

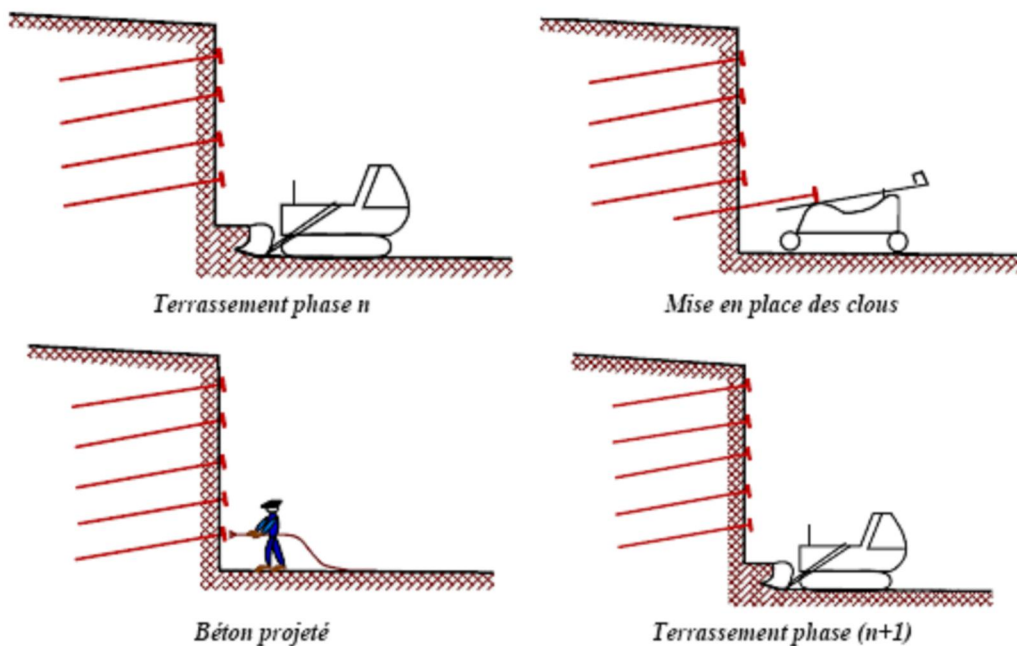
## Chapitre III Murs en sols cloués

### 1 Définition et exécution des murs en sol cloué

Un mur en sol cloué est un **massif de sol en déblai renforcé** par la mise en place de **barres** placées **au fur et à mesure de son excavation**.

La constitution d'un mur en sol cloué se fait par phases descendantes (Fig 1) :

1. terrassement de 1 à 2 m,
2. mise en place de clous subhorizontaux dans le sol en place,
3. réalisation d'un parement : béton projeté sur treillis soudé, béton de fibres, éléments préfabriqués.



**Fig. 1 Phases d'exécution d'un mur en cloué**

Les barres peuvent être mises en place de deux façons principales :

- scellement au coulis de ciment dans un **forage préalable** (Fig.2) ;
- **battage** ou vibrofonçage (Fig.3).



**Fig.2 Forage préalable à la tarière hélicoïdale**



**Fig.3 Battage d'une cornière**

## 2 Avantages et limitations des murs en sol cloué

Les techniques de clouage présentent des avantages certains sur des techniques concurrentes. Elles ne nécessitent qu'un **matériel réduit** pour la construction des ouvrages, sont rapides d'exécution et d'un coût très compétitif.

L'ensemble de ces avantages explique le développement spectaculaire du clouage des sols aussi bien en génie civil qu'en bâtiment (parois temporaires ou permanentes de parking).

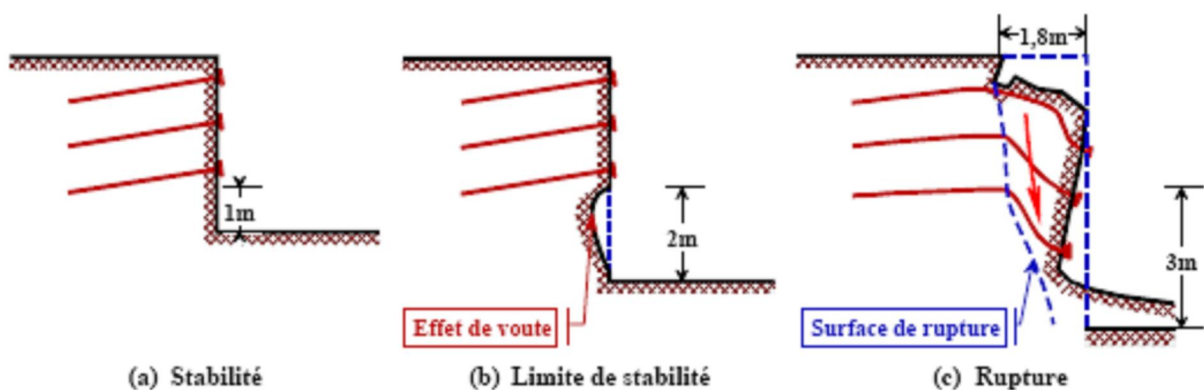
Cependant le clouage des sols présente certaines **limitations** qu'il est nécessaire de prendre en compte pour juger de l'opportunité de son emploi.

La première provient du mode même d'exécution qui consiste au début de chaque phase à terrasser un terrain non renforcé. Cette étape nécessite un **sol légèrement cohérent et hors nappe**.

La seconde limitation concerne l'utilisation du clouage en **zone urbaine** à proximité d'ouvrages existants. En effet, les déplacements du sol au fur et à mesure de l'excavation sont inhérents au principe même du clouage. Ils peuvent entraîner des désordres sur des structures sensibles. On peut limiter ces déplacements en plaçant un ou plusieurs lits de tirants d'ancrage précontraints entre les lits de clous.

## 3 Comportement des murs en sol cloué durant leur construction

Durant la construction du mur, la mise en traction des clous au parement se fait au cours des 4 excavations postérieures à leur mise en place, ensuite cette traction se stabilise. Cette mise en traction correspond principalement à la décompression latérale de l'ensemble du massif de sol ainsi qu'au développement d'effets de voûte successifs au fur et à mesure de l'excavation.



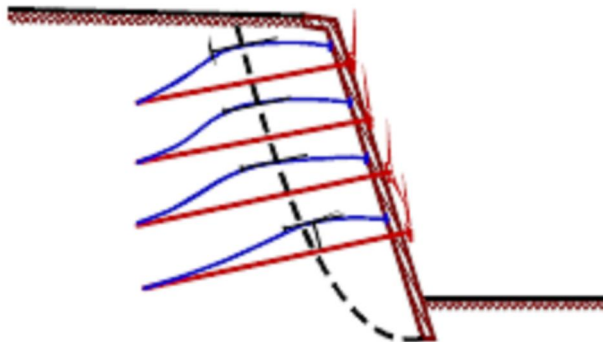
**Fig. 4 Stabilité des phases d'excavation**

La stabilité locale des phases d'excavation est un des points essentiels de la construction des murs en sol cloué. C'est l'effet de voûte qui est le phénomène majeur dans la stabilité locale de l'excavation. Il existe une hauteur critique d'excavation à ne pas dépasser, faute de quoi l'effet de voûte est détruit, ce qui provoque une rupture globale avec écoulement du sol tout au long du parement. (Fig.4). Seule l'expérience permet de déterminer la hauteur critique qui est fonction de la nature du sol ; généralement elle est limitée à 2 m.

Au cours des excavations successives, le massif de sol renforcé se décomprime latéralement en même temps qu'il tasse. En fin de construction, les déplacements horizontaux et verticaux sont maximaux en tête.

Mais comme pour les murs en Terre Armée, dans les murs en sol cloué, le lieu géométrique des points de traction maximale  $T_{MAX}$  permet de séparer le massif en deux zones (Fig.5).

1. une zone active, derrière le parement, où les contraintes de frottement latéral exercées par le sol sur les clous sont dirigées vers l'extérieur ;
2. une zone résistante où les contraintes de frottement latéral sont dirigées vers l'intérieur et s'opposent au déplacement latéral de la zone active.



**Fig. 5 Comportement d'un mur en sol cloué**

Deux types d'interaction sol/clou se rencontrent dans le clouage utilisé en soutènement :

- l'interaction de frottement latéral que le sol exerce le long du clou et qui permet la mise en traction du clou est la plus importante et celle qui se mobilise à l'état de service,
- l'interaction de butée du sol le long du clou lors du déplacement latéral du clou mobilise des moments fléchissants et des efforts tranchants, elle s'exerce au moment de la rupture du massif en sol cloué.

A défaut de calculs en déplacements, par la méthode des éléments finis ou des différences finies, des règles empiriques permettent d'estimer les déplacements des murs en sol cloué sous contraintes de service.

On peut schématiquement considérer que les déformations moyennes d'un mur en sol cloué à surface horizontale peuvent être estimées à partir de trois paramètres de déplacement (Fig.6).

$\delta_o$  : déplacement horizontal en surface à l'arrière du mur

$\delta_h$  : déplacement horizontal de la tête de parement

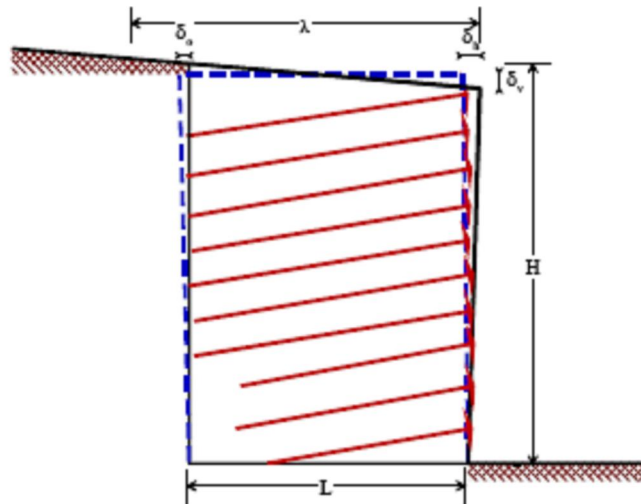
$\delta_v$  : déplacement vertical de la tête de parement.

Les mesures effectuées sur des ouvrages instrumentés ont permis de proposer les règles suivantes :

- le déplacement horizontal  $\delta_h$  est du même ordre de grandeur que le déplacement vertical  $\delta_v$ ,
- le déplacement  $\delta_o$  est généralement compris entre  $4H/10000$  et  $5H/10000$ , sa valeur variant en sens inverse du rapport  $L/H$ , et dépendant de la nature du sol ;
- les déplacements  $\delta_h$  et  $\delta_v$  sont compris entre  $H/1000$  et  $4H/1000$  et en l'état actuel des connaissances on pourra adopter les règles suivantes :

|                       | <i>Sols semi-rocheux</i> | <i>Sables</i>     | <i>Argiles</i>    |
|-----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| $\delta_v = \delta_h$ | $\frac{H}{1000}$         | $\frac{2H}{1000}$ | $\frac{4H}{1000}$ |
| $\kappa$              | 0,8                      | 1,25              | 1,5               |

où  $\kappa$  permet de déterminer la longueur  $\lambda$  sur laquelle les déformations s'amortissent  $\lambda = H (1 - \tan \eta) \kappa$



**Fig. 6 Déplacements et déformations schématiques d'un mur en sol cloué**

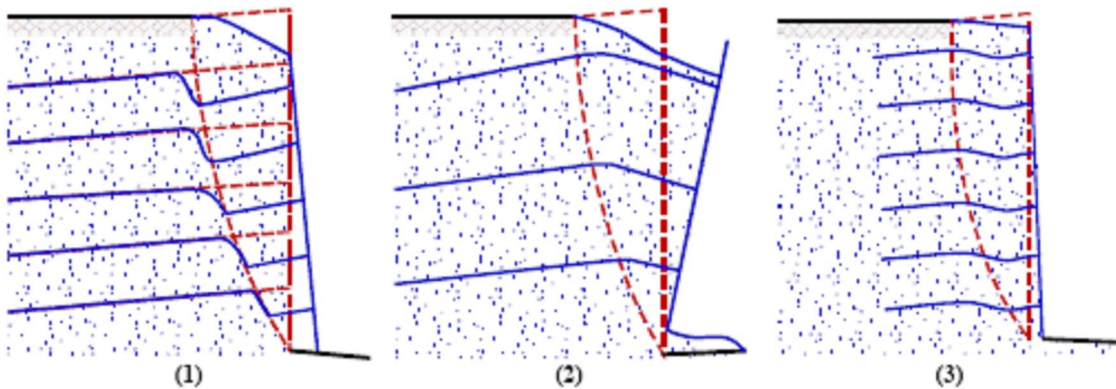
#### 4 Types de rupture

On distingue les ruptures internes et la rupture externe dans laquelle le mur se comporte comme un bloc monolithique.

- **Ruptures internes**

Les massifs en sol cloué peuvent périr suivant trois modes de rupture principaux (Fig.7) :

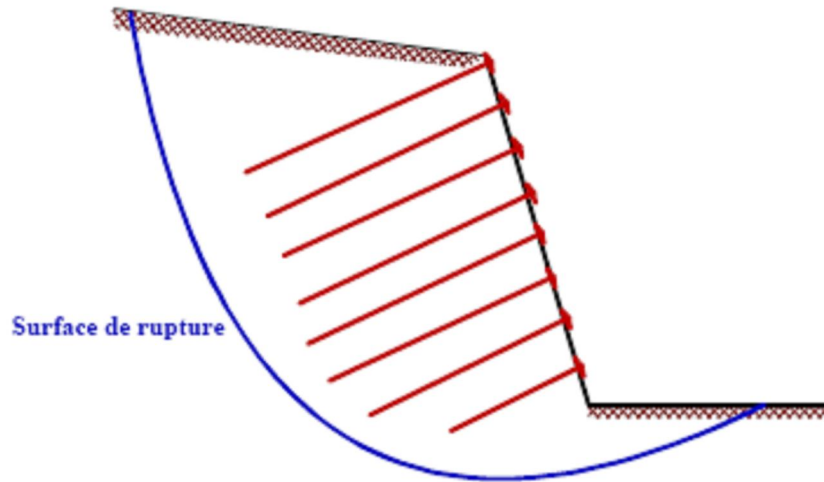
- 1) rupture par cassure des armatures des clous,
- 2) rupture en cours d'exécution, durant une phase de terrassement de trop grande hauteur,
- 3) rupture par défaut d'adhérence des clous



**Fig. 7 Schémas des trois types de rupture**

- **Rupture globale**

Ce type de rupture est commun à tous les ouvrages de soutènement, elle se produit généralement par glissement le long d'une surface de rupture englobant l'ouvrage et passant dans le sol de fondation (Fig.8)



**Fig. 8 Rupture globale**