

## Chapitre 2 OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT

### 2.1 Introduction

Les ouvrages de soutènements sont destinés à retenir soit des terres (sols, roches ou remblais) et de l'eau. Ils comprennent tous les types de murs et de systèmes d'appui dans lesquels des éléments de structure subissent des forces imposées par le matériau soutenu.

Le principe du "mur" de soutènement est de reprendre un effort de poussée du sol et de le "retransmettre" au sol en l'équilibrant par son poids propre ou par encastrement de l'ouvrage de soutènement ou aussi par des ancrages.

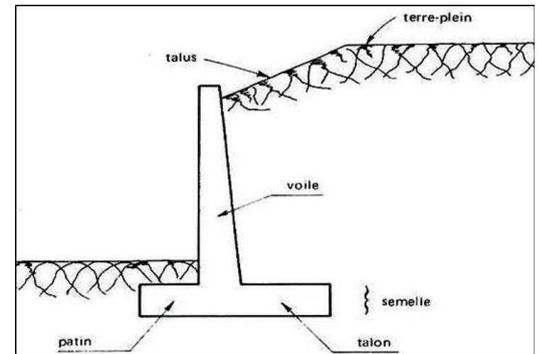
### 2.2 Différents types d'ouvrages de soutènement

Il existe de nombreux types d'ouvrages de soutènement, qui ont été conçus pour répondre aux situations les plus diverses.

Ils se distinguent principalement par :

- leur morphologie ;
- leur mode de fonctionnement
- les matériaux qui les constituent ;
- leur mode d'exécution ;
- leur domaine d'emploi privilégié (urbain, montagneux, aquatique,...)

Le tableau 1 montre les divers types d'ouvrages de soutènement classés d'après le mode de reprise de la poussée, en séparant les ouvrages rigides des ouvrages souples ou semi-souples.



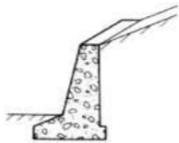
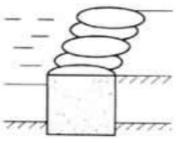
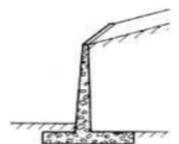
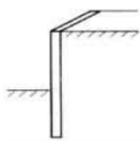
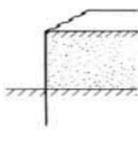
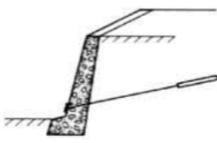
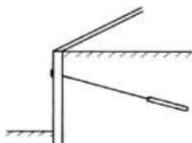
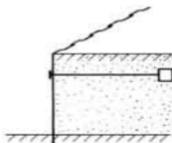
Mode de reprise de la poussée	Ouvrages de soutènement		
Poids de l'ouvrage	 Mur poids en béton ou maçonnerie	 Mur en Terre Armée	 Ouvrage cellulaire
Encastrement	 Mur cantilever en béton armé	 Paroi moulée	 Rideau de palplanches
Ancrage	 Mur en béton, ancré	 Paroi moulée ancrée	 Rideau ancré

Tableau 1 – Classification des ouvrages de soutènement d'après le mode de reprise de la poussée

#### 2.2.1 Cas où la poussée est reprise par le poids de l'ouvrage de soutènement

- **Le mur poids en béton ou en maçonnerie.** Ce sont des **ouvrages rigides** qui ne peuvent supporter sans dommages des tassements différentiels.
- **Les murs en Terre Armée**, dans lesquels le sol est renforcé par des inclusions souples résistant à la traction, sont des **ouvrages souples** qui supportent les tassements différentiels du sol de fondation.
- **Les ouvrages cellulaires** sont très variés et le type le plus ancien est le mur caisson en éléments préfabriqués. Dans un ouvrage cellulaire, la cellule est remplie de sol et l'ensemble forme un ouvrage qui peut être, dans certains cas, **très souple**.

### 2.2.2 Cas reprise de poussée par encastrement de l'ouvrage de soutènement dans le sol de fondation

Parmi les ouvrages de ce type, on citera :

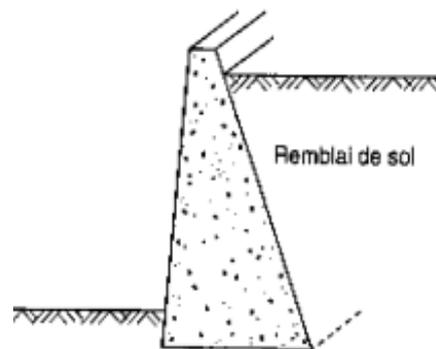
- **Le mur cantilever en béton armé** qui, doté d'une base élargie et encastree à la partie supérieure du sol de fondation, fonctionne en faisant participer à l'action de soutènement une partie du poids du remblai. Les murs cantilevers en béton armé sont également des **ouvrages rigides** ;
- **Les murs en parois moulées**, technique qui consiste à construire un mur au sein du sol en place, avant toute excavation, par bétonnage d'une tranchée remplie de boue pour en assurer la stabilité. Une paroi moulée fonctionne par encastrement total ou partiel dans le sol de fondation ;
- **Les rideaux de palplanches**, encastres dans le sol de fondation : ce sont des **ouvrages de soutènement flexibles**, où l'interaction structure-remblai a une influence prépondérante sur le comportement de l'ouvrage.

### 2.2.3 Cas où la poussée est reprise en totalité ou en partie par des ancrages

Dans les ouvrages de soutènement en déblai, l'effort de poussée est fréquemment repris en partie ou en totalité par **des ancrages**. C'est le cas notamment des rideaux des parois moulées et des parois berlinoises. Les murs de soutènement.

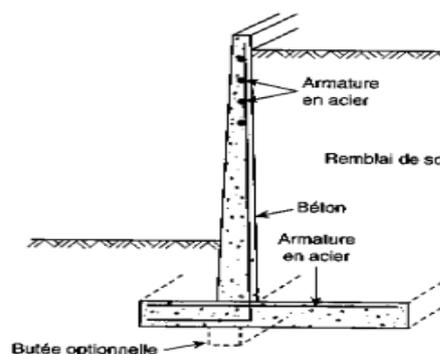
### 2.2.4 Quelques types des murs de soutènements

- 1) **Mur poids** : est le plus ancien et le plus simple à construire. Il est en maçonnerie ou en béton ne comporte pas d'armature en acier. Sa stabilité est assurée par son poids et sa largeur.



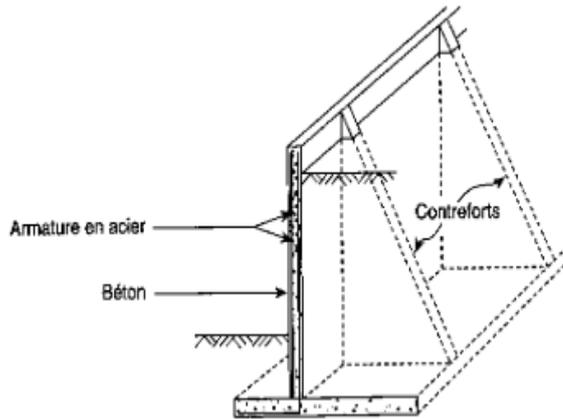
Mur poids

- 2) **Mur cantilever ou en béton armé**: est appuyé sur une large semelle filante. Ce mur en porte-à-faux est relativement mince et nécessite une armature en acier. Sa stabilité est assurée par son propre poids ainsi que par le poids du sol sur la semelle du côté amont. Le sol s'appuyant sur le mur du côté aval de même que la butée optionnelle placée sous la semelle s'opposent aux forces de glissement.



Mur cantilever

3) **Mur à contreforts**: à l'exception des contreforts qui permettent de réduire son épaisseur, le mur à contreforts ressemble au mur cantilever. Les contreforts sont placés à intervalles réguliers, l'espacement idéal correspondant à la demi-hauteur du mur. La stabilité du mur contrefort est assurée par le poids du sol sur la semelle et le poids du mur lui-même.



Mur à contrefort

4) **Rideaux de palplanches**

Ils sont constitués de palplanches (profilés métalliques rectilignes) mises en oeuvre par battage ou vibrofonçage. Les rideaux de palplanches peuvent être :

- **non ancrés** : les palplanches sont simplement fichées dans le sol,
- **ancrés** par l'ajout de tirants passifs (a) ou actifs (précontraints) (b),

(a) (b)

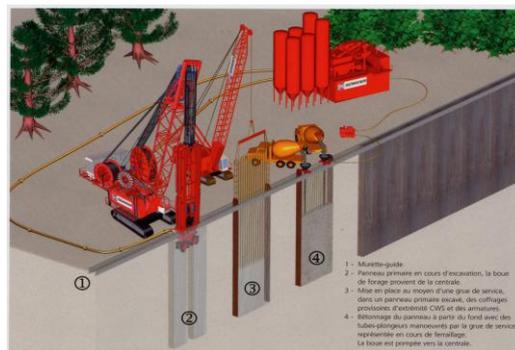
Rideaux de palplanches ancrés par tirants passifs et actifs.

5) **Paroi moulée ou préfabriquée**

La paroi est composée de panneaux verticaux en béton armé juxtaposés. Les deux principales étapes de réalisation sont (Figure) :

1. excavation d'une tranchée maintenue à l'aide de boue bentonitique,
2. mise en place de la cage d'armatures et bétonnage, ou mise en place de panneaux préfabriqués.

Lors du déblaiement contre la paroi, des tirants actifs ou des butons sont éventuellement mis en place.



Principe de réalisation d'une paroi moulée.

### 2.3 Stabilité externe et interne

Pour dimensionner un ouvrage il va être nécessaire de vérifier :

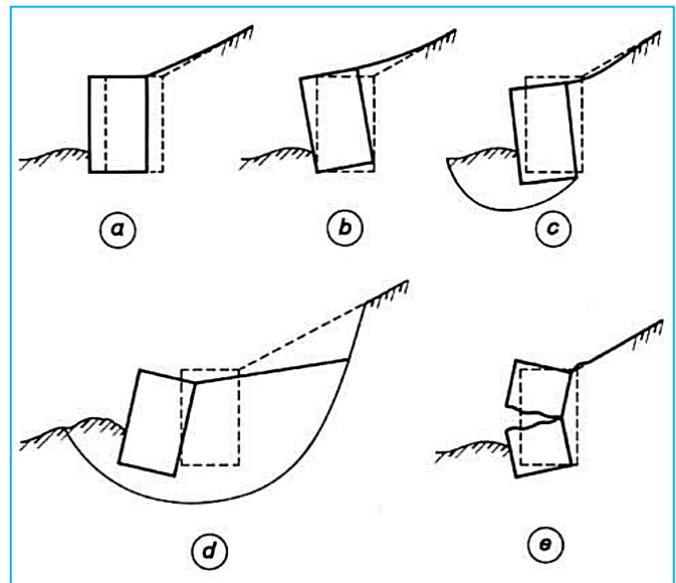
- Sa **stabilité externe**, en particulier par rapport à la poussée des terrains ;
- Sa **stabilité interne** : est propre à chaque type d'ouvrage. C'est la résistance propre de la structure, qu'il y a lieu de vérifier vis-à-vis des efforts (et déplacements) qui la sollicitent.

Dans le cas des murs poids, cette étude relève des calculs classiques de béton. Pour les murs en béton armé (ou murs cantilever), la stabilité interne se vérifie par un calcul de béton armé.

Dans la suite nous nous intéresserons essentiellement à **la stabilité externe** du mur. Le calcul de la **stabilité interne** conduit à dimensionner les ferraillements appropriés pour un béton armé.

Il y a cinq modes de rupture peuvent être rencontrés dans les ouvrages de soutènements, ils sont illustrés à la figure ci –contre:

- Figure(a), Le glissement de l'ouvrage sur sa base;
- Figure(b), Le renversement de l'ouvrage;
- Figure(c), Le poinçonnement du sol de fondation;
- Figure(d), Le grand glissement englobant l'ouvrage;
- Figure(e), La rupture des éléments structuraux de l'ouvrage.



**Figure 1 – Modes de rupture des ouvrages de soutènement**

**Les quatre premiers types** de rupture sont relatifs à l'**instabilité externe** de l'ouvrage, la rupture des éléments structuraux constituant l'**instabilité interne**.

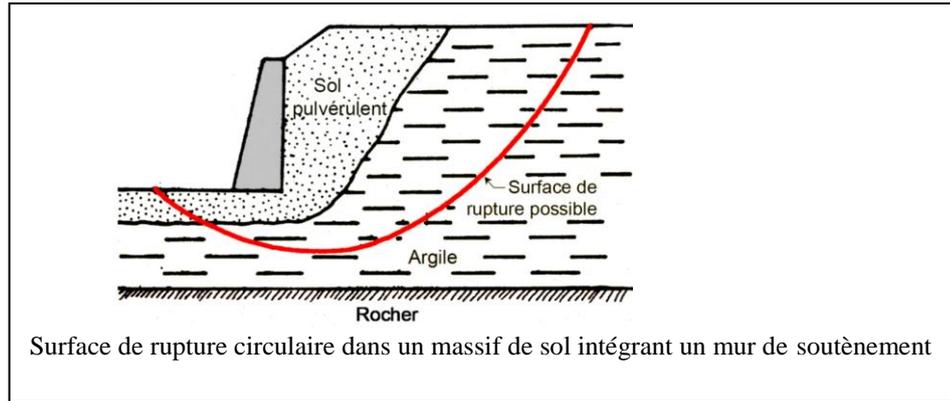
L'étude de la stabilité externe d'un ouvrage de soutènement fait appel à des concepts et à des méthodes de calcul qui sont communs à l'ensemble des ouvrages. Nous ne les détaillerons que dans le cas des murs en béton ou en maçonnerie.

#### 2.3 Dimensionnement d'un mur de soutènement – stabilité externe

La plupart des méthodes de dimensionnement reposent sur des calculs à la rupture avec prise en compte de coefficients de sécurité. C'est le cas en particulier pour les ouvrages « rigides » (murs poids, murs en béton armé). Dans l'évaluation de la stabilité d'un mur de soutènement, il faut analyser :

- La stabilité vis à vis au renversement;
- La stabilité vis à vis du glissement horizontal : vérifié que l'ouvrage ne glisse pas sur sa base;
- La capacité portante à la rupture : stabilité au poinçonnement (comme dans les fondations);
- Le tassement;
- La stabilité de l'ensemble (cette étude relève du domaine de la stabilité des pentes).

La **rupture d'ensemble** se traduit par un **glissement de terrain** de grande ampleur entraînant avec lui le mur de soutènement



#### 4.3.1 Stabilité au glissement, renversement et poinçonnement

Les efforts qui s'appliquent sur l'ouvrage sont :

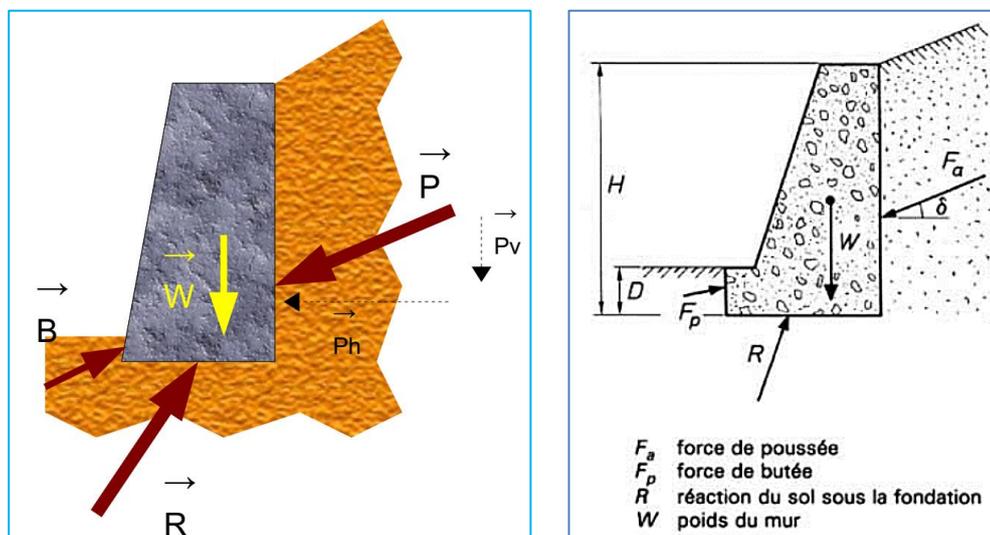


Figure 2–Forces s'exerçant sur un mur-poids

On raisonne dans le cas général schématisé ci-dessus. Les forces agissant sur le mur sont :

- $W$  : poids propre du mur dont le point d'application est le centre de gravité de celui-ci,
- $P_a$  : la force de poussée (action des terres à l'arrière du mur) ;
- $B(F_p)$  : la force de butée à l'aval (réaction des terres)
- $R$  : réaction du sol d'assise

A ces forces peuvent également s'ajouter :

- Les résultantes des forces hydrostatiques sur les parements amont et aval et sous la semelle en cas de présence d'une nappe au repos,
- Les résultantes des forces d'écoulement en cas de présence d'une nappe en mouvement,
- Des forces concentrées en certains points (tirants d'ancrage par exemple).

La stabilité d'un ouvrage de soutènement doit être étudiée aux états limites.

En premier lieu, il convient de vérifier que les déplacements du mur sont suffisants pour mobiliser la poussée ou la butée. La force de poussée doit, par ailleurs, être calculée en fonction des conditions hydrauliques probables les plus défavorables derrière le mur. Il faut avoir présent à l'esprit qu'un remblai horizontal totalement saturé d'eau pousse environ 2,5 fois plus que le même remblai sec.

Il est donc nécessaire d'éviter toute saturation du remblai et de toujours assurer un bon drainage à l'arrière d'un mur (en utilisant des barbacanes, des drains, des filtres...) de façon à diminuer l'effet de l'eau sur la force de poussée exercée.

**1) Stabilité au renversement – non basculement**

La sécurité vis-à-vis du renversement sera assurée si le moment des forces stabilisantes (moment résistant) est supérieur au moment des forces de renversement (moments moteurs) (forces qui tendent à renverser le mur autour de son arête inférieure aval de sa fondation – arête extérieure, c'est la composante horizontale de la poussée).

On définit le coefficient de sécurité au renversement  $F_R$  par :

$$F_R = \frac{\text{Moment stabilisant (résistant)}}{\text{Moment de renversement (moteur)}} = \frac{W \cdot a + P_v \cdot c}{P_h \cdot b} \geq 1.5$$

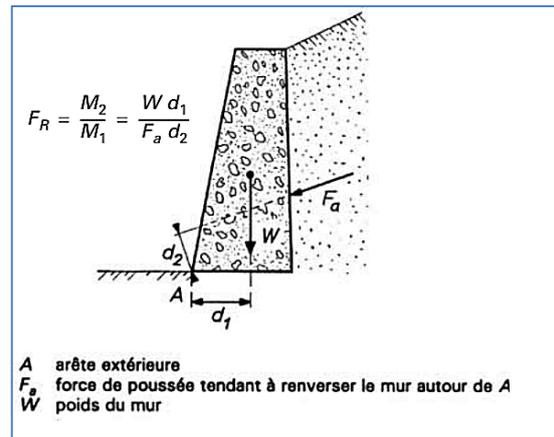
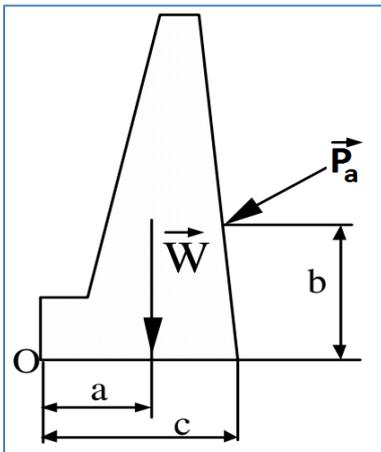


Figure 3 – Sécurité vis-à-vis au renversement du mur

Les moments résistants sont induits par :

- L'action du poids propre de l'ouvrage ou éventuellement celle du volume de sol qui sur sa fondation.
- L'action de la butée, bien que participant à la résistance au renversement est négligée par sécurité.

Les moments moteur sont ceux induits par :

- La poussée des terres éventuellement l'action de l'eau si celle-ci est retenue par l'ouvrage.

**2) Stabilité au glissement sur la base du mur**

Le coefficient de sécurité  $F_G$  vis à vis d'un glissement sur la base est défini comme le rapport de la force résistante de cisaillement à la composante tangentielle de la réaction exercée sur la base du mur (plan de sa fondation, qui s'oppose à la résultante des forces appliquées sur le mur). La résultante **R** peut être décomposé en une composante normale **N** et une composante tangentielle **T**.

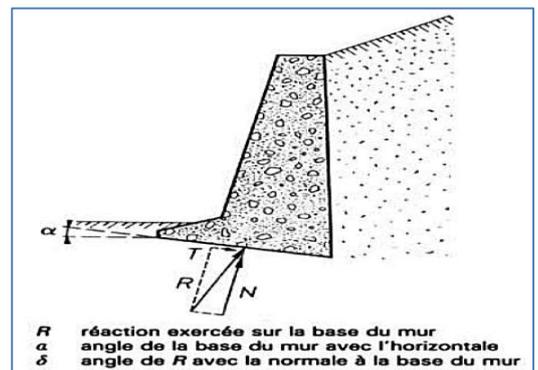
Si  $\tan \delta$  le coefficient de frottement entre le sol de fondation et la base du mur, le coefficient de sécurité vis-à-vis d'un glissement a pour expression :

$$F_G = \frac{c \cdot B + F_{verticales} \cdot \tan \delta}{F_{horizontales}} > 1.5$$

**c** : la cohésion du sol sous la base du mur

**B** : la largeur de la semelle ou base du mur

$\delta = \frac{2}{3} \phi$  et  $\phi$  angle de frottement du sol sous le mur



Sécurité vis-à-vis d'un glissement sur la base du mur

### 3) Stabilité au poinçonnement

La stabilité au poinçonnement consiste à vérifier que l'on se trouve suffisamment loin des conditions de rupture du sol de fondation. Vérifier les contraintes appliquées par le mur par rapport à la capacité portante de sol de fondation.

Dans son principe, sa justification consiste à vérifier que la contrainte normale appliquée au sol de fondation reste inférieure à une fraction de la contrainte de rupture du sol. Cette justification relève du calcul des fondations qui n'est pas l'objet de ce cours.

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) < \sigma_{adm} \quad \text{Pour assurer la résistance de sol.}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \geq 0 \quad \text{Pour éviter le soulèvement de la semelle}$$

Où B la largeur de la semelle, e l'excentricité,  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$  la contrainte maximal et minimale (en aval et en amont) respectivement et  $\sigma_{adm}$  la contrainte admissible de sol.

Pour que  $\sigma_{\min} \geq 0$  il faut que est situer au tiers médian de la semelle donc  $e \leq \frac{B}{6}$

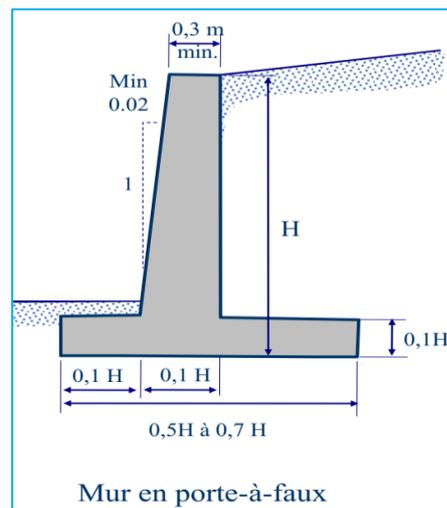
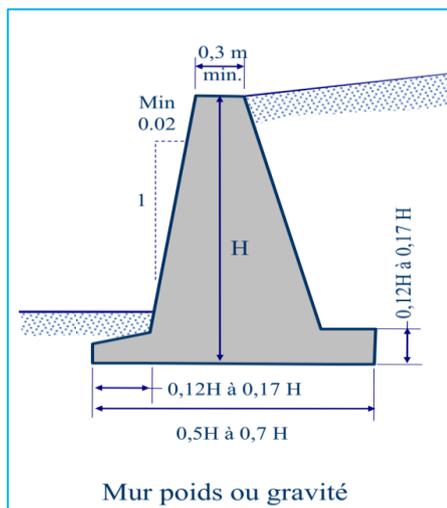
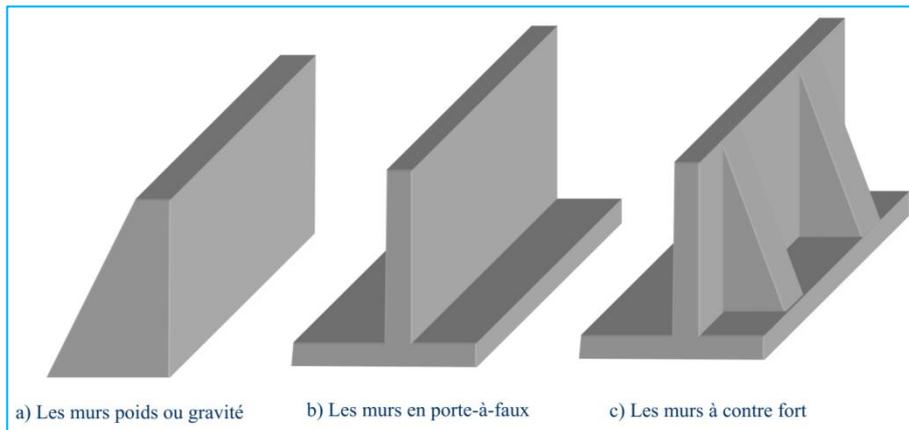
$$e = \frac{B}{2} - \frac{Ms - Mr}{\sum Fv}$$

avec Ms moment des forces stabilisatrices et Mr moment des forces motrices.

#### 4.3.2 Dimensionnement des ouvrages de soutènement

Dimensionner un mur de soutènement consiste à déterminer sa géométrie et sa structure (ferrailage pour un mur en béton armé) pour qu'il soit stable sous l'action des forces, la géométrie initiale d'un mur de soutènement peut être donnée par :

Nous ne nous intéresserons qu'au dimensionnement des ouvrages rigides (murs poids, murs cantilevers).



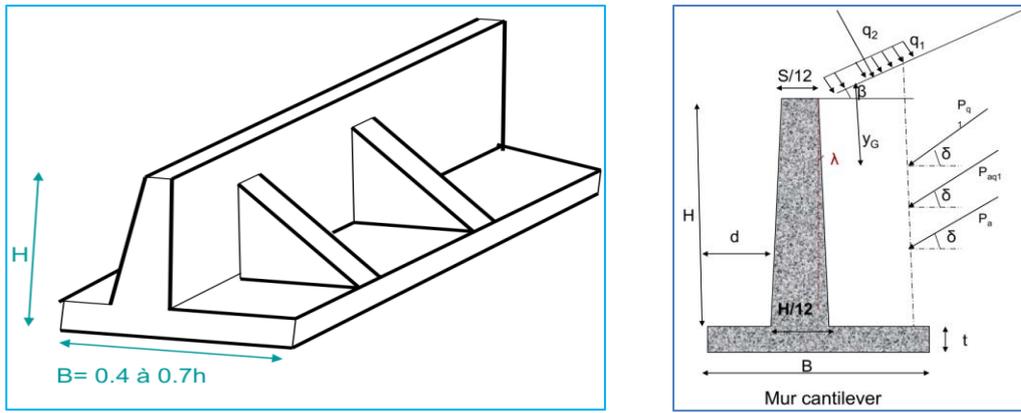


Figure 5 – Différents types de murs rigides

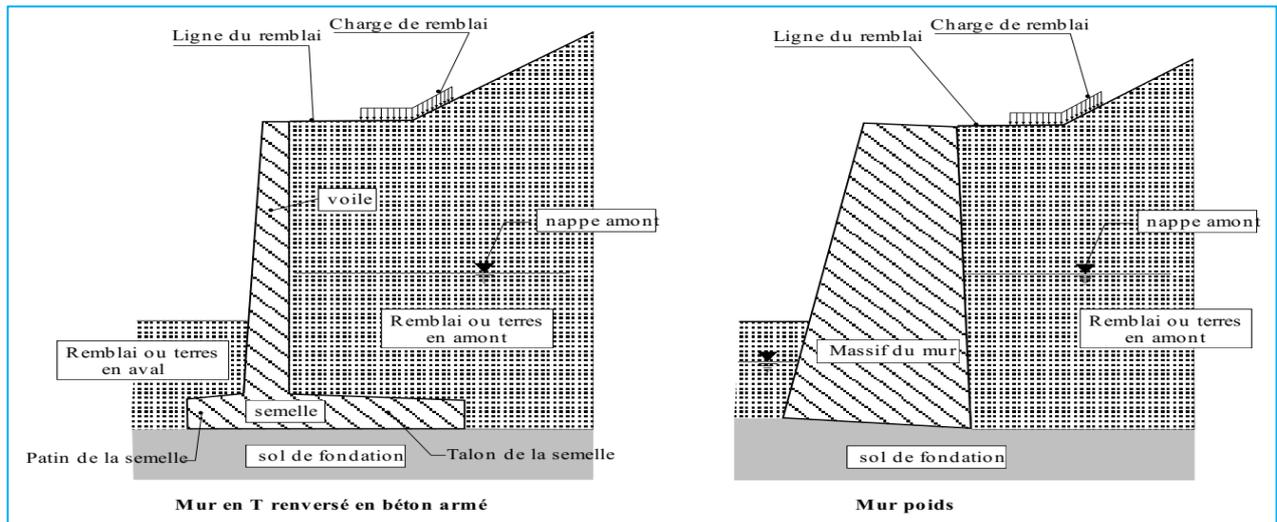
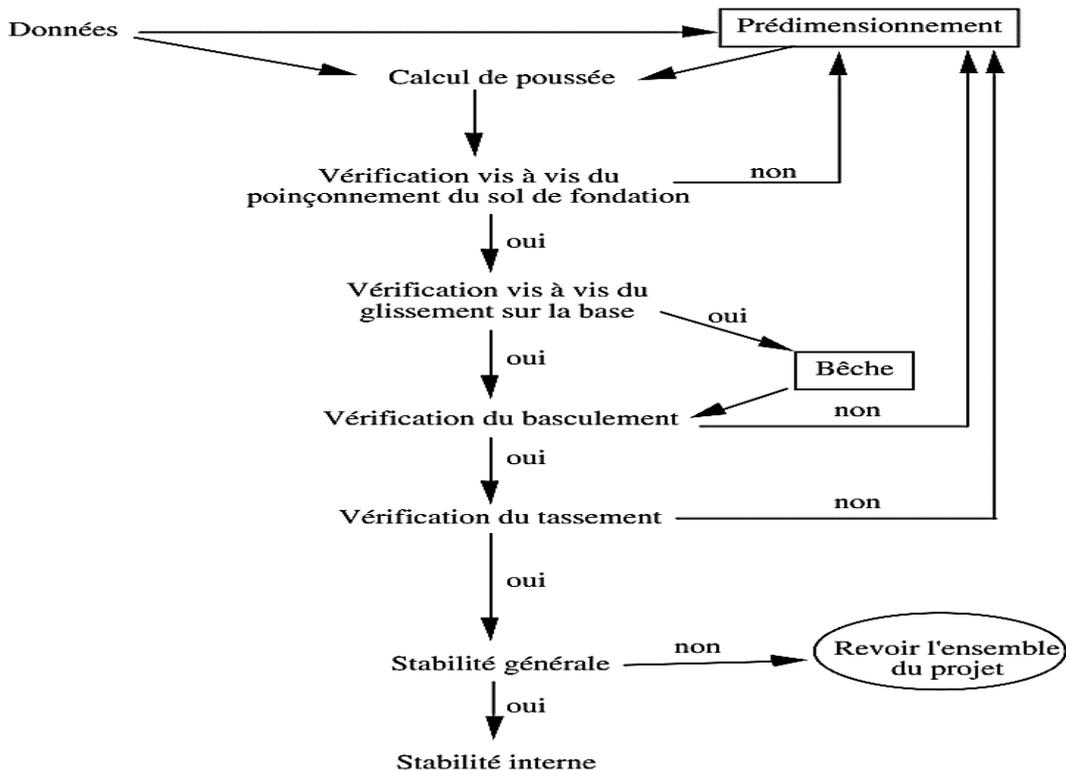


Figure 6 – Notions sur partie des murs

**Organigramme des différentes étapes d'évaluation de la stabilité d'un mur de soutènement**



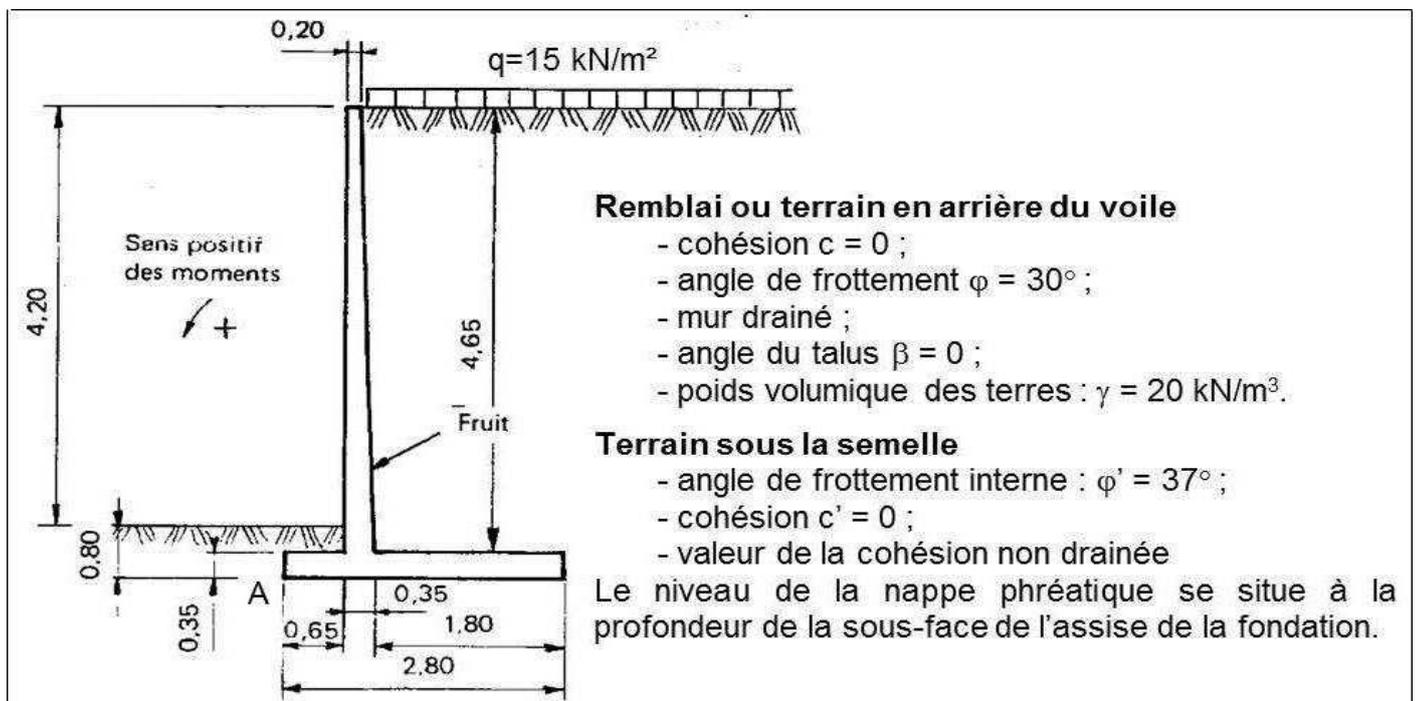
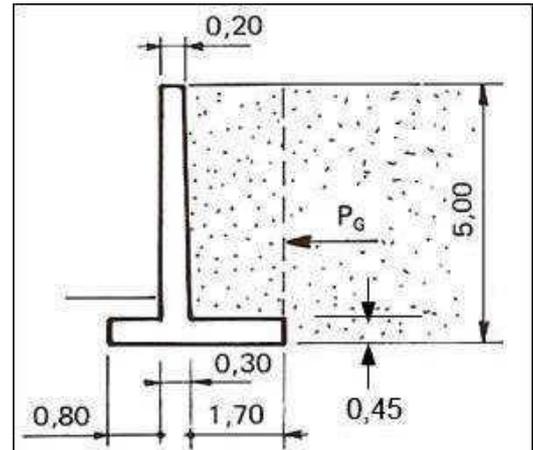
## TD

## Exercice 1

Considérons un mur de 5 m de hauteur totale (Figure) avec les données suivantes :

- cohésion nulle  $c = 0$  ;
- poids volumique des terres  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  ;
- poids volumique déjaugé des terres  $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$  ;
- angle de frottement interne  $\phi = 30^\circ$  ;

Calculer la stabilité du mur au glissement et au renversement



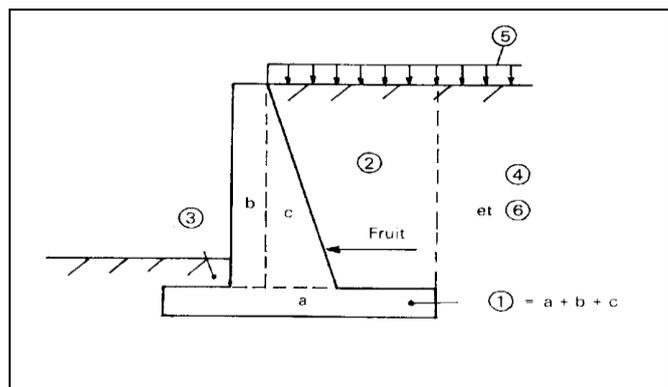
Coefficients de poussée à prendre en compte le long de l'écran fictif :  $k_a = 0,333$ .

La poussée des terres varie linéairement de : 0 en surface du terre-plein, à une valeur maximale à 5,0 m plus bas, égale à :

$$K_a \cdot \gamma \cdot H = 0,333 \times 20 (4,20 + 0,80) = 33,3 \text{ kN/m}^2$$

La poussée des charges  $q$  reste constante sur toute la hauteur de l'écran à une valeur :  $K_a \cdot q = 0,333 \times 15 = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Les efforts internes (les efforts horizontal  $F_h$  et vertical  $F_v$  et le moment au point A :  $M_A$ )



$\varphi$ [°]	$\delta$ [°]	$\beta$ [°]	$\alpha$ [°]								
			50	60	70	80	90	100	110	120	130
10	0	0	1.11	0.943	0.832	0.756	0.704	0.669	0.650	0.641	0.641
		10	1.41	1.20	1.06	0.982	0.937	0.922	0.900	0.895	0.890
	5	0	1.09	0.917	0.801	0.720	0.664	0.626	0.601	0.586	0.577
		10	1.45	1.23	1.08	1.00	0.951	0.936	0.920	0.900	0.890
	10	0	1.07	0.911	0.787	0.702	0.642	0.600	0.570	0.549	0.533
		10	1.53	1.29	1.13	1.05	0.991	0.966	0.950	0.940	0.935
15	0	0	1.02	0.850	0.735	0.651	0.589	0.541	0.504	0.472	0.438
		10	1.27	1.04	0.893	0.782	0.701	0.643	0.595	0.555	0.516
	5	0	1.00	0.828	0.709	0.622	0.557	0.507	0.467	0.433	0.395
		10	1.28	1.04	0.885	0.764	0.679	0.612	0.560	0.516	0.442
	10	0	1.00	0.821	0.695	0.603	0.536	0.484	0.442	0.405	0.365
		10	1.32	1.07	0.889	0.758	0.663	0.591	0.536	0.489	0.473
20	0	0	1.02	0.826	0.691	0.596	0.525	0.470	0.425	0.385	0.342
		10	1.38	1.11	0.903	0.760	0.657	0.581	0.522	0.471	0.420
	5	0	0.937	0.767	0.647	0.559	0.490	0.434	0.387	0.341	0.290
		10	1.15	0.920	0.765	0.653	0.568	0.500	0.441	0.387	0.329
	10	0	0.921	0.748	0.626	0.536	0.465	0.409	0.361	0.314	0.263
		10	1.14	0.915	0.754	0.634	0.546	0.474	0.414	0.360	0.301
25	0	0	1.47	1.19	1.03	0.907	0.840	0.786	0.763	0.741	0.736
		10	0.924	0.742	0.614	0.520	0.448	0.391	0.342	0.295	0.243
	5	0	1.17	0.926	0.751	0.626	0.531	0.457	0.396	0.340	0.280
		10	1.51	1.23	1.06	0.937	0.855	0.812	0.776	0.767	0.748
	10	0	0.942	0.745	0.610	0.512	0.438	0.379	0.328	0.280	0.229
		10	1.21	0.949	0.756	0.622	0.523	0.446	0.383	0.325	0.265
30	0	0	1.59	1.29	1.11	0.982	0.895	0.837	0.813	0.789	0.769
		10	0.970	0.759	0.614	0.511	0.434	0.372	0.319	0.270	0.217
	5	0	1.29	0.984	0.771	0.626	0.521	0.441	0.375	0.315	0.253
		10	1.72	1.39	1.18	1.04	0.951	0.888	0.848	0.821	0.800
	10	0	0.859	0.688	0.568	0.478	0.406	0.346	0.293	0.241	0.184
		10	1.03	0.814	0.661	0.549	0.462	0.389	0.327	0.267	0.203
35	0	0	1.25	1.00	0.818	0.681	0.569	0.480	0.401	0.326	0.249
		10	0.848	0.674	0.552	0.459	0.387	0.327	0.275	0.223	0.168
	5	0	1.03	0.810	0.648	0.532	0.443	0.370	0.308	0.249	0.186
		10	1.27	1.00	0.824	0.673	0.557	0.462	0.381	0.307	0.230
	10	0	0.851	0.671	0.542	0.448	0.374	0.313	0.261	0.210	0.156
		10	1.05	0.814	0.645	0.523	0.431	0.356	0.294	0.235	0.173
40	0	0	1.31	1.03	0.830	0.673	0.548	0.449	0.367	0.292	0.216
		10	0.866	0.672	0.540	0.441	0.365	0.304	0.251	0.200	0.146
	5	0	1.09	0.828	0.647	0.520	0.423	0.347	0.284	0.225	0.164
		10	1.37	1.107	0.853	0.678	0.545	0.441	0.357	0.282	0.206
	10	0	0.896	0.685	0.542	0.439	0.361	0.298	0.244	0.193	0.139
		10	1.14	0.856	0.658	0.521	0.420	0.342	0.277	0.217	0.156
45	0	0	1.45	1.12	0.886	0.688	0.545	0.438	0.351	0.274	0.198
		10	0.925	0.725	0.552	0.443	0.361	0.296	0.240	0.187	0.134
	5	0	1.22	0.920	0.676	0.528	0.423	0.341	0.273	0.212	0.151
		10	1.56	1.20	0.929	0.708	0.554	0.439	0.349	0.270	0.192
	10	0	0.787	0.617	0.497	0.406	0.333	0.272	0.218	0.165	0.108
		10	0.929	0.717	0.569	0.460	0.373	0.301	0.239	0.180	0.116
15	0	1.12	0.861	0.683	0.546	0.438	0.353	0.276	0.207	0.135	
	30	1.38	0.107	0.899	0.765	0.684	0.610	0.561	0.500	0.434	

Table de Caquot et Kérisel pour le calcul du coefficient de poussée active du au poids des terres  $K_a$   
(D'après Chen)

$\varphi$ [°]	$\delta$ [°]	$\beta$ [°]	$\alpha$ [°]								
			50	60	70	80	90	100	110	120	130
30	5	0	0.778	0.606	0.484	0.392	0.319	0.258	0.205	0.154	0.099
		10	0.932	0.715	0.559	0.446	0.359	0.287	0.226	0.168	0.108
		20	1.12	0.861	0.678	0.536	0.426	0.338	0.263	0.194	0.125
	10	30	1.39	1.09	0.912	0.776	6.694	0.619	0.570	0.507	0.428
		0	0.781	0.604	0.477	0.383	0.309	0.248	0.196	0.145	0.093
		10	0.946	0.720	0.557	0.439	0.349	0.277	0.216	0.159	0.100
	15	20	1.16	0.881	0.681	0.532	0.419	0.328	0.252	0.184	0.117
		30	1.43	1.14	0.934	0.795	0.712	0.634	0.570	0.506	0.426
		0	0.798	0.607	0.475	0.378	0.302	0.242	0.189	0.138	0.087
	20	10	0.972	0.728	0.558	0.437	0.343	0.270	0.209	0.152	0.095
		20	1.19	0.900	0.695	0.532	0.414	0.321	0.245	0.177	0.111
		30	1.51	1.18	0.968	0.823	0.738	0.657	0.590	0.524	0.442
25	0	0.821	0.618	0.479	0.377	0.299	0.237	0.184	0.134	0.083	
	10	1.01	0.750	0.566	0.437	0.341	0.266	0.204	0.147	0.091	
	20	1.25	0.943	0.712	0.539	0.414	0.318	0.240	0.172	0.106	
30	30	1.59	1.24	1.01	0.885	0.773	0.688	0.618	0.549	0.448	
	0	0.862	0.638	0.487	0.380	0.299	0.235	0.180	0.130	0.080	
	10	1.08	0.785	0.581	0.442	0.342	0.265	0.201	0.143	0.087	
35	20	1.35	1.00	0.739	0.550	0.418	0.318	0.238	0.169	0.103	
	30	1.74	1.35	1.11	0.940	0.820	0.729	0.654	0.564	0.473	
	0	0.900	0.770	0.501	0.387	0.302	0.236	0.179	0.127	0.078	
0	10	1.17	0.829	0.602	0.453	0.347	0.266	0.200	0.141	0.085	
	20	1.47	1.08	0.776	0.568	0.425	0.321	0.238	0.167	0.100	
	30	1.88	1.46	1.19	1.01	0.882	0.783	0.701	0.604	0.489	
5	0	0.717	0.551	0.433	0.343	0.271	0.211	0.158	0.107	0.057	
	10	0.837	0.634	0.491	0.383	0.299	0.230	0.171	0.115	0.060	
	20	0.986	0.741	0.572	0.443	0.342	0.261	0.191	0.128	0.066	
10	30	1.18	0.895	0.703	0.558	0.434	0.331	0.240	0.160	0.084	
	0	0.711	0.542	0.424	0.333	0.260	0.201	0.149	0.101	0.052	
	10	0.843	0.629	0.483	0.372	0.289	0.220	0.162	0.108	0.056	
15	20	1.01	0.741	0.568	0.435	0.333	0.250	0.182	0.120	0.060	
	30	1.20	0.904	0.708	0.557	0.426	0.320	0.230	0.151	0.078	
	0	0.717	0.543	0.418	0.326	0.253	0.194	0.143	0.095	0.049	
20	10	0.849	0.635	0.480	0.368	0.282	0.213	0.155	0.103	0.052	
	20	1.02	0.759	0.569	0.430	0.326	0.243	0.175	0.115	0.057	
	30	1.22	0.923	0.720	0.560	0.422	0.312	0.222	0.145	0.074	
25	0	0.731	0.546	0.417	0.322	0.248	0.189	0.138	0.091	0.046	
	10	0.876	0.643	0.481	0.365	0.277	0.208	0.150	0.098	0.049	
	20	1.05	0.775	0.575	0.430	0.322	0.238	0.170	0.110	0.054	
30	30	1.27	0.975	0.753	0.567	0.421	0.308	0.216	0.140	0.070	
	0	0.755	0.557	0.420	0.322	0.246	0.186	0.135	0.088	0.044	
	10	0.915	0.664	0.488	0.367	0.275	0.205	0.147	0.095	0.047	
35	20	1.11	0.800	0.592	0.434	0.322	0.235	0.166	0.107	0.052	
	30	1.36	1.02	0.781	0.580	0.424	0.306	0.214	0.137	0.068	
	0	0.791	0.575	0.430	0.325	0.246	0.185	0.133	0.086	0.043	
0	10	0.968	0.692	0.501	0.371	0.276	0.204	0.145	0.093	0.046	
	20	1.17	0.847	0.610	0.443	0.323	0.235	0.165	0.105	0.050	
	30	1.44	1.08	0.819	0.598	0.429	0.307	0.213	0.134	0.066	
5	0	0.846	0.601	0.442	0.331	0.249	0.185	0.132	0.085	0.042	
	10	1.04	0.730	0.519	0.379	0.280	0.205	0.144	0.092	0.044	
	20	1.27	0.908	0.637	0.455	0.329	0.237	0.164	0.103	0.049	
10	30	1.60	1.15	0.870	0.623	0.438	0.310	0.213	0.133	0.064	
	0	0.928	0.634	0.460	0.341	0.254	0.187	0.132	0.084	0.041	
	10	1.12	0.783	0.545	0.392	0.287	0.208	0.145	0.091	0.044	
15	20	1.41	0.989	0.676	0.473	0.337	0.241	0.166	0.103	0.048	
	30	1.75	1.29	0.951	0.656	0.457	0.318	0.216	0.134	0.064	

(Suite) Table de Caquot et Kérisel pour le calcul du coefficient de poussée active du au poids des terres  $K_a$   
(D'après Chen)

$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	$\beta$ [°]	$\alpha$ [°]									
			50	60	70	80	90	100	110	120	130	
10	0	0	1.58	1.44	1.38	1.37	1.42	1.54	1.74	2.06	2.60	
		10	1.87	1.69	1.62	1.61	1.68	1.81	2.05	2.45	3.11	
	5	0	1.61	1.50	1.45	1.48	1.56	1.71	1.96	2.36	3.03	
		10	2.05	1.87	1.80	1.81	1.90	2.08	2.39	2.89	3.74	
	15	10	0	1.66	1.56	1.54	1.58	1.68	1.87	2.16	2.64	3.45
			10	2.19	2.01	1.95	1.98	2.10	2.32	2.70	3.31	4.35
0		0	1.75	1.62	1.57	1.59	1.70	1.91	2.24	2.78	3.70	
		10	2.08	1.92	1.88	1.93	2.07	2.32	2.74	3.43	4.61	
5		0	1.78	1.68	1.67	1.74	1.89	2.15	2.57	3.24	4.40	
		10	2.27	2.13	2.10	2.18	2.36	2.69	3.22	4.10	5.62	
20	10	0	1.84	1.77	1.79	1.89	2.08	2.40	2.90	3.72	5.13	
		10	2.46	2.32	2.32	2.43	2.66	3.07	3.72	4.81	6.69	
	15	0	1.91	1.87	1.91	2.04	2.27	2.64	3.23	4.20	5.87	
		10	2.63	2.50	2.52	2.66	2.95	3.44	4.22	5.52	7.79	
	0	0	1.92	1.81	1.79	1.86	2.04	2.37	2.91	3.78	5.32	
		10	2.29	2.17	2.18	2.30	2.56	2.98	3.68	4.85	6.91	
25	20	0	2.78	2.62	2.62	2.77	3.09	3.63	4.50	5.98	8.63	
		5	1.98	1.90	1.92	2.04	2.30	2.72	3.39	4.49	6.45	
	10	0	2.52	2.41	2.45	2.63	2.96	3.51	4.40	5.90	8.57	
		10	3.14	2.99	3.02	3.24	3.65	4.35	5.49	7.42	10.9	
	0	0	2.05	2.01	2.08	2.26	2.58	3.09	3.91	5.27	7.69	
		10	2.75	2.67	2.75	2.98	3.39	4.08	5.19	7.05	10.4	
30	20	0	3.52	3.37	3.45	3.73	4.26	5.13	6.57	9.01	13.4	
		15	2.14	2.14	2.26	2.49	2.88	3.49	4.47	6.11	9.44	
	10	0	2.99	2.93	3.05	3.34	3.85	4.68	6.02	8.29	12.4	
		10	3.90	3.77	3.89	4.25	4.90	5.97	7.73	10.7	16.4	
	0	0	2.26	2.29	2.44	2.71	3.17	3.89	5.04	6.95	10.4	
		10	3.22	3.19	3.34	3.70	4.30	5.29	6.95	9.65	14.0	
35	20	0	4.26	4.15	4.32	4.77	5.55	6.83	8.94	12.5	18.9	
		0	2.14	2.05	2.06	2.18	2.46	2.98	3.81	5.23	7.80	
	10	0	2.54	2.46	2.53	2.76	3.18	3.88	5.02	6.99	10.6	
		10	3.15	3.04	3.14	3.44	4.00	4.91	6.43	9.06	13.9	
	5	0	2.21	2.15	2.22	2.42	2.82	3.47	4.53	6.33	9.64	
		10	2.81	2.75	2.88	3.19	3.74	4.63	6.11	8.66	13.4	
40	20	0	3.58	3.50	3.66	4.07	4.80	5.99	7.98	11.4	17.8	
		10	2.30	2.29	2.42	2.72	3.22	4.02	5.34	7.60	11.8	
	10	0	3.08	3.07	3.27	3.76	4.36	5.49	7.35	10.6	16.6	
		10	4.04	4.00	4.24	4.78	5.70	7.23	9.75	14.1	22.4	
	15	0	2.41	2.46	2.67	3.05	3.66	4.64	6.25	9.02	14.2	
		10	3.39	3.43	3.69	4.20	5.05	6.44	8.74	12.7	20.2	
45	20	0	4.54	4.55	4.87	5.55	6.70	8.59	11.7	17.2	27.4	
		0	2.56	2.67	2.94	3.40	4.13	5.31	7.23	10.6	16.8	
	10	0	3.72	3.80	4.13	4.76	5.80	7.47	10.4	15.3	24.5	
		10	5.07	5.12	5.55	6.38	7.79	10.1	14.5	21.4	34.5	
	25	0	2.74	2.89	3.21	3.76	4.62	6.00	8.26	12.2	19.5	
		10	4.05	4.18	4.59	5.34	6.57	8.54	12.0	17.8	29.7	
30	0	5.60	5.71	6.23	7.24	8.90	11.6	16.8	25.0	40.4		