

JOURNEE TECHNIQUE DU CFMS DU 11 OCTOBRE 2012

« Justification des ouvrages géotechniques

Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 »

OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT

Remblais renforcés et massifs en sol cloué

NFP 94-270

Analyse de la partie relative aux massifs en sol cloué

Marc FAVRE



GEOS INGENIEURS CONSEILS



Diapo N° 1

OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Tableau 8.5.1 – Vérifications minimales à faire aux états limites ultimes pour les situations de projet durables ou transitoires les plus défavorables en cours de construction et d'exploitation

		ELU type	Approche	Remblai renforcé	Sol cloué
Justification de la géométrie du massif					
Stabilité externe					
	Glissement sur le sol support	GEO	2	oui	oui
	Poinçonnement du sol support	GEO	2	oui	oui (2)
Stabilité générale		GEO	3	oui (1)	oui
Justification de la distribution des renforcements et du parement					
Stabilité interne					
	Distribution des renforcements				
	Résistance de traction	STR	2	oui	oui
	Résistance d'interaction	STR	2	oui	oui
	Résistance du parement	STR	2	oui	oui
Stabilité mixte		GEO/STR	3	oui (3)	oui
Notes					
(1) Sauf cas simple de massif établi sur un site tabulaire favorable.					
(2) Sauf exception (justification intégrée dans la stabilité mixte).					
(3) Sauf mur "classique", $CC < 3$, conditions de site simples et connues.					



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

8.3.3 Stabilité générale

(1) La justification de la stabilité générale du site où est construit l'ouvrage en sol renforcé doit s'effectuer en considérant un nombre suffisant de lignes de rupture potentielle par grand glissement, extérieures au massif.

(2) La vérification de la stabilité générale relève d'un état limite de type GEO. Elle doit s'effectuer suivant l'approche 3 et conformément aux dispositions du chapitre 10.

NOTE 1 – Les critères de justification dépendent dans une certaine mesure, précisée au chapitre 10, de la sensibilité de l'ouvrage aux déformations qui pourraient être liées à la mobilisation de la résistance au cisaillement du terrain.

(3) Les ouvrages en sol renforcé édifiés sur des pentes ou des versants dont la stabilité initiale ne satisfait pas aux conditions de sécurité minimales normalement requises, relèvent de la catégorie géotechnique 3.

NOTE 1 – Des indications relatives à la vérification de la stabilité générale de tels ouvrages sont données en 10.6.

(4) Pour les ouvrages en remblai renforcé établis en zone tabulaire, on peut se dispenser de la vérification de stabilité générale quand la stabilité externe est assurée et que les conditions de site sont suffisamment connues et favorables.



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

8.4.4 Stabilité mixte

(1) La vérification de la stabilité mixte d'un ouvrage en sol renforcé doit s'effectuer en considérant un nombre suffisant de lignes de rupture potentielle par grand glissement qui interceptent et/ou longent au moins un des lits de renforcement. Elle doit prendre en compte la contribution de ces renforcements et de leurs dispositifs de liaison au parement.

NOTE 1 – À supposer qu'un glissement d'instabilité mixte se produise, il surviendrait alors qu'un premier état d'équilibre et de distribution d'efforts était déjà établi dans l'ouvrage. On admet cependant qu'il s'accompagnerait d'une redistribution des efforts qui ne rend pas nécessaire de tenir compte de l'histoire des renforcements.

NOTE 2 – La contribution du parement à l'effort de résistance est généralement négligée.

(2) La vérification de la stabilité mixte d'un ouvrage en sol renforcé relève d'un état limite ultime de type GEO et STR. Elle doit s'effectuer suivant l'approche 3 et conformément aux dispositions du chapitre 12.

NOTE 1 – Les principes généraux de calcul de la stabilité mixte sont définis au chapitre 12. Les paramètres et coefficients partiels relatifs à la résistance de traction des éléments de renforcement et ceux relatifs à la résistance de leurs dispositifs de liaison sont introduits dans ce chapitre et détaillés dans l'annexe F.

NOTE 2 – Les critères de justification dépendent dans une certaine mesure, précisée au chapitre 12, de la sensibilité de l'ouvrage aux déformations qui pourraient être liées à la mobilisation de la résistance au cisaillement des sols.

(3) Il est admis de ne pas justifier la stabilité mixte des ouvrages en remblai renforcé qualifiés de "classiques", tels que définis en A.1.1(3), pour autant que l'ouvrage étudié ne relève pas de la classe de conséquence CC3 et que les conditions de site soient suffisamment connues et simples pour ne pas rendre nécessaire une vérification explicite de la stabilité générale.

NOTE 1 – Tous les murs en remblai renforcé qui ne correspondent pas entièrement à cette définition font l'objet de justifications de stabilité interne et de stabilité mixte.

4.7.7 Instabilité mixte

(1) Un mécanisme de ruine peut se produire par glissement le long d'une surface interceptant au moins un lit de renforcement d'un ouvrage en sol renforcé, si l'ensemble des résistances de tous les matériaux mis à contribution le long de cette surface ne suffit pas à l'empêcher.

(2) Les résistances mises à contribution comprennent : le cisaillement des sols (sols en place, remblais), la résistance d'interaction (ou d'adhérence) des renforcements, leur résistance à la traction et la résistance du parement au point d'accrochage des renforcements.

NOTE 1 - Le mécanisme de glissement potentiel est lié à un défaut d'adhérence d'un ou plusieurs lits de renforcement au-delà ou en deçà de la surface considérée (voir 4.7.5(3), Note 1).

NOTE 2 - La participation du parement à la résistance au glissement est généralement négligeable.

NOTE 3 - La mise en jeu de la résistance à la flexion et au cisaillement des renforcements plus rigides tels que les clous fournit un surcroît de stabilité qui est souvent négligé pour les types et dispositions de clous habituellement mis en œuvre.

(3) Une surface de glissement potentiel d'instabilité mixte (Figure 4.7.7.1) peut passer à la fois dans le massif et à l'extérieur du massif (lignes ① ou ②), ou uniquement dans le massif (ligne ③). Elle peut longer un lit de renforcement (ligne ④).

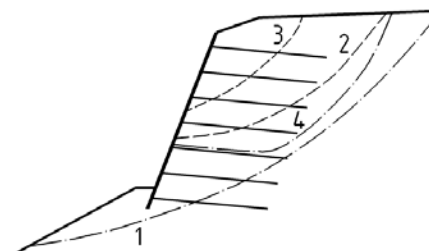


Figure 4.7.7.1 - Surfaces de glissement d'instabilité mixte

(4) Diverses formes de surface de glissement potentiel, faisant intervenir un ou plusieurs blocs de terrain, sont à envisager (Figure 4.7.7.2 a) à c)).



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

(7) Pour justifier la distribution des renforcements et le parement vis-à-vis des états limites ultimes, on doit vérifier :

- la stabilité interne du massif, en vérifiant lit par lit, dans une justification d'équilibre local, la résistance aux efforts de traction (voir 4.7.4) et la résistance d'interaction des renforcements (voir 4.7.5) ;
- la résistance du parement (voir 4.7.6) ;
- la stabilité mixte du massif (voir 4.7.7) en vérifiant la stabilité le long de lignes de rupture mixtes (voir Note 1).

NOTE 1 – Sauf cas particulier (voir 8.1(9), Note 2) la vérification de la stabilité interne et la vérification de la stabilité mixte d'un ouvrage en sol renforcé sont l'une et l'autre nécessaires, car elles ne sont ni l'une ni l'autre suffisantes (voir Notes 2 et 3 ci-dessous).

NOTE 2 - La justification de la stabilité interne vise à vérifier qu'on dispose des renforcements nécessaires, là où il faut (en particulier à long terme). Pour faire cette vérification, il convient de considérer la distribution réelle des efforts dans les lits de renforcement, déterminée à partir d'un modèle de calcul fondé sur des résultats expérimentaux ou à défaut sur une analyse théorique (voir 8.4.2).

NOTE 3 - La vérification de la stabilité mixte vise à s'assurer qu'il n'y a pas (y compris dès le début de la durée d'utilisation) de risque de glissement selon une surface qui recoupe le terrain et les renforcements, mais généralement sans exigence formelle sur la répartition de ces derniers. Il n'est donc pas exclu que la stabilité mixte puisse paraître acceptable pour une distribution de renforcements qui serait inacceptable vis-à-vis de la stabilité interne, et réciproquement.



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

8.7 Recours aux modèles numériques aux éléments finis ou aux différences finies

(1) Le recours à des modèles numériques aux éléments finis ou aux différences finies peut être utilement envisagé pour (voir Notes 1 à 3) :

- estimer les déplacements aux états limites de service de certains ouvrages dont les critères de déplacement sont sévères, ou la géométrie inhabituelle ;
- analyser le comportement aux états limites ultimes des ouvrages de géométrie complexe ou soumis à des cas de chargement inusités ;
- identifier et examiner des mécanismes particuliers de rupture, liés par exemple aux conditions de terrain ;
- estimer l'effet de phases de construction spécifiques (par exemple la stabilité d'une passe d'excavation d'un mur cloué avant la réalisation du parement).

NOTE 1 – En l'absence de norme concernant l'application des modèles numériques aux ouvrages géotechniques, il convient de les réserver en principe aux cas où les règles usuelles ne sont pas suffisantes.

NOTE 2 - Seuls des modèles numériques permettent d'étudier d'une part les déformations et les déplacements, d'autre part la distribution des efforts auxquels sont soumis les ouvrages complexes (bien qu'ils ne reproduisent qu'imparfaitement certaines particularités de réalisation comme les effets du compactage).

NOTE 3 – Il convient que les modèles numériques utilisés aient été validés sur des configurations d'ouvrage en sol renforcé qui relèvent des règles usuelles, et pour lesquelles on dispose de données expérimentales.

(2) Le choix des modèles de calcul doit être adapté à la complexité des problèmes posés, tant du point de vue du fonctionnement de l'ouvrage que du point de vue géotechnique (voir Notes 1 et 2).

NOTE 1 – Dans la pratique, la justification des ouvrages en sol renforcé passe généralement par l'exploitation de modèles "bidimensionnels" dits 2D (éventuellement complétés par des fonctions de transfert), les modèles 3D étant le plus souvent réservés à des études complexes.

NOTE 2 – On veillera à utiliser des lois d'interaction renforcement / terrain ou parement / terrain et des lois de comportement des matériaux suffisamment reconnues pour ne pas nuire à la clarté des justifications.



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

10.5 Facteur partiel de modèle $\gamma_{R;d}$

(1) Le facteur partiel de modèle $\gamma_{R;d}$ doit être pris égal à 1,10 pour les ouvrages relativement peu sensibles aux déformations (voir Note 1).

NOTE 1 – Il convient d'adopter une valeur supérieure à 1,10 quand la destination de l'ouvrage le rend très sensible à de telles déformations, sans préjuger des justifications aux états limites de service requises par ailleurs. Il convient par exemple de prendre $\gamma_{R;d} = 1,20$ quand l'ouvrage est situé à proximité immédiate d'une structure sensible.

12.5 Facteur partiel de modèle $\gamma_{R;d}$

(1) Le facteur partiel de modèle $\gamma_{R;d}$ doit être pris égal à 1,10 pour les ouvrages relativement peu sensibles aux déformations (voir Note 1).

NOTE 1 – Il convient d'adopter une valeur supérieure à 1,10 quand la destination de l'ouvrage le rend très sensible à de telles déformations, sans préjuger des justifications aux états limites de service requises par ailleurs. Il convient par exemple de prendre $\gamma_{R;d} = 1,20$ quand l'ouvrage est situé à proximité immédiate d'une structure sensible.



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

(3) Pour des raisons pratiques la vérification de la stabilité mixte peut s'effectuer en même temps que celle de la stabilité générale (voir chapitre 10).



**OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué
- Norme NFP 94-270**

Pas d'abaques donnant de valeurs de $q_s = f(p_l)$



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

NOTE 2 – En attendant la parution de la norme européenne sur l'exécution des massifs en sol cloué (pr NF EN 14490), on se référera, pour ces ouvrages, aux recommandations nationales « Clouterre »² (voir 6.5.1 (2) Note 4).

² Recommandations Clouterre 1991 pour la conception, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols , Presses de l'ENPC, 268 pages + Additifs 2002, 217 pages.



Méthode ou référentiel			Globale	Clouterre 1991	Additif Clouterre	XPP 94 240	NF EN 1997-1 & NF EN 1997-1/NA		NF P 94 270		
							Approche 2 A1 M1 R2	Approche 3 A1/2M2R3	Approche 2 A1 M1 R2	Approche 3 A1/2M2R3	
Ai Actions	γ_F	γ_G	1.0	1.0	1.1		1.35	1.0	1.35	1.0	Appliqués aux actions ou aux effets des actions
Surcharges		γ_Q	1.0	1.2/1.33	1.2/1.34	1.2/1.33	1.50	1.0	1.50	1.3	
Mi Sols	γ_M	γ_T	1.0	0.95/1.05	0.95/1.05	0.95/1.05	1.0	1.0	1.0	1.0	
		$\gamma_{\phi} \tan \Phi$	1.0	1.2	1.2	1.35	1.0	1.25	1.0	1.25	
		$\gamma_c c'$	1.0	1.5	1.5	1.7	1.0	1.25	1.0	1.25	
		$\gamma_{cu} \omega$	1.0	1.3	1.3	1.45	1.0	1.4	1.0	1.4	
		$\gamma_{pl} \Pi$	1.0	1.9	1.9	1.9			1.0	1.4	
Frottement latéral unitaire sol dou	γ_{Mf}	γ_s	1.0	1.4/1.8	1.4/1.8	1.4/1.8			1.4/?	1.1/?	essais/abaques
Clous		$\gamma_{M2} \omega$	1.0	1.15	1.15	1.15			1.25	1.25	
Ri Résistance	γ_{Re}		1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0	

DEFINITIF

Méthode/Modèle	$\gamma_{R;d}$	1.0	1.125	1.125	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	EC7 Au choix du concepteur paragraphe 2.4.7.1 (5)			
Visé ouvrage définitif		1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				
FS global équivalent sol frottant/stabilité générale ouvrage définitif		1.5	1.05x1.2x1.125=	1.418	1.05x1.35x1.0=	1.418	1.35x1.1=	1.485	1.25x1.0=	1.25	1.35x1.1x1.1=	1.634	1.25x1.1=	1.375

PROVISOIRE

Méthode/Modèle	$\gamma_{R;d}$	1.0	1.125	1.125x1.3/1.5=0.97	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	EC7 Au choix du concepteur paragraphe 2.4.7.1 (5)			
Visé ouvrage provisoire		1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				
FS global équivalent sol frottant/stabilité générale ouvrage provisoire		1.3	1.05x1.2x0.975=	1.229	1.05x1.1x0.867=	1.287	1.35x1.1x0.867=	1.084	1.25x1.0x0.867=	1.084	1.35x1.1x1.1x0.867=	1.416	1.25x1.1x0.867=	1.192

EC7 Au choix du concepteur paragraphe 2.4.7.1 (5)

(5) Des valeurs moins sévères que celles recommandées dans l'Annexe A peuvent être utilisées pour les ouvrages temporaires ou les situations de calcul transitoires, lorsque les conséquences possibles des désordres le justifient.
 (6) Pour la détermination de la valeur de calcul de la résistance (R_d) ou de la valeur de calcul de l'effet des actions (E_d), des facteurs de modèles ($\gamma_{R;d}$) ou ($\gamma_{S;d}$), respectivement, peuvent être introduits pour assurer que les résultats du modèle de calcul sont exacts ou du côté de la sécurité.

Propositions:

Passer à un coefficient de modèle $\gamma_{R;d} = 1.00$ pour l'approche 2

Passer à un coefficient de modèle $\gamma_{R;d} = 1.15$ pour l'approche 3

OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calcul du parement

Vérification de la stabilité interne

Tableau 8.5.1 – Vérifications minimales à faire aux états limites ultimes pour les situations de projet durables ou transitoires les plus défavorables en cours de construction et d'exploitation

	ELU type	Approche	Remblai renforcé	Sol cloué
Justification de la géométrie du massif				
Stabilité externe				
Glissement sur le sol support	GEO	2	oui	oui
Poinçonnement du sol support	GEO	2	oui	oui (2)
Stabilité générale	GEO	3	oui (1)	oui
Justification de la distribution des renforcements et du parement				
Stabilité interne				
Distribution des renforcements				
Résistance de traction	STR	2	oui	oui
Résistance d'interaction	STR	2	oui	oui
Résistance du parement	STR	2	oui	oui
Stabilité mixte	GEO/STR	3	oui (3)	oui
Notes				
(1) Sauf cas simple de massif établi sur un site tabulaire favorable.				
(2) Sauf exception (justification intégrée dans la stabilité mixte).				
(3) Sauf mur "classique", $CC < 3$, conditions de site simples et connues.				

Vérification ELU type STR

Approche (2) au sens de l'EC 7



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Problèmes :

1. Détermination des efforts appliqués au parement
2. Calcul des moments sur appuis et en travée
3. Calcul de béton armé au sens de l'EC 2



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

1. Historique

1.1 *Recommandations Clouterre 1991*

4.2 Détermination des efforts appliqués au parement

Par souci de simplification, on admet généralement que le torseur des efforts à la liaison clou-parement se réduit à un effort axial de traction T_0 et que la pression des terres p est uniforme.

Deux approches sont possibles : soit calculer les tractions T_0 à partir des efforts maximaux mobilisables dans les clous pour en déduire p , soit calculer p comme une poussée locale des terres dans un mécanisme de rupture approprié pour en déduire T_0 . En l'absence actuelle de données fiables sur les répartitions de la pression des terres sur le parement, il est recommandé d'utiliser la première approche, décrite ci-après. La valeur de T_0 se déduit de celle de l'effort maximum de traction T_{max} mobilisable sur la surface de rupture potentielle la plus critique en considérant une valeur unique pour le rapport T_0/T_{max} dans le mur.

L'évaluation de T_{max} dans un lit de clous se fait en prenant le minimum entre la résistance à la traction des clous pondérée par le coefficient de sécurité partiel correspondant et la résistance à l'arrachement des clous calculée sur une longueur d'ancrage L_a définie sur la figure 3.16 soit :

$$T_{max} = \min \left(\frac{q_s \pi D L_a}{\Gamma_{m,q_s}}, \frac{R_n}{\Gamma_{m,\sigma_c}} \right)$$

où $D = D_c$ pour un clou scellé
 $D = D_a$ pour un clou battu
 $L_a =$ longueur de scellement (fig. 13)

Dans les faits, les résultats expérimentaux sur les ouvrages en service indiquent généralement des rapports T_0/T_{max} plus faibles que ceux observés dans les murs en Terre Armée, ce qui est compréhensible compte tenu du déconfinement du sol qui se produit lors de la construction du mur en sol cloué. Les valeurs de T_0/T_{max} dépendent d'un certain nombre de paramètres (raideur du sol, rigidité du parement, rigidité des clous, profondeur, espacement des clous), parmi lesquels le plus important est l'espacement entre clous. Compte tenu des résultats expérimentaux disponibles à ce jour, il est actuellement conseillé d'adopter pour la valeur maximale du rapport T_0/T_{max} la formule empirique suivante :

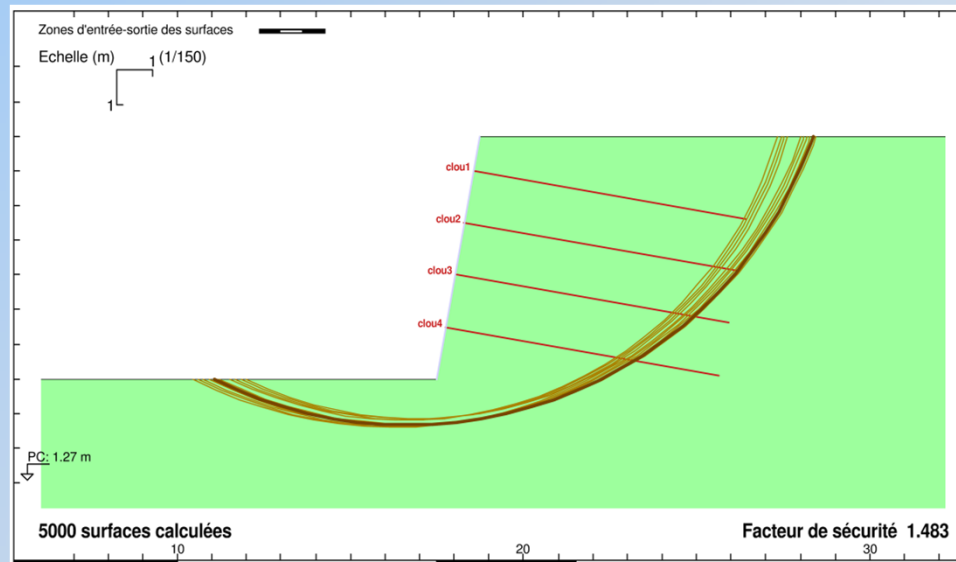
$$T_0/T_{max} = 0,5 + \frac{S - 0,5}{5} \text{ pour } 1 \leq S \leq 3 \text{ m}$$



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

1.1 *Recommandations Clouterre 1991*



N°	Xc	Yc	R	Fs	Fso	CL1 trac.	CL2 trac.	CL3 trac.	CL4 trac.
1	16.670	16.030	12.370	1.483	1.324	0.0000	0.0000	33.710	80.310
2	16.550	16.050	12.400	1.483	1.316	0.0000	2.4500	36.060	82.380
3	16.440	16.070	12.440	1.484	1.307	0.0000	4.9400	38.410	84.450
4	16.670	14.990	11.170	1.485	1.246	0.0000	20.280	51.410	95.790
5	16.320	16.090	12.470	1.485	1.300	0.0000	7.4400	40.770	86.540
6	16.790	14.980	11.140	1.486	1.257	0.0000	17.510	48.820	93.480
7	16.780	16.010	12.340	1.487	1.333	0.0000	0.0000	31.380	78.250
8	16.910	14.960	11.110	1.487	1.268	0.0000	14.750	46.230	91.190
9	16.210	16.110	12.510	1.488	1.293	0.0000	9.9500	43.140	88.640
10	16.550	15.000	11.190	1.488	1.236	2.1100	23.060	54.010	98.110



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

1. Historique

1.2 *Additif aux Recommandations Clouterre*

On appelle :

- T_0 la traction en tête de clou prise en compte dans les justifications de stabilité d'ensemble;
- T_1 la traction en tête de clou nécessaire pour assurer la stabilité du parement par frottement contre le sol;
- T_2 la traction en tête de clou nécessaire pour assurer le confinement du sol.

• *Résistance du parement en flexion*

On détermine la composante normale au parement :

$$T_N = \max\{T_0, T_1, T_2\} \cdot \cos(\theta - \eta)$$

avec θ = angle de l'axe du clou sous l'horizontale

et η = angle d'inclinaison du parement par rapport à la verticale.

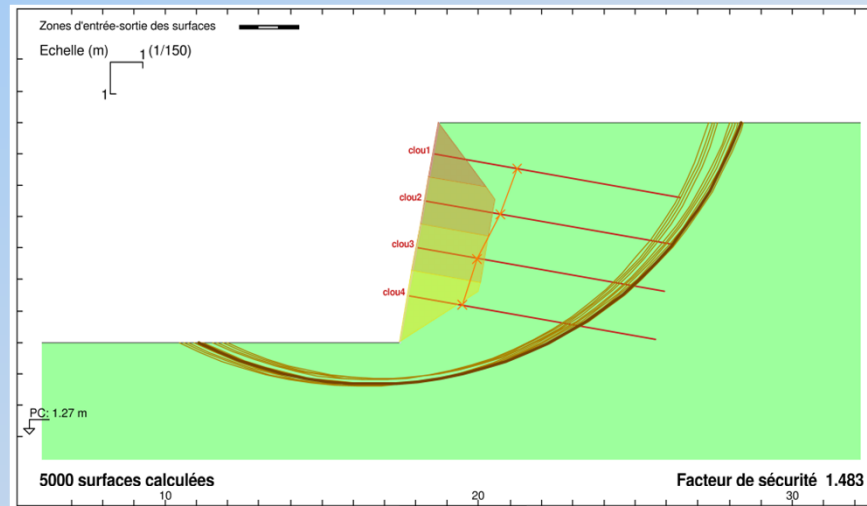
La résistance du parement est justifiée en appliquant le BAEL, les efforts de flexion étant appréciés soit par un modèle élastique, soit par la méthode des planchers-dalles, soit par la méthode des charnières de rupture, en tenant compte des conditions de continuité du parement.



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

1.2 *Additif aux Recommandations Clouterre*



N°	Xc	Yc	R	Fs	Fso	CL1 trac.	CL2 trac.	CL3 trac.	CL4 trac.	Σ trac.
1	16.670	16.030	12.370	1.483	1.324	0.0000	0.0000	33.710	80.310	114.02
2	16.550	16.050	12.400	1.483	1.316	0.0000	2.4500	36.060	82.380	120.89
3	16.440	16.070	12.440	1.484	1.307	0.0000	4.9400	38.410	84.450	127.80
4	16.670	14.990	11.170	1.485	1.246	0.0000	20.280	51.410	95.790	167.48
5	16.320	16.090	12.470	1.485	1.300	0.0000	7.4400	40.770	86.540	134.75
6	16.790	14.980	11.140	1.486	1.257	0.0000	17.510	48.820	93.480	159.81
7	16.780	16.010	12.340	1.487	1.333	0.0000	0.0000	31.380	78.250	109.63
8	16.910	14.960	11.110	1.487	1.268	0.0000	14.750	46.230	91.190	152.17
9	16.210	16.110	12.510	1.488	1.293	0.0000	9.9500	43.140	88.640	141.73
10	16.550	15.000	11.190	1.488	1.236	2.1100	23.060	54.010	98.110	177.29
Efforts maximums dans les clous (FS = 1.5) :						110.30	115.53	125.94	149.09	500.86
Efforts T0 (FS = 1.5) :						23.663	44.314	71.724	107.49	247.19
Efforts T1 (FS = 1.5) :						44.528	38.167	38.167	57.250	178.11
Efforts T2 (FS = 1.5) :						66.665	133.20	135.50	114.27	449.63
Maximums T0,T1, T2 :						66.665	133.20	135.50	114.27	



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

2. NFP 94-270 - Annexe E normative - § E3 : Murs cloués

E.3 Murs cloués

E.3.1 Principe de calcul

(1) Le calcul des efforts est censé correspondre à leur répartition probable après la mise en service et pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage, une fois dissipées les conditions provisoires qui prévalent pendant les phases d'exécution (voir Note 1).

NOTE 1 – Les phases d'exécution peuvent engendrer, à certaines étapes et dans certaines rangées de clous, des efforts de traction supérieurs à ceux qui s'établiront une fois l'ouvrage mis en service. On peut néanmoins généralement considérer que les écarts sont couverts par la réserve de résistance prévue pour le long terme, pour autant que les travaux soient menés dans les règles de l'art.

(2) La valeur de calcul $T_{\max;d}$ de l'effort de traction maximal dans les clous (cf. 11.2) peut être déterminée à partir d'une modélisation numérique appropriée du massif cloué (voir Note 1), ou à partir de la modélisation simplifiée décrite à l'article E.3.2(2) dans les cas visés par l'article E.3.2(1).

NOTE 1 – Dans le cas d'une modélisation numérique, il convient de s'attacher à reproduire les phases de construction, en considérant la raideur (EA) nominale des clous dans leur état initial et un frottement latéral limite représentatif par excès.

(3) Lorsqu'une modélisation numérique est adoptée pour la justification de la stabilité interne, la ligne des tractions maximales à considérer pour la vérification de l'interaction sol-clou (cf. 11.3) est celle qui découle du calcul.

(4) De même, lorsqu'une modélisation numérique est adoptée, les valeurs de calcul à considérer pour l'effort de traction $T_{\text{par};d}$ au point où le lit de clous est attaché au parement (cf. 11.4) et pour la contrainte moyenne $\sigma_{\text{par};d}$ appliquée au parement à ce niveau (cf. 11.5) sont celles qui découlent du calcul numérique.



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

2. NFP 94-270 - Annexe E normative - § E3 : Murs cloués

E.3.2 Méthode simplifiée

(1) Il convient de n'appliquer une modélisation simplifiée qu'à des massifs :

- réalisés dans des sols homogènes ;
- de proportions courantes (voir Note 1) ;
- dont les lits de clous sont régulièrement espacés et le mode de construction habituel (voir Note 2) ;
- et qui ne sont soumis qu'à des charges réparties ou localisées de faibles intensités.

NOTE 1 – On entend par massifs de proportions courantes des ouvrages :

- dont les clous sont de longueur et d'inclinaison sensiblement constantes sur toute la hauteur de l'ouvrage, comme décrit à l'annexe A.2.1(1) ;
- dont le parement est vertical ou faiblement incliné ($0 \leq \tan \eta_1 \leq 1/4$) ;
- et qui soutiennent des terre-pleins à peu près horizontaux.

NOTE 2 – On vise en particulier les constructions par passes alternées de faible largeur.



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

2. NFP 94-270 - Annexe E normative - § E3 : Murs cloués
 - 2.1 *Modélisation numérique appropriée*

Renvoi systématique à
une modélisation
numérique



OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT - Remblais renforcés et massifs en sol cloué - Norme NFP 94-270

Calculs des efforts appliqués au parement:

2. NFP 94-270 - Annexe E normative - § E3 : Murs cloués

2.1 *Méthode simplifiée sous conditions d'application*



- sol homogène
- de proportions courantes
 - * longueur
 - * inclinaison
- parement vertical ou faiblement incliné
- terre-pleins à peu près horizontaux

Problèmes :

- (1) Est-ce qu'une telle configuration existe ?
- (2) RANKINE décalé pour avoir $K_0 \sigma_v$



Merci de votre attention

