



# KEYNOTE - GESTION DES RISQUES GÉOTECHNIQUES ET DE LA STABILITÉ DES OUVRAGES SOUTERRAINS: DE LA RECONNAISSANCE DES SOLS À L'OPTIMISATION DES MÉTHODES D'EXCAVATION

DR. HOUSSINE EJJAOUANI, VICE-PRÉSIDENT, ASSOCIATION MAROCAINE DES TRAVAUX EN SOUTERRAIN (AMTES)



Organised by



Sponsored by



Supported by



Chinese Partner



Official Media Partner



# TECHNIQUES TRAVAUX SANS TRANCHEES

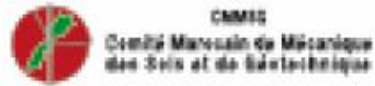
H-EJJAPOUANI

AMTES

# Présentation AMTES

- Association Marocaine des Travaux Souterrains CREEE EN 1989
- Société savante qui regroupe tous les intervenants dans les travaux souterrains
- Etat des travaux sans tranchées au Maroc

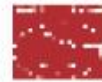
#### Organismes



#### Partenaire officiel



#### Partenaires institutionnels internationaux



#### Contact Secrétariat CMMSG :

e-mail : [cmmmsg@lpea.ma](mailto:cmmmsg@lpea.ma)

Tél : +212 5 22 30 75 10

GSM : +212 6 63 25 92 30

Fax : +212 5 22 30 15 50

1/2



## COLLOQUE NATIONAL SUR LA GÉOTECHNIQUE

Thème général :

Géotechnique durable et résilience des infrastructures face aux aléas naturels et anthropiques

DU 08 AU 10  
DÉCEMBRE 2026  
À MARRAKECH

### Ouvrages et domaines concernés

Ouvrages d'art, routes, voies ferrées, tunnels, ports, digues, barrages, réservoirs, fondations, soutènements, systèmes de drainage, installations de stockage, sites pollués, réhabilitation environnementale, infrastructures énergétiques (éolien, solaire)...

### Axes scientifiques

Les communications s'articulent autour de neuf thématiques :

1. Grands ouvrages et ouvrages urbains.
2. Aléas climatiques et adaptation des infrastructures.
3. Stabilité des talus et protection des pentes.

# DIFFERENTES TECHNIQUES

Fonçage de tiges

Fonçage horizontal  
à percussion

Forage avec marteau  
fond-de-trou (roc)

Forage dirigé

Forage horizontal  
à la tarière

Forage horizontal par  
alésage (roc)

Forage horizontal par  
alésage (roc)

Microtunnelier  
dirigé

Fonçage par  
poinçonnement

Tube pilote

Tunnelier

# Techniques les plus utilisées

- Microtunneliers Emissaires- quelques collecteurs terrestres profonds
- Travaux classiques de creusement avec soutènements ) l'avancement
- Fonçage

# Problèmes géotechniques

- **Affaissement en surface**
- **Formation de cavités ou vides sous les riverains**
- **Décompaction des sols**
- **Soulèvement ou poinçonnement des voies**
- **Déviations de trajectoire**

# Apparition des désordres en cours des travaux

**\*Absence d'étude géotechnique**

**-absence de note calcul en situation provisoire\***

**\*Absence de calcul de déformation**

**\*note de calcul indépendante de l'exécution**

# GALERIE SALE

RTM  
REDES

VOIE DU TRAM WAY

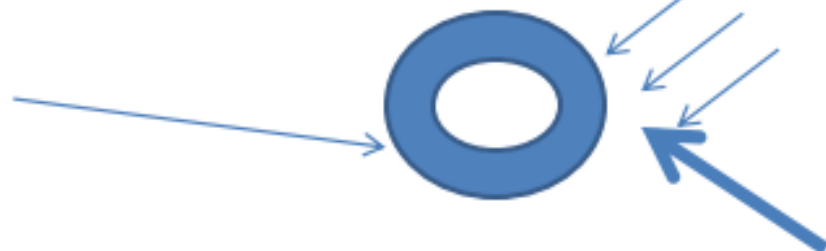
Affaissement de 12 cm  
en surface



conduite sous  
pression a éclatée



RIE

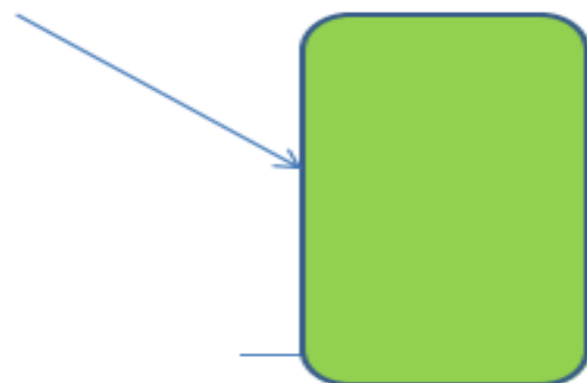


Eboulement  
de terrain  
entre cintres



# ENVIRONNEMENT

BATIMENT



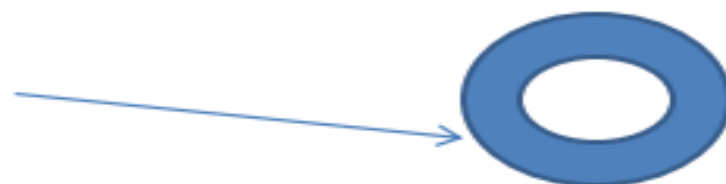
VOIE



CONDUITE



GALERIE





# CALCUL DE STABILITE N' EST PLUS SUFFISANT

CALCUL DES ANNEES 50  
N'EST PLUS D'ACTUALITE

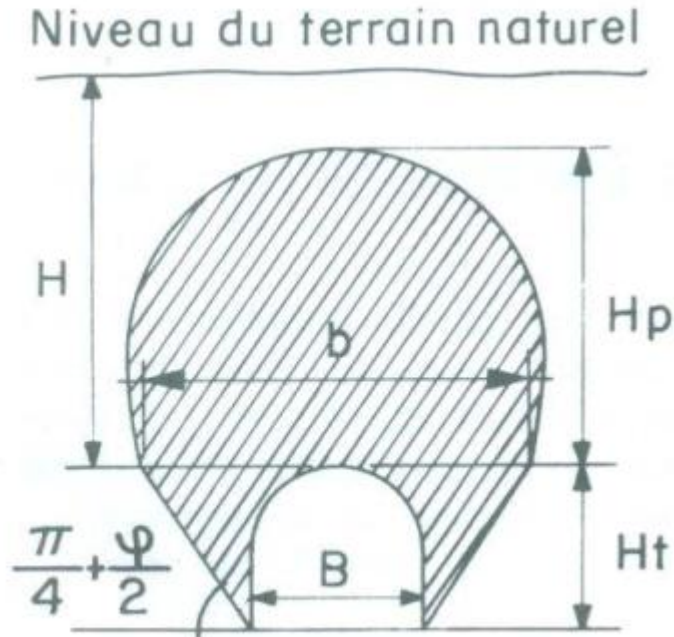
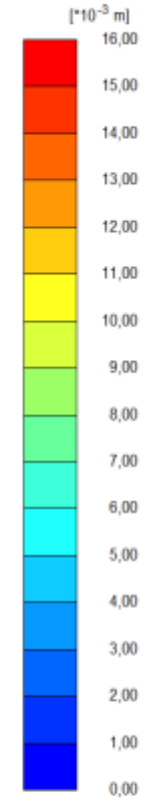
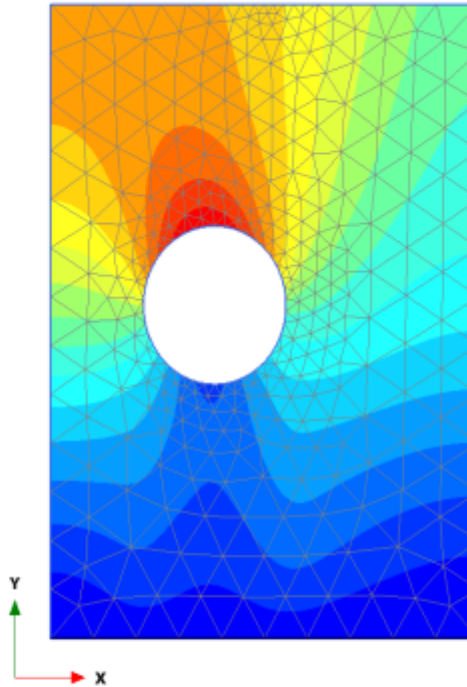


Tableau 3.1  
Hauteur de terrain décomprimé au-dessus d'un tunnel  
(d'après M. PROCTOR et K. TERZAGHI)

Nature de la roche	Charge $H_p$ (1)	Remarques
1 - Dure et intacte	0 à 0,25 B	Quelques ancrages s'il y a chute de pierres
2 - Dure et stratifiée	0 à 0,5 B	Soutènement léger
3 - Massive avec quelques joints	0 à 0,25 B	La charge peut changer brusquement d'un point à un autre
4 - Modérément ébouleuse	0,25 à 0,35 (B + $H_t$ )	Pas de pression latérale
5 - Très ébouleuse	0,35 à 1,10 (B + $H_t$ )	Peu ou pas de pression latérale
6 - Complètement broyée mais chimiquement intacte	1,10 (B + $H_t$ )	Pression latérale considérable
7 - Roche fluante à profondeur modérée	1,10 à 2,10 (B + $H_t$ )	Grande pression latérale Cintres circulaires recommandés
8 - Roche fluante à grande profondeur	2,10 à 4,50 (B + $H_t$ )	Grande pression latérale Cintres circulaires recommandés
9 - Roche gonflante	Jusqu'à 75 m indépendant de (B + $H_t$ )	Cintres circulaires - Dans les cas extrêmes, utiliser des cintres gonflants

(1) Le toit en tunnel est présumé en dessous du niveau hydrostatique.  
S'il est situé au-dessus, les valeurs données pour les roches 4 à 6 devront être réduites de 50 %.



**Total displacements [u]**  
Maximum value = 0,01593 m (Element 970 at Node 2842)



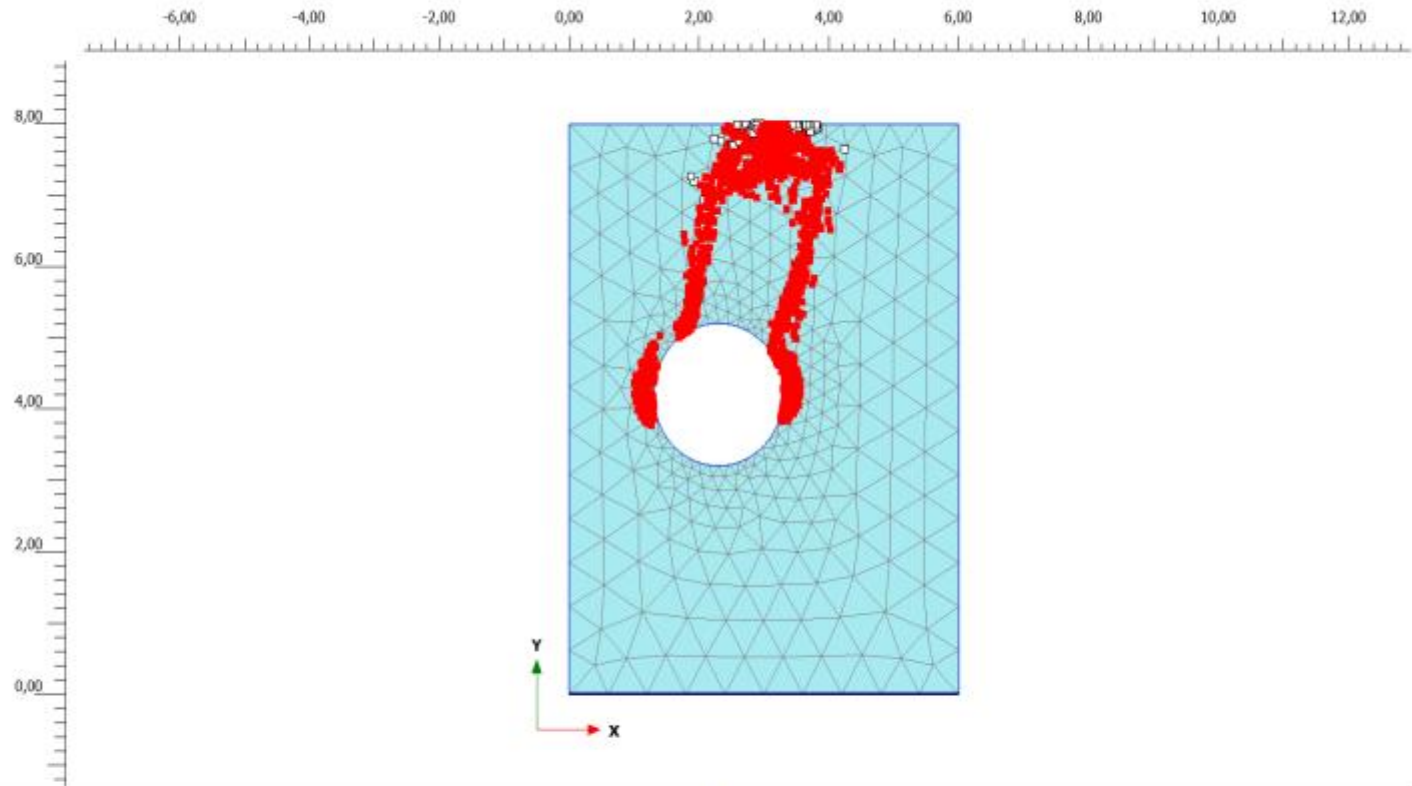
Project description  
**redal**  
Project Menname  
**redal**

Date  
**22/03/2018**

Step  
**4**

User name  
**L.P.E.E. Centre Experimental des Sols**

ersion 2013.2.16712.10959



Plastic points

■ Failure point

□ Tension cut-off point

**PLAXIS**

Project description

redal

Date

22/03/2018

Project filename

redal

Step

250

User name

L.P.E.E. Centre Experimental des Sols

## DEFORMATIONS AUTOUR DU CREUSEMENT

dépendent de :

- conditions géologiques
- « hydrogéologiques
- « géotechniques
- géométrie et position de l'ouvrage
- conditions d'exécution

# DEPLACEMENTS LIES AU CREUSEMENT

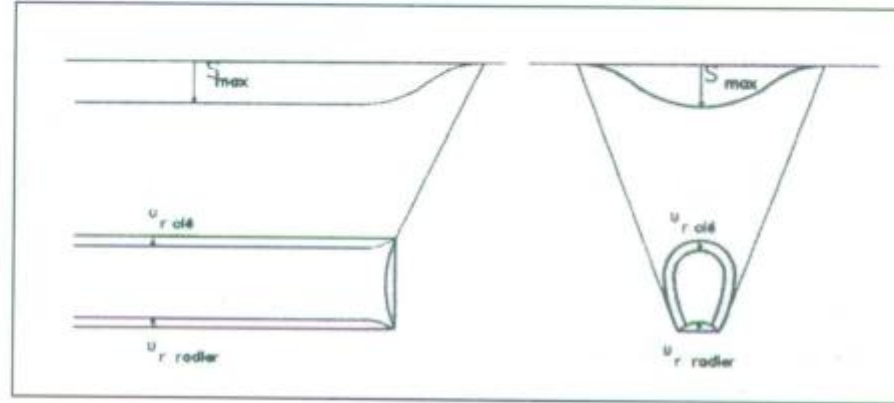


Fig. 1. Déplacements des contours de l'excavation : coupes de principe

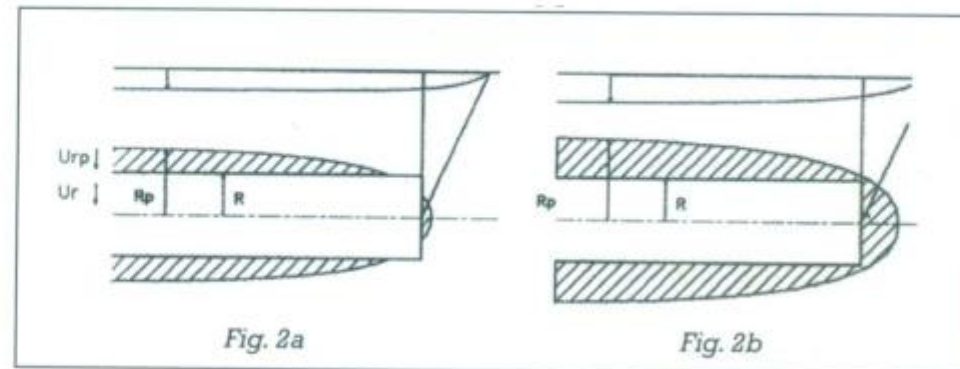
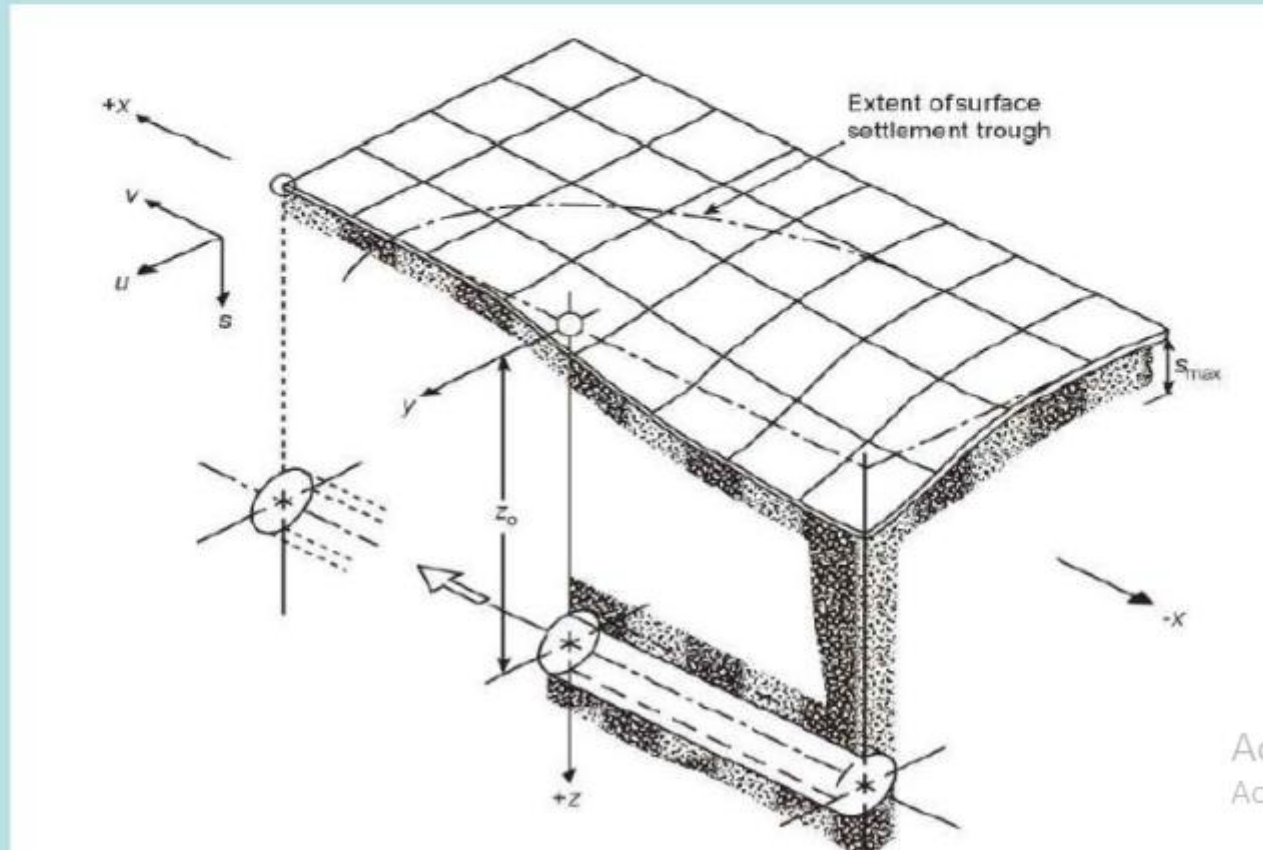


Fig. 2a. Zone en rupture en arrière du front  
Fig. 2b. Zone en rupture dès l'avant du front

## ORIGINE DES DEFORMATIONS

- **front de taille**
  - **nature de soutènement**
  - **phasage de réalisation des différents soutènements**
-

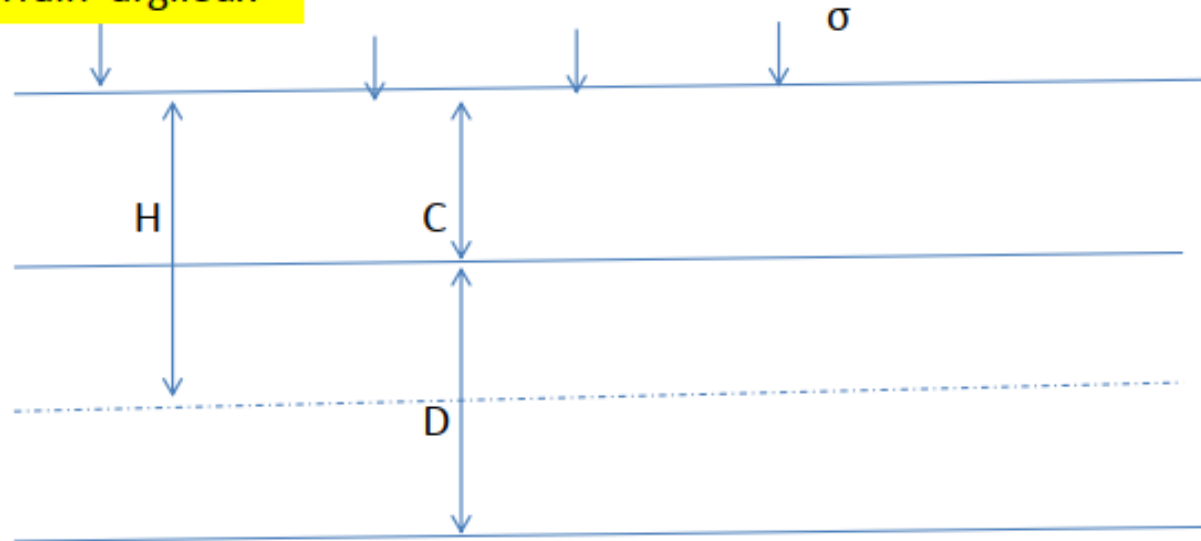
# Principe de la cuvette de tassement



Activer Wi  
Accédez aux p

# Stabilité du front

Terrain argileux



$$N = \frac{\gamma H + (\sigma - p)}{c_u}$$

Pour  $N \leq 3$  Stabilité assurée  
 $3 < N \leq 6$  Attention aux tassements  
Eboulement pour  $N \geq 5$   
 $6 < N$  rupture du front

Terrain frottant cohérent

$$C' ; \varphi' \longrightarrow \sigma_c = \frac{2c' \cos \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$$

# Stabilité du front (suite)

$\frac{C}{D} < 2$  analyse détaillée du front

$4 < \frac{YD}{Cu}$  apparition de ruptures localisées au front de taille

# Estimation des Tassements

- La méthode empirique et ses limites
- La méthode du solide composite avec prise en compte du déconfinement géométrique

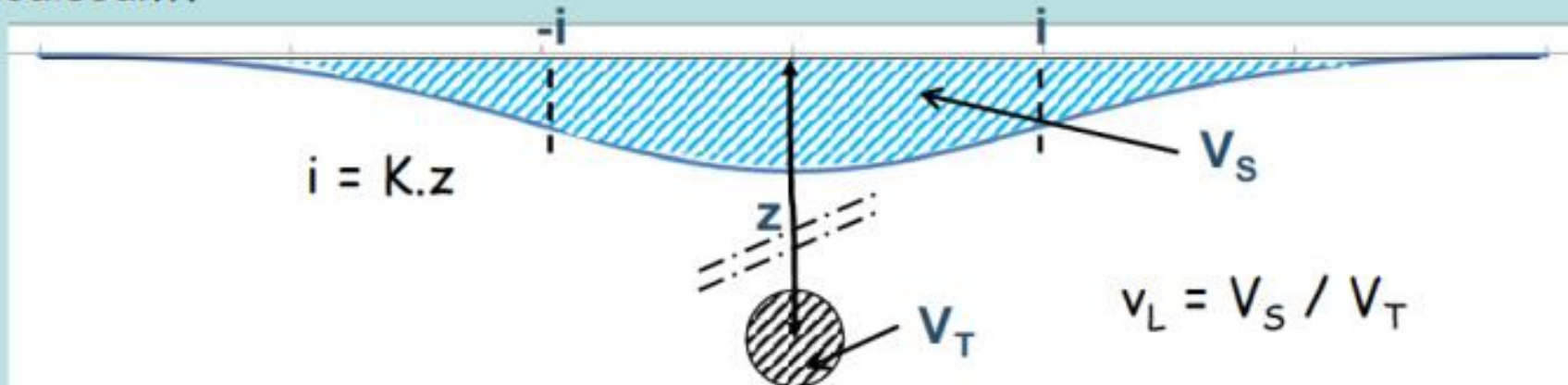
- **front de taille**
- **nature de soutènement**
- **phasage de réalisation des différents soutènements**

## Cuvette de tassement

### Forme générale de la cuvette de tassement (PECK 1969) - Méthode du « Volume Loss »

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 théorique de la section 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.



## Exemples de valeurs des paramètres $v_L$ et $K$

Technologie	$v_L = V_S/V_T$	Nature du terrain	$K = i/z$
Traditionnel	0,8% - 1,5%	Sol sans cohésion	0,3
Tunnelier		Argile normalement consolidée	0,5
		ouvert	0,6% - 1,2%
pression de terre	0,4% - 0,8%	Schiste argileux	0,6 - 0,8
pression de boue	0,2% - 0,6%	quartzite	0,8 - 0,9

## Limites de cette méthode

- Hypothèse de sol homogène (pas de multicouche)
- Chargement symétrique
- Problème de détermination a priori de la valeur de  $V_s$ 
  - Données basées sur des retours d'expérience mais avec des plages de variation peu précises
  - Dépend du mode de construction, du sol et de la qualité du creusement
  - Difficilement applicable au cas des charges non uniformes en faible couverture

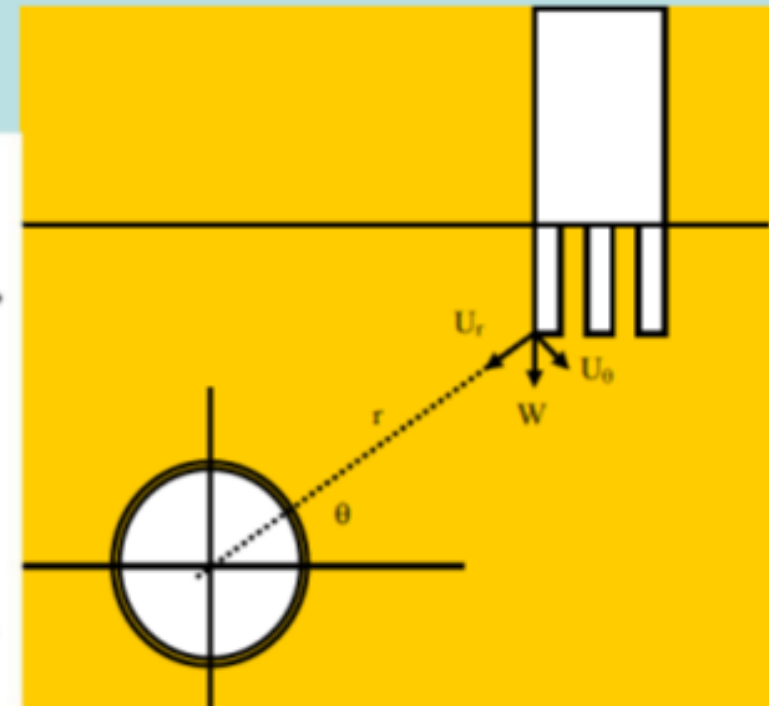
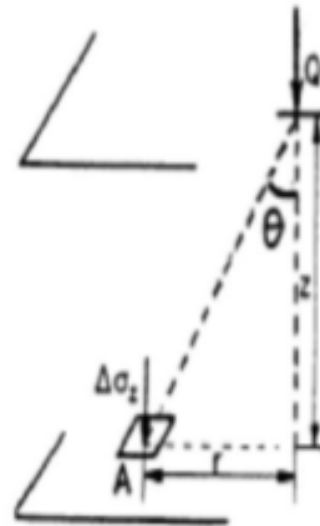
## Evaluation influence charge d'Immeubles sur la contrainte au niveau du tunnel

- Ordre de grandeur obtenu par la formule de Boussinesq

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{1}{z^2} \cdot \cos^5\theta$$

$$\Delta\tau_{rz} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{z^2 \cdot r}{(r^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{r}{z^3} \cdot \cos^5\theta$$

$\Delta\sigma_z$  et  $\Delta\tau_{rz}$  sont indépendants de E et  $\nu$ .



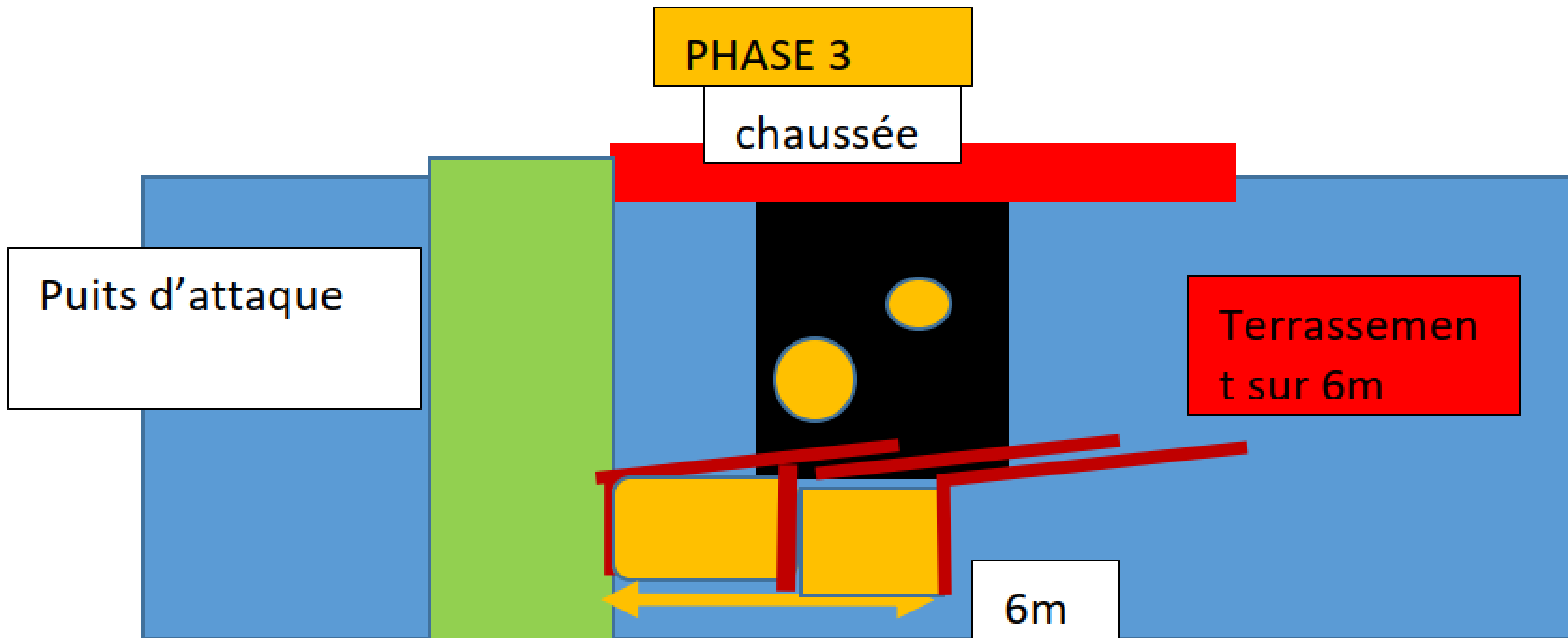
# CAS 1

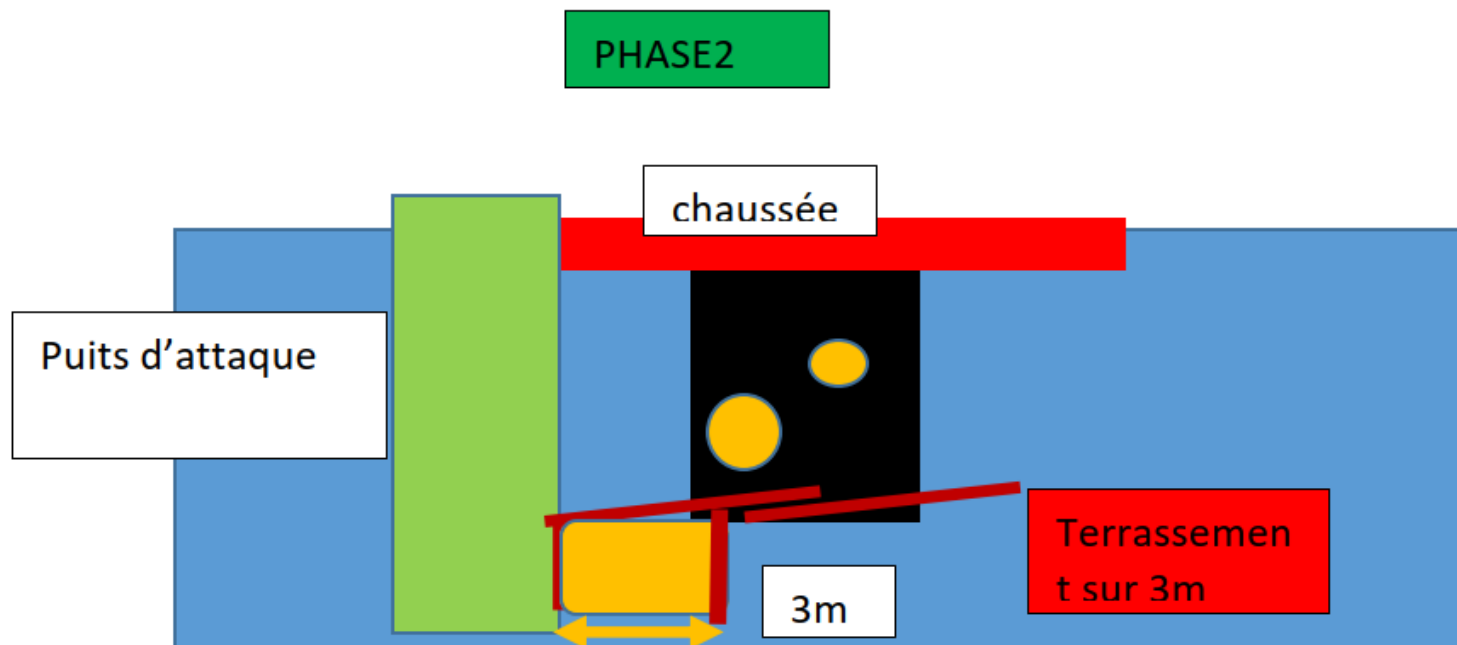
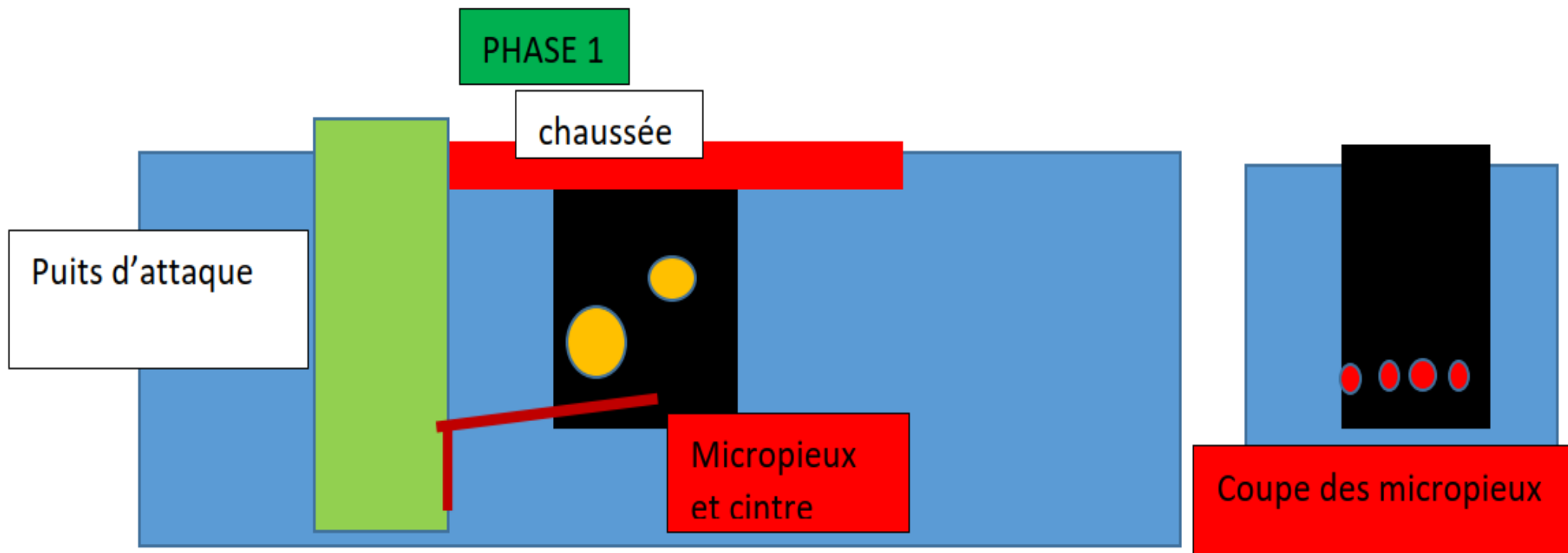
chaussée



Tranchée avec  
conduites

Dalot prévu

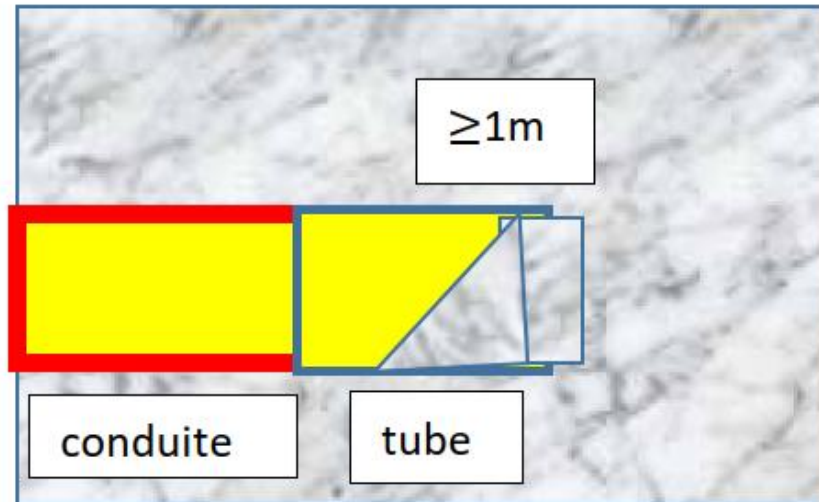
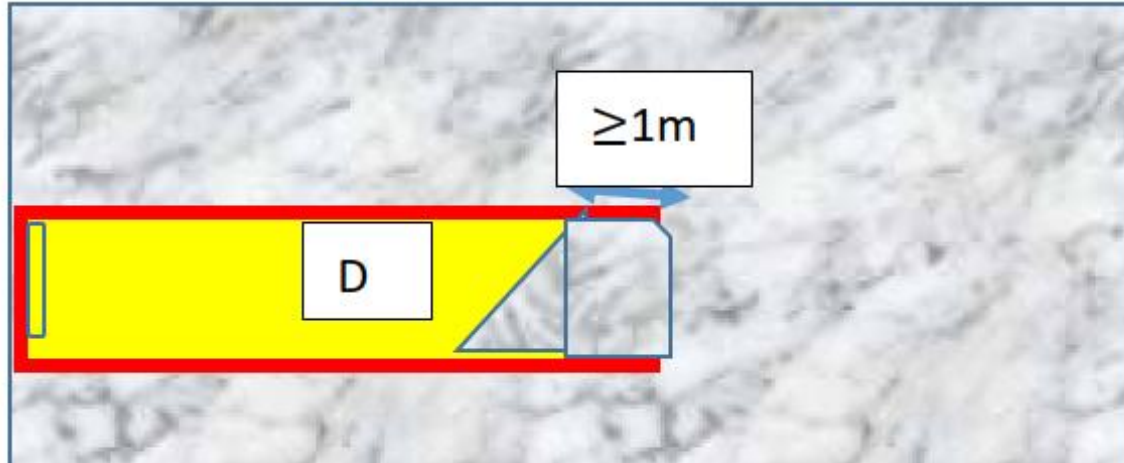




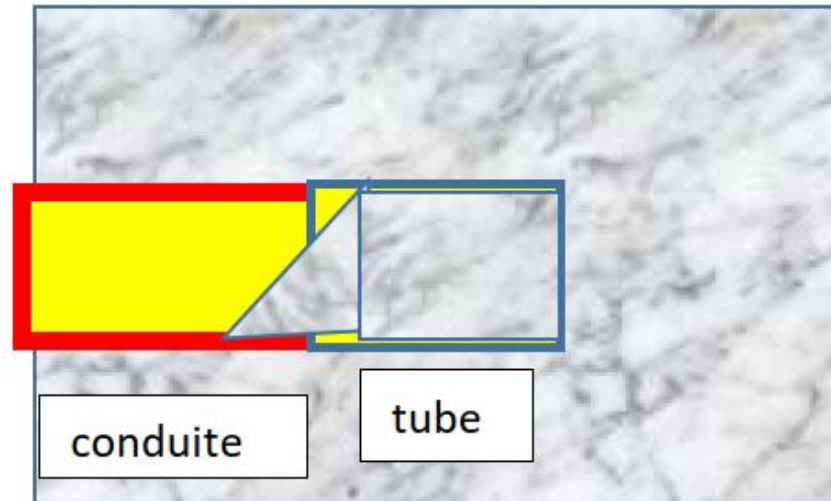
# CAS 2



## Stabilité du front

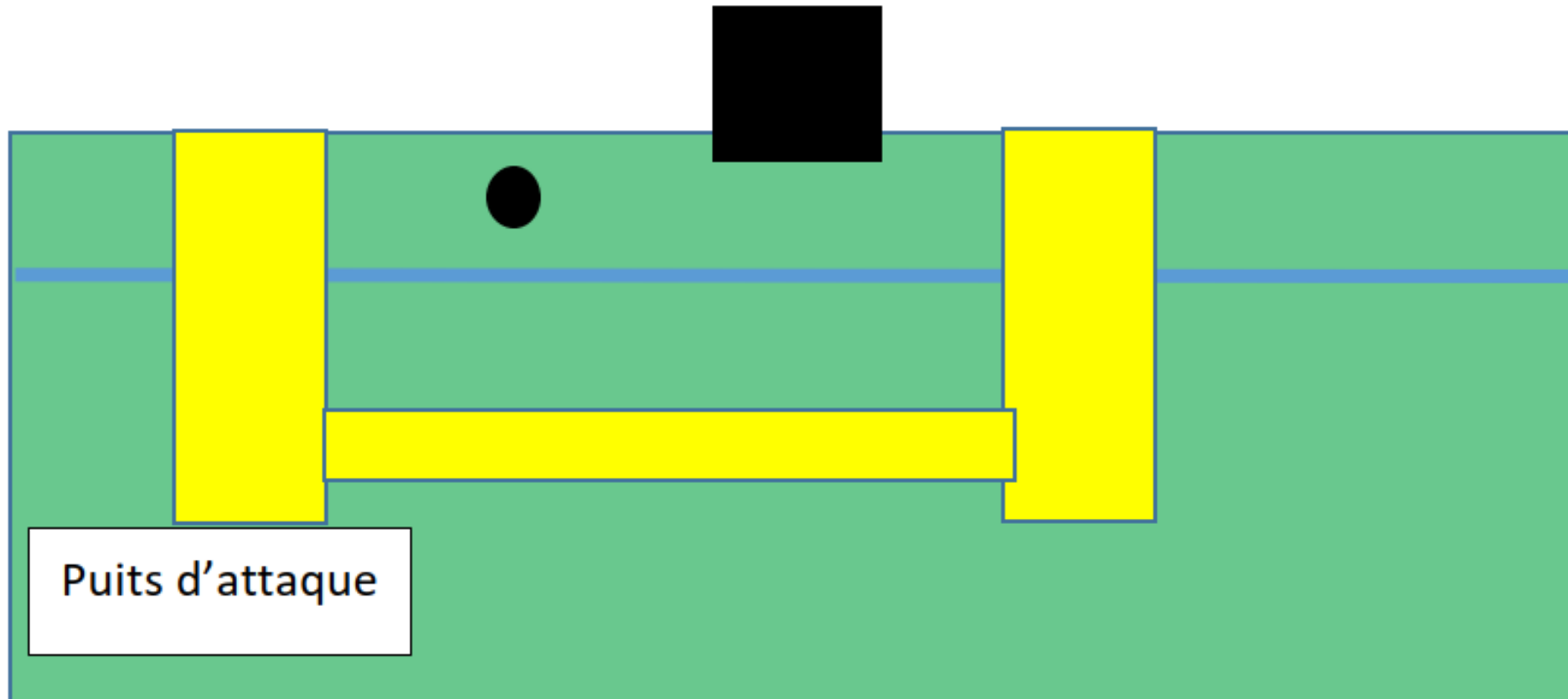


Excavation en laissant un bouchon de, sable



Enfoncement de l'ensemble jusqu'au refus

# CAS 3 Mohammedia



Type de sol	État	Dangers potentiels										Niveau de danger <sup>(1)</sup>
		Infiltration d' eau	Bouillage de l' équipement	Refus d' avancement	Soulèvement d' un bloc	Coinçage de l' équipement	Création de cavités	Déviations	Effondrement	Écoulement de sols	Fluage	
Blocs ( $\varnothing > 300$ mm), cailloux ( $\varnothing = 80$ à 300 mm) et graviers	s. o.	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	Élevé
Graviers et sables	Lâche	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	✓	-	Élevé
	Dense											Moyen



**MERCI**