

CONFERENCE TECHNIQUE TERRITORIALE

RESILIENCE ET OUVRAGES D'ART: DU CONSTAT À L'ACTION

Cerema Méditerranée Aix-en-Provence

MARDI

31
mai
2022



La résilience vis-à-vis du vieillissement des OA

L'ANALYSE DES RISQUES APPLIQUÉE AUX MURS EN MAÇONNERIE

Thomas MARY

Responsable d'études géotechniques

Cerema Méditerranée



POURQUOI UNE ANALYSE DE RISQUES DE CES MURS ?

- plus de la moitié des murs de soutènement du RRN non concédé => fort enjeu pour les gestionnaires
 - ouvrages souvent très anciens => peu d'informations
 - par ailleurs, difficile de les justifier réglementairement
 - d'autre part, la seule surveillance est parfois insuffisante pour détecter certaines pathologies
 - enfin, ouvrages souvent en zone montagneuse
- ⇒ Surveillance et entretien difficile, peut nécessiter des moyens d'accès particuliers (nacelles, etc.), et difficulté de déviation

Domaine d'application :

Murs en maçonnerie jointoyée ou pas fonctionnant en mur poids

Exclus :

- les talus raidis et les perrés
- les murs de culée (cf guide AdR de ponts en maçonnerie)
- ouvrages ayant fait l'objet de réparations impliquant un changement dans le fonctionnement du mur (par exemple avec des tirants)
- ouvrages constitués de blocs (enrochements notamment)

POINTS SPÉCIFIQUES DE CETTE ANALYSE DE RISQUES

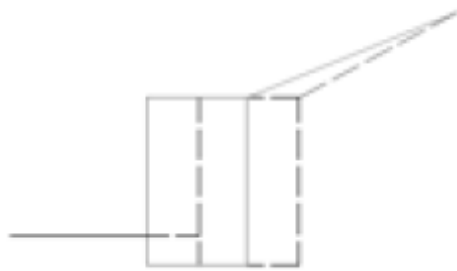
- Deux procédures pour l'analyse de risques simplifiée :
 - Procédure « rapide »
⇒ à partir d'éléments facilement disponibles
 - Procédure « plus longue »
⇒ nécessite plus de recherches, mais toujours dans le souci d'une mise en œuvre aisée et financièrement supportable
- 4 niveaux de risques : faible, moyen, fort et très fort
- Le niveau de risques est évalué par type de murs maçonnés (type 1 = maçonnerie pierres sèches ; type 2 = maçonnerie jointoyée)

SCÉNARIOS DE RUINE CONSIDÉRÉS

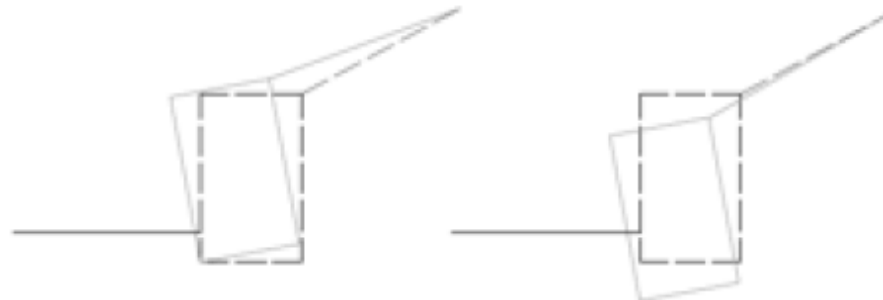
- Stabilité interne ou externe



a) Rupture structurale

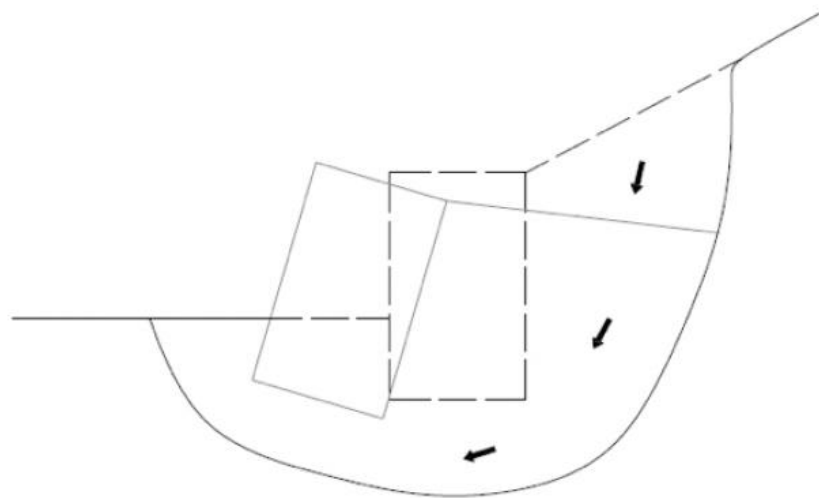


b) Glissement



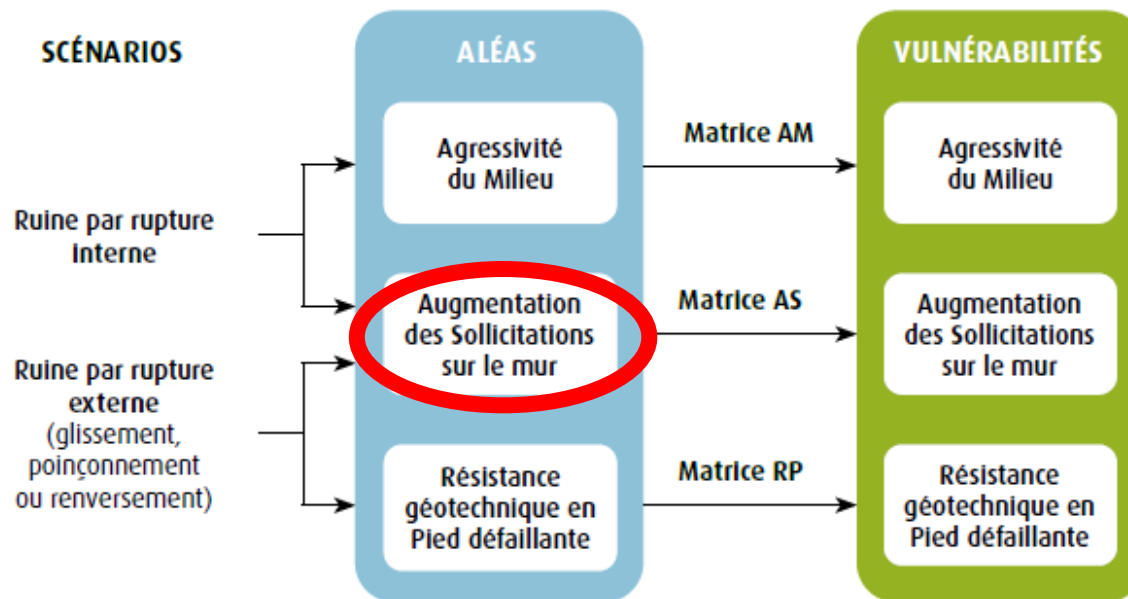
c) Renversement/Poinçonnement¹⁰

- Le phénomène de grand glissement n'est pas traité (car n'est pas propre à l'ouvrage)



ÉTAPES DE LA MÉTHODOLOGIE

- analyse des risques simplifiée en **4 étapes** :
 - 1) identification et évaluation simplifiée des **aléas**
 - 2) évaluation simplifiée de la **vulnérabilité** aux aléas



- 3) évaluation simplifiée de l'**importance des conséquences** (=l'enjeu)
- 4) évaluation du **risque** à l'aide de matrices de risques

ALÉA « AGRESSIVITÉ DU MILIEU »

Salage ²⁶ au regard de l'apport en chlorure et du gel					
Types 1 et 2	Absence	< 10 jours/an (H1) ²⁷	Entre 10 et 30 jours/an (H2) ²⁷	> 30 jours/an (H3 et H4) ²⁷	
	a11	0	+1	+3	+5
Environnement humide (ouvrage en contact avec l'eau côté aval ²⁸ visible)					
Type 2	Pas de contact avec l'eau	En contact permanent avec l'eau	En zone de marnage	Critères aggravants :	
				En contact avec de l'eau de mer	Climat tropical
a12	0	+1	+2	+1	+2
Environnement agressif contre le parement ²⁹ (non visible)					
Types 1 et 2	Autres environnements (a priori sans agents agressifs)	Zones urbaines	Activités agricoles	Sites industriels	
				Courants	Défavorables
a13	0	+3		+5	
Type 2	Sols agressifs ³⁰				
	Absence avérée	Aucune information	Présence possible ³¹	Présence avérée dans le terrain amont	Présence avérée dans le remblai
a14	0	+2	+1	+3	+5

VULNÉRABILITÉ « AGRESSIVITÉ DU MILIEU »

Défauts structuraux							
Types 1 et 2	Epaisseur du mur						
	En tête						
	v11	≥ min (H/12 ; 0,30 m)	Aucune information disponible			< min (H/12 ; 0,30 m)	
		0	+2			+3	
	A la base						
< 0,3							
Types 1 et 2	non	Aucune information disponible			oui		
	v12	0	+2			+3	
Robustesse des matériaux (blocs et mortier)							
Types 1 et 2	Altérations des blocs						
	0	2	2E	3	3U	Critère aggravant Pour les cotations 0, 2 ou 2E ⁶⁷ : Pierre poreuse	
	v13	0	+1	+2	+4		+5
Type 2	Disjointolement, altération des joints						
	0	2		2E	3	3U	
	v14	0	+5		+6	+7	+8

ALÉA « AUGMENTATION DES SOLLICITATIONS SUR LE MUR » (1/2)

Evolution des conditions d'exploitation de la voie portée ⁵² (Trafic Poids Lourds)						
Types 1 et 2 a21	< 1500 PL/jour	Entre 1500 et 6000 PL/jour	> 6000 PL/jour	Critère aggravant : Transports exceptionnels⁵³		
	0	+3	+6	+4		
Evolution de l'aménagement en tête ou à l'amont du mur à moins de 1,7H ⁵⁴ de la tête du mur						
Types 1 et 2 a22	Absence d'aménagement	Talus ou Charges ponctuelles importantes ⁵⁵ ou Ouvrages en tête de mur ⁵⁶	Réalisation non prévue lors de la conception du mur			
			Bâtis	Voiries et parkings, ...	Dépôts ⁵⁷	Rehausse du mur et son remblaiement
	0	+3	+6	+8	+12	+15
Augmentation de la pression hydrostatique à l'amont du mur						
Type 2 a23	Immersion totale ou partielle du mur lors d'une crue					
	Absence d'inondation	Aucune information	Aléas « inondation » modéré ou Crue centennale	Aléas « inondation » sans précision de niveau / période de retour	Aléas « inondation » fort ou Crue décennale	
	0	+2	+6		+10	
Type 2 a24	Arrivée d'eau accidentelle possible par défaillance ⁵⁸			Présence avérée de canalisations et/ou de bassin en eau à proximité de la tête du mur		
	Environnement de l'ouvrage					
	Zones non aménagées	Zones aménagées (résidentielle, industrielle, urbaine...)	oui	Critère aggravant : Défaillance connue		
	0	+6	+10	+5		
Type 2 a25	Pluies extrêmes					
	Aucun épisode pluvieux extrême	Métropole		Hors métropole		
Pluies extrêmes rares ⁵⁹ Départements : 04, 05, 09, 38, 40, 43, 63, 65, 81		Pluies extrêmes fréquentes Départements : 06, 07, 11, 12, 13, 2A, 2B, 26, 30, 34, 48, 66, 83, 84	Guyane	Antilles, Réunion, Mayotte		
	0	+6	+15	+6	+15	

ALÉA « AUGMENTATION DES SOLLICITATIONS SUR LE MUR » (2/2)

		Système de gestion des eaux pluviales					
		Note IQOA sur le « drainage en partie supérieure du mur »					
Type 2	a26	1	2	2E	NE	Absence de système de collecte, d'évacuation et de descentes des eaux	Critère aggravant : Point bas d'un bassin versant et bassin versant élémentaire et/ou imperméabilisation amont du sol ⁶⁰
		0	+4	+7	+7		
Instabilité du terrain amont							
		Note IQOA de la « zone d'influence en partie supérieure du mur »				Critère aggravant : Événement glissement ponctuel recensé à une distance de 50 m de l'ouvrage	
Types 1 et 2	a27	1 ou 2	2E	3 ou 3U	NE		
		0	+4	+8	+6	+7	
Choc de véhicule ou action de la déneigeuse en tête du mur aval							
		Zone accidentogène		Critères aggravants :			
Types 1 et 2	a28	Non	Oui	Voie portée proche de la tête du mur et/ou Dispositif de sécurité ancré au mur (distance < 1 m)		Action de la déneigeuse (distance < 0,5 m)	
		0	+3	+2	+2		

VULNÉRABILITÉ « AUGMENTATION DES SOLLICITATIONS SUR LE MUR »

État structural de l'ouvrage					
Types 1 et 2 v21		Note IQOA de la « structure »			
		1 ou 2	2E	3 ou 3U	NE
		0	+7	+15	+11
Système de drainage du mur					
Type 2 v22		Note IQOA sur le « drainage Interne du mur »			
		1 ou 2	2E	NE	Critère aggravant : Absence de barbacanes ou de drains
		0	+7	+5	+5
Reconnaitances géotechniques « suffisantes » pour un diagnostic « sol-fondation »					
Types 1 et 2 v23		Présence	Absence	Aucune information ⁶⁸	
		0	+5	+2	
Distance entre la tête de mur et le positionnement de la charge (voie portée ou surcharge)					
Types 1 et 2 v24		Distance > 1,7 H	0,5 H < Distance < 1,7 H	Distance < 0,5 H	
		0	+5	+10	

ALÉA « RÉSISTANCE GÉOTECHNIQUE EN PIED DÉFAILLANTE »

Travaux en pied de l'ouvrage						
Types 1 et 2	Absence		Présence de réseau direct en pied du mur		Excavation / Modification défavorable du profil du terrain	
	a31	0	+2		+5	
Instabilité du terrain aval						
Types 1 et 2	Note IQOA de la « zone d'influence en contrebas du mur »				Critères aggravants :	
	1 ou 2	2E	3 ou 3U	NE	Présence de pentes naturelles fortes ⁶⁴	Événement glissement ponctuel recensé à une distance de 50 m de l'ouvrage
	a32	0	+4	+8	+6	+3
Présence d'eau en aval du mur						
Types 1 et 2	Aucune présence d'eau	Note IQOA sur le « drainage en contrebas du mur »			Critère aggravant : Cours d'eau ou mer en pied	
		2 (stagnation)	2E (érosion, ravinement)	NE		
	a33	0	+2	+4	+3	+3

VULNÉRABILITÉ « RÉSISTANCE GÉOTECHNIQUE EN PIED DÉFAILLANTE »

Conception structurale (cf. dimensions courantes sur la Figure 6)			
Fondation			
Types 1 et 2		Sol d'assise en pente < 30°	Sol d'assise avec forte pente ≥ 30°
v31	Dimension de la semelle ≥ 0,3H m	Dimension inconnue	Fondation en redans ⁶⁹ sur rocher ou fondation horizontale sur sol meuble
			Fondation sur rocher sans adaptation ⁷⁰ ou fondation sans information
Types 1 et 2		0	+3
v32	Inclinaison de la base de la fondation		
	Inclinaison favorable ⁷¹	Aucune information	Absence
Types 1 et 2		-6	0
v33	Renforts fonctionnels en pied du mur (longrine de protection, enrochements...)		
		oui	non
		-6	0
Résistance géotechnique en pied fragilisée			
Affouillement ou Ravinement avérés			
Types 1 et 2		2E	3 et 3U
v34		+6	+15

ÉVALUATION DU NIVEAU DE CONSÉQUENCES

Importance de l'itinéraire					
c1	Itinéraire				
	Peu stratégique	Assez stratégique	Stratégique	Critère aggravant : Enjeu particulier	
	+1	+2	+3	+1	
Importance du trafic					
c2	Trafic < 15 000 v/j	15 000 v/j < T < 35 000 v/j	35 000 v/j < T < 80 000 v/j	T > 80 000 v/j	
	0	+2	+3	+5	
Importance de l'ouvrage					
c3	Surface < 200 m ²	200 < S < 500 m ²	S ≥ 500 m ²	Critères aggravants : Hauteur importante du mur	
				Entre 5 et 8 m	> 8 m
	0	+2	+3	+1	+2
Impact sur le niveau de service					
c4	Faible	Moyen	Fort	Critères aggravants : Déviation impossible	
				Alternat possible	Alternat impossible
	0	+2	+4	+2	+5

Gravité des conséquences - C = c1 + c2 + c3 + c4 (selon le Tableau 8)	
Note des gravités des conséquences	Niveaux des gravités des conséquences
C < 6	Faible
6 ≤ C < 12	Moyen
C ≥ 12	Elevé

ÉVALUATION DES NIVEAUX D'ALÉA ET DE VULNÉRABILITÉ

Note des aléas	A1 « Agressivité du milieu »		A2 « Augmentation des sollicitations sur le mur »		A3 « Résistance géotechnique en pied défailante »	Niveaux d'aléas
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1 et Type 2	
A ≤	3	7	16	34	9	Faible
< A ≤	3-6	7-14	16-32	34-68	9-18	Moyen
A >	6	14	32	68	18	Fort

Note des vulnérabilités	V1 « Agressivité du milieu »		V2 « Augmentation des sollicitations sur le mur »		V3 « Résistance géotechnique en pied défailante »	Niveaux des vulnérabilités
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1 et Type 2	
V ≤	5	10	10	14	10	Faible
< V ≤	5-10	10-20	10-20	14-28	10-20	Moyen
V >	10	20	20	28	20	Fort



ÉVALUATION DU NIVEAU DE CRITICITÉ DU SCÉNARIO

Pour chaque aléa, le niveau de criticité est obtenu en croisant les niveaux de vulnérabilité et d'aléa

Niveau de criticité élémentaire		Niveau de vulnérabilité		
		Faible	Moyen	Fort
Niveau d'aléa	Faible	Criticité Faible	Criticité Faible	Criticité Moyenne
	Moyen	Criticité Faible	Criticité Moyenne	Criticité Elevée
	Fort	Criticité Moyenne	Criticité Elevée	Criticité Elevée

Pour chaque scénario, le niveau de criticité est obtenu en croisant les niveaux de criticité élémentaire

Niveau de criticité du scénario		Niveau de criticité pour un binôme « aléa/vulnérabilité »		
		Faible	Moyen	Élevé
Niveau de criticité pour un binôme « aléa/vulnérabilité »	Faible	Criticité Faible	Criticité Moyenne	Criticité Elevée
	Moyen	Criticité Moyenne	Criticité Elevée	Criticité Elevée
	Elevé	Criticité Elevée	Criticité Elevée	Criticité Elevée

ÉVALUATION DU NIVEAU DE RISQUE

Pour chaque scénario :

		Niveau de conséquences		
		Faible	Moyen	Élevé
Niveau de criticité	Faible	Risque Faible	Risque Faible	Risque Moyen
	Moyen	Risque Faible	Risque Moyen	Risque Fort
	Elevé	Risque Moyen	Risque Fort	Risque Fort

Pour l'ouvrage, les niveaux de risques se cumulent :

		Niveau de risque du scénario « Ruine par perte de stabilité externe »		
		Risque Faible	Risque Moyen	Risque Fort
Niveau de risque du scénario « Ruine par rupture interne »	Risque Faible	Risque Faible	Risque Moyen	Risque Fort
	Risque Moyen	Risque Moyen	Risque Fort	Risque Fort
	Risque Fort	Risque Fort	Risque Fort	Risque Très Fort

Merci de votre attention

Thomas MARY

Chargé d'affaires en mécanique des sols

thomas.mary@cerema.fr