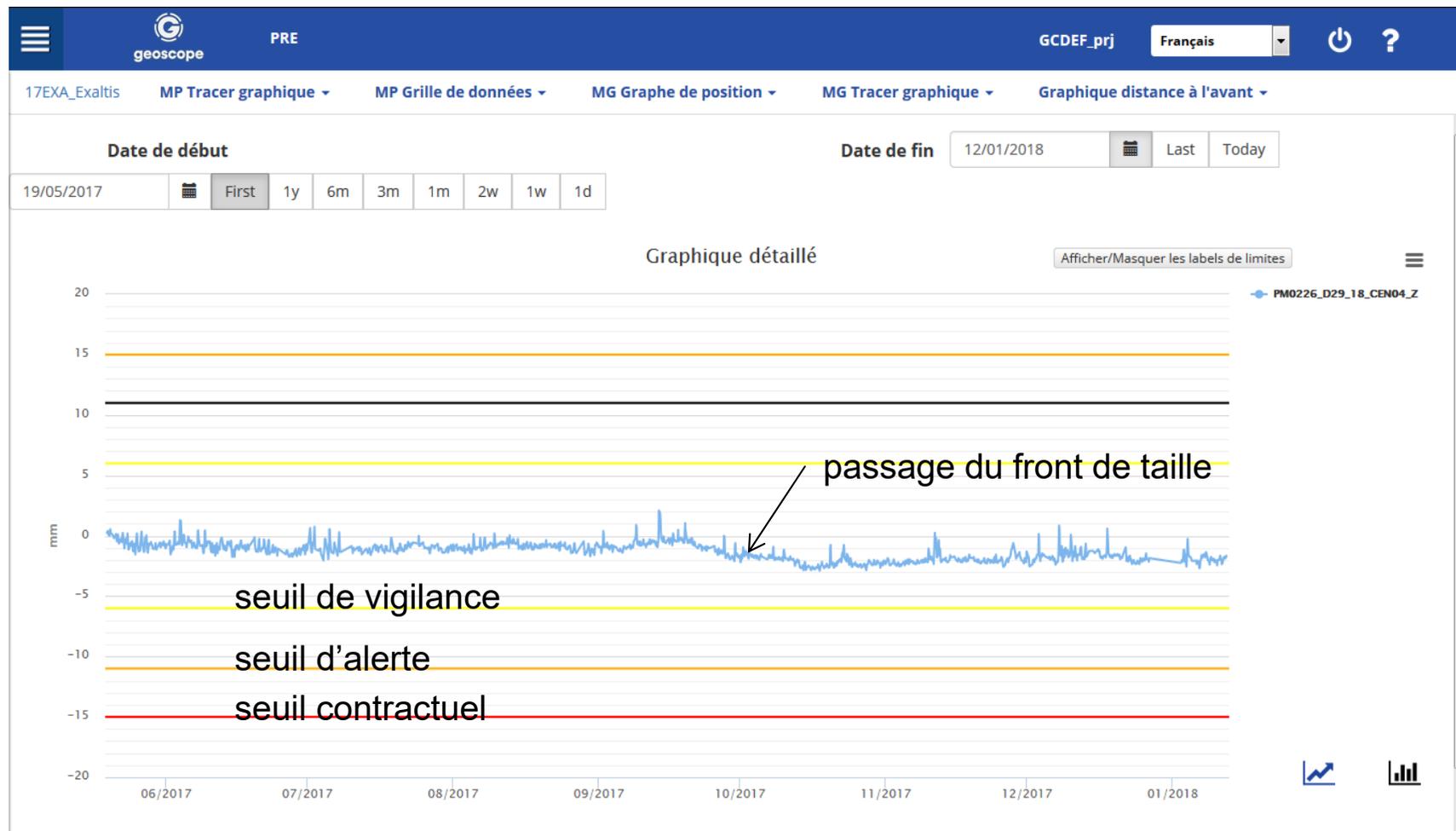
Un exemple: la galerie pour injection de compensation EOLE La Défense



Avancement de la galerie et contours d'isotassement en surface



Exemple de suivi d'une cible



Pilotage par les mesures à l'avant du front de taille

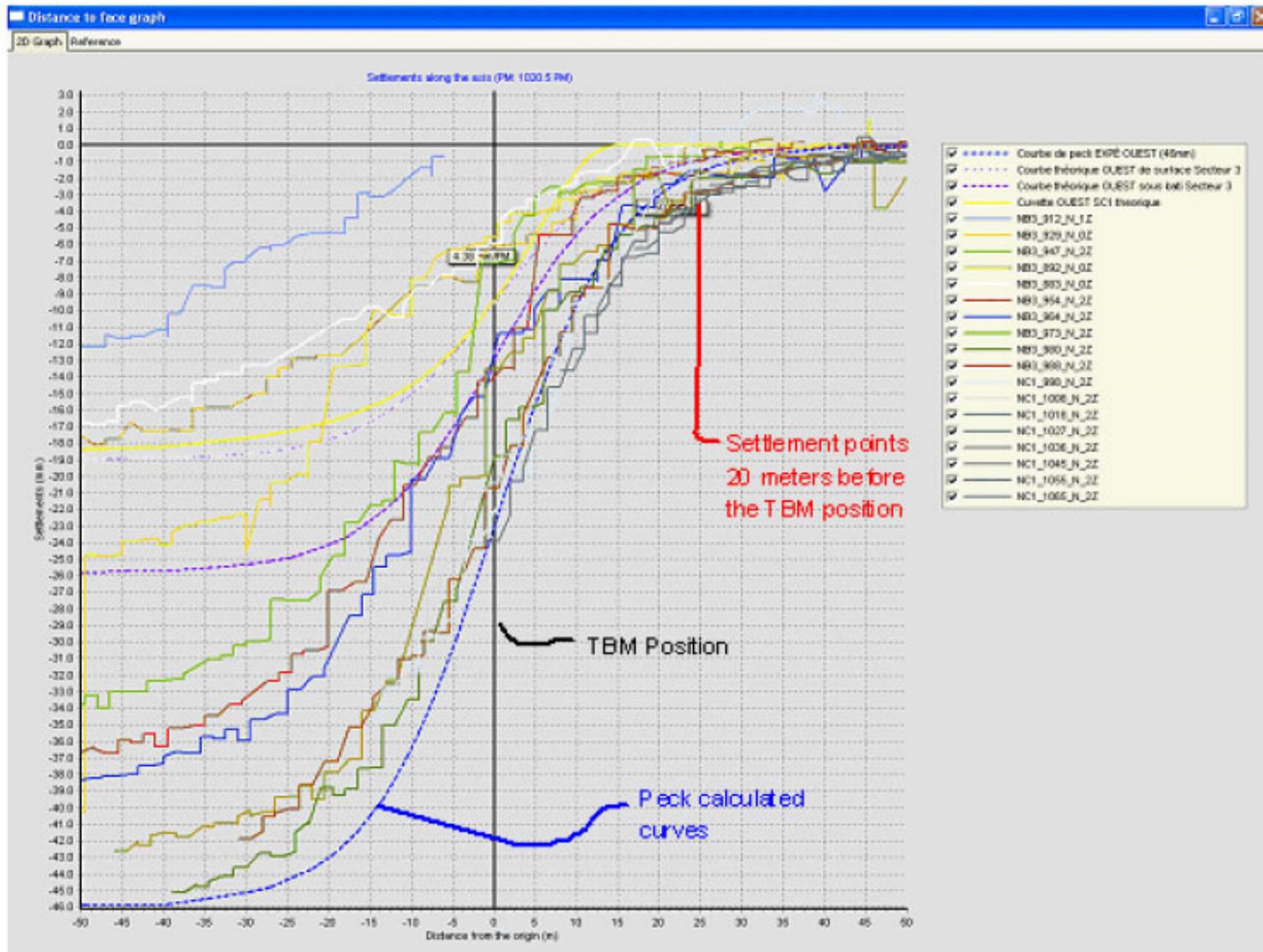


Diagramme de suivi de la construction méthode observationnelle

