

# APPROCHE RISQUE ET PRIORISATION

Compte tenu de la variété et du nombre d'ouvrages de soutènement, l'OFROU a défini une stratégie basée sur l'analyse des risques pour prioriser les interventions.

Erdjan Opan, Frédéric Mayoraz et Roman Ryser

Les ouvrages de soutènement construits ces dernières décennies le long des infrastructures de transport se caractérisent par leur grand nombre, leur grande variété de dimensions et de types et la difficulté d'évaluer leur état. A titre d'exemple, rien que le long de l'A9 entre Lausanne et Villeneuve, quelque 300 murs pouvant menacer les biens et les personnes ont été recensés par l'Office fédéral des routes (OFROU) dans le cadre d'un inventaire (avec évaluation de l'état) effectué en 2009. Le recensement ne s'est pas limité aux murs appartenant à l'OFROU, mais incluait tous les soutènements présentant un danger potentiel pour les routes nationales : seule cette approche permet d'évaluer correctement l'ensemble des risques des murs sur la disponibilité de la route.

Sur le tronçon de l'A9 allant de Lausanne à Villeneuve, deux types de murs ont majoritairement été recensés : les murs de soutènements en béton armé à semelle – ou murs en L – et les murs ancrés.

Pour ces deux types de construction, très répandus le long des infrastructures construites après les années 1950, une simple inspection visuelle ne suffit pas à évaluer leur état, puisque les éléments essentiels à leur stabilité et leur sécurité ne sont souvent ni accessibles ni visibles. Par éléments essentiels, il s'agit principalement des tirants d'ancrages pour les murs ancrés, ainsi que des armatures garantes de la sécurité structurale (au pied du parement, dans le béton et contre terre) et du béton dans les zones les plus sollicitées des murs en L.

Pour les murs ancrés, les investigations se concentrent essentiellement sur les tirants, qui doivent être testés par une mise en tension. La difficulté de localisation de

ces tirants et d'accessibilité des têtes ainsi que leurs types (par exemple tirant à adhérence totale) font que les investigations ne sont pas toujours opportunes.

## Problématique et incertitudes

Pour les murs en L, qui fonctionnent selon un système isostatique, aucun signe avant-coureur n'est visible (trace de rouille, éclatement du béton) sur le parement côté terre et seule la mise à nu des armatures par piquage ou hydro-démolition a permis de constater les pertes de section (**lire article p. 12**). Seules des investigations ponctuelles nécessitant de grands moyens financiers et logistiques permettent à ce jour d'évaluer l'état de l'ouvrage. En effet, au stade actuel des connaissances, seules des investigations destructives, coûteuses et ponctuelles permettent d'évaluer l'état. De plus, le caractère ponctuel de ces investigations nécessite encore une extrapolation des résultats sur la globalité de l'ouvrage qui présente, elle aussi, un important risque d'erreur.

Enfin, une éventuelle vérification par calcul est également sujette à de grandes incertitudes liées aux caractéristiques (géométrie, taux d'armature, type de tirant, etc.) de l'ouvrage dû généralement à l'absence de plan conforme et aux hypothèses de calcul liés à la géologie/géotechnique (sondages). Là aussi, seules des investigations complémentaires coûteuses et destructives pour définir la substance de l'ouvrage et du terrain environnant permettraient de lever les incertitudes pour obtenir des aides à la décision fiables.

Ces incertitudes sur l'état de l'ouvrage et les actions effectives rendent le recours à une analyse de risques

## Matrice des risques pour les murs de soutènement

Murs à haut potentiel de dégradation et à type de rupture fragile.  
Remarques :  
- Ce critère peut augmenter la catégorie d'ampleur  
- Préjudice d'image?

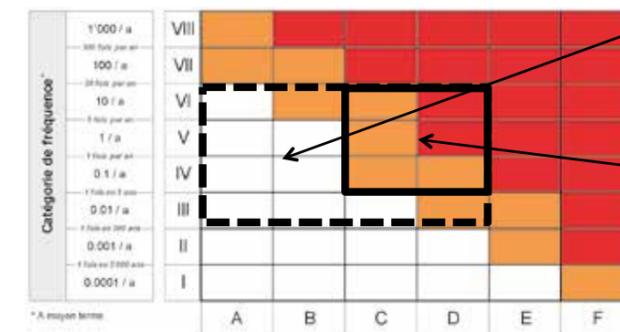
Autres murs

### Légende

Domaine blanc :  
Scénarios qui ne requièrent pas de mesures impératives.

Domaine orange :  
Scénarios qui impliquent une décision au cas par cas si des mesures complémentaires visant à réduire les risques sont indiquées.

Domaine rouge :  
Scénarios qui requièrent une étude approfondie.



Zone de risques de tous les murs de soutènement

Zone de risques prioritaires  
Murs à haut potentiel de dégradation avec standard d'ampleur «Maximal»

Standard d'ampleur

Maximal

Normal

Minimal

	< 3 BL	3 BL 1 – 3 BG	1 – 3 D	3 – 30 D	30 – 300 D	> 300 D
Domages aux personnes [D]	< 300'000	300'000 – 3 mio	3 mio – 30 mio	30 mio – 300 mio	300 mio – 3 mia	> 3 mia
Domages financiers et matériels [CF#]	Intrinsèque	faible	moyen	important	Intrinsèque	catastrophique
Atteinte à l'environnement [-]	Intrinsèque	faible	moyen	important	Intrinsèque	catastrophique
Limitation de la disponibilité des routes nationales [-]	Intrinsèque	faible	moyen	important	Intrinsèque	catastrophique
Restriction de l'activité de l'Office [-]	Intrinsèque	faible	moyen	important	Intrinsèque	catastrophique
	Catégorie d'ampleur					

1 Matrice de risque OFROU avec domaine de risque des murs de soutènement

incontournable. En effet, celle-ci permet de systématiser l'approche de l'ingénieur, prioriser les actions à entreprendre, attribuer au mieux les investissements et gérer ainsi le patrimoine des ouvrages de soutènement de manière efficiente.

## Analyse de risque et priorisation

Afin de s'inscrire dans une démarche cohérente face aux autres risques menaçant les routes nationales, l'OFROU et le groupement d'ingénieurs GUMA se sont basés sur la documentation 89003 de l'OFROU *Gestion des risques OFROU – Synthèse du concept de base*. Celle-ci permet également d'harmoniser l'approche pour les deux paramètres clés d'une analyse de risque : la fréquence probable de la ruine et sa conséquence (son ampleur selon la documentation OFROU) sur la disponibilité de l'autoroute.

En admettant une ruine totale de l'ouvrage, l'ampleur des dégâts liés à cette ruine peut être définie de manière déterministe et s'inscrire ainsi dans la partie horizontale de la matrice OFROU (**fig. 1**). Afin de simplifier la classification, trois standards d'ampleur ont été définis pour les murs :

1. Maximal: entrave du trafic de la route nationale et des infrastructures ferroviaires voisines de longue durée.
2. Normal: entrave du trafic de la route nationale et des infrastructures ferroviaires de courte durée. Entrave des infrastructures routières voisines de type RC ou route de largeur min. 6,00 de longue durée.
3. Minimal: pas d'entrave du trafic de la route nationale et des infrastructures ferroviaires voisines. Entrave du trafic des infrastructures routières voisines de type

route cantonale ou routes de largeur min. 6,00 de courte durée.

De plus, les murs de peu d'importance (d'une hauteur inférieure à 1,5 m dont la ruine serait sans conséquence sur la route nationale) ont été écartés et donc non traités dans l'analyse de risque. La correspondance entre les trois standards d'ampleur définis pour les murs et les catégories d'ampleur de la matrice de risque de l'OFROU est visible sur la **figure 1**.

Un document permettant de définir précisément le standard d'ampleur d'un mur a été élaboré par l'OFROU avec l'appui du groupement d'ingénieurs GUMA (**fig. 3**). La pertinence de cette approche par standard d'ampleur a été légitimée par les responsables de la gestion du patrimoine de l'OFROU. Elle s'est traduite par l'ajout, en 2015, dans la base de données permettant la saisie de données sur la substance d'ouvrages d'art, leurs inspections et les interventions de conservation (KUBA), d'un champ permettant de renseigner ce standard. A terme, l'objectif est de compléter KUBA avec tous les murs de soutènement, en y incluant le standard d'ampleur. Une première priorisation pourra dès lors être faite automatiquement. Une analyse par un ingénieur y ajoutant des critères comme la hauteur du mur, le trafic journalier moyen, les conditions hydrogéologiques, le degré d'obstruction de la route, etc., permettrait d'atteindre, si nécessaire, un 2<sup>e</sup> niveau de priorisation.

En ce qui concerne la fréquence, les murs ancrés et les murs en L ont été jugés à haut potentiel de dégradation et ainsi classifiés un peu plus haut dans l'échelle «catégorie de fréquence» de la matrice OFROU que les autres murs

(murs en maçonnerie, murs poids, etc.). La catégorie de fréquence à moyen terme pour ces deux types de murs a été estimée de IV à VI. Ceci devra encore être confirmé par les recherches futures (voir encadré p. 8).

En se concentrant sur les murs de standard maximum et la catégorie de fréquence admise, on réalise que l'on agit dans la zone de risque classée orange à rouge (fig. 2) selon la documentation OFROU précitée et que l'on se trouve donc entre des domaines de risque nécessitant une discussion sur l'opportunité d'agir ou l'obligation de réaliser une étude approfondie.

**Application concrète**

Pour en revenir à l'exemple de l'A9, l'ensemble des 208 murs non ancrés a été classifié selon les trois standards d'ampleur (voir encadré ci-contre). La priorité s'est logiquement fixée sur les murs de standard d'ampleur maximum (menace directe sur les voies de circulation des routes nationale ou des infrastructures ferroviaires). Parmi les 208 ouvrages initialement identifiés, 61 ont été ainsi sélectionnés en première priorité. Sur ces 61 murs, 38 ont été renforcés de manière anticipée sans investigations préalables, afin de réduire le plus rapidement possible les risques sur ce tronçon très fréquenté (trafic journalier moyen (TJM) 40 000 à 60 000). Les 23 autres ont été investigués en 2010 par des méthodes destructives (voir article p. 13). Le résultat de ces investigations a permis de déterminer que seuls quatre d'entre eux ne nécessitaient pas d'intervention anticipée. Ils retombent de ce fait dans les ouvrages à intégrer dans les prochains UPlaNS.

**Beaucoup de travail en perspective**

Indépendamment des avancées de la recherche, beaucoup d'inconnues demeurent et le nombre des ouvrages à analyser au niveau national est énorme. Ainsi, le recours à l'analyse de risque restera de mise. Néanmoins les futures recherches lancées par le groupe de travail recherche en matière de ponts (AGB) ou d'autres avancées en termes d'évaluation de l'état permettront de mieux quantifier les fréquences et l'ampleur d'une ruine par type de mur. Ceci permettra une priorisation plus fine et ainsi un investissement optimisé des moyens financiers.

Erdjan Opan, ing civil dipl EPFZ, maîtrise en génie urbain EPFL, chef de projet et directeur, GUMA – OPAN concept SA.  
 Frédéric Mayoraz, ing civil dipl EPFL, dr es sc, tech. chef de projet, GUMA - De Cérenville Géotechnique SA.  
 Roman Ryser, ingénieur civil HES, chef de projet adjoint, GUMA – OPAN concept SA.

**ANALYSE DE RISQUES SELON LA DIRECTIVE OFROU « TIRANTS D'ANCRAGES » 2007**

Note	Nbre d'intervention [E]
3	0
4	0
5	1
6	6
7	7
8	12
9	16
10	8
11	4
12	2
13	0
14	0
15	0
16	0

Les travaux pilotes menés pour l'évaluation de l'état des ouvrages ancrés entre 2003 et 2006 sur l'A9 entre Lausanne-Vennes et Villeneuve ont conduit l'OFROU à intégrer dans sa directive « Tirants d'ancrages » une méthode multicritère d'analyse de risques de ces ouvrages. Il s'agit d'une analyse des risques différente de celle des standards d'ampleur et qui aboutit à la définition de mesures d'intervention. Cette méthode est utilisée lorsque les investigations sur les tirants sont jugées inopportunes: têtes inaccessibles, tirants à adhérence totale (longueur libre injectée de coulis de ciment). Basée sur l'évaluation du risque inhérent à chaque tirant, à leur importance pour la structure, à la fonction de la structure et à son mécanisme de ruine potentielle, elle permet d'estimer les mesures minimales à prendre pour assurer la sécurité structurale durant une durée à convenir (d'ordinaire environ vingt-cinq ans). Ces mesures conduisent généralement un renforcement des forces d'ancrages. Elles doivent être couplées à la mise en place – ou au complément – d'un dispositif de surveillance permettant de juger de la nécessité de mesures complémentaires à l'issue de la durée convenue (méthode observationnelle) initiale. On constate que le pourcentage de renforcement moyen est de l'ordre de 40 %.

2 Pourcentage de renforcement tiré de l'étude de risque sur l'ensemble des 55 ouvrages ancrés entre Vennes et Chexbres  
 3 Définition des standards pour les murs de soutènement (Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)

Standard d'ampleur OFROU	Conséquences sur l'AR et les infrastructures ferroviaires et routières voisines	Types d'ouvrages concernés	Eloignement de l'ouvrage par rapport à l'AR	Exemple en photo
<b>Maximal</b>	Entrave du trafic de l'AR et des infrastructures ferroviaires voisines de <b>longue durée</b>	Mur EL2 avec $H_{max} > 1.5\text{ m}$ et $H_{max} > B+BAU$ à l'amont de l'AR  Grand mur EL3 à l'amont de l'AR	Mur amont $H_{max} > B+BAU$ 	
		Mur EL2 avec $H_{max} > 1.5\text{ m}$ à l'aval de l'AR dont le prisme de poussée affecte la VC  Mur EL3 à l'aval de l'AR	Mur aval 	
		Mur entre AR et les infrastructures ferroviaires		
<b>Normal</b>	Entrave du trafic de l'AR et des infrastructures ferroviaires de <b>courte durée</b> .  Entrave des infrastructures routières voisines de type RC ou route de largeur min. 6.00 m.de <b>longue durée</b>	Mur EL2 avec $H_{max} > 1.5\text{ m}$ et $B < H_{max} < B+BAU$ à l'amont de l'AR  Petit mur EL3 à l'amont de l'AR	Mur amont $B < H_{max} < B+BAU$ 	
		Mur EL2 avec $H_{max} > 1.5\text{ m}$ à l'aval de l'AR dont le prisme de poussée peut affecter la BAU mais pas la VC	Mur aval 	
<b>Minimal</b>	Pas d'utilité de notions sur les dangers car pas de conséquences pour l'AR	Mur EL2 hors AR (amont ou aval) avec $H_{max} > 1.5\text{ m}$  Mur EL3 dont la zone d'influence ne concerne pas l'AR	Mur amont $H_{max} < B$ 	
		Pas d'entrave du trafic AR et des infrastructures ferroviaires voisines.  Entrave du trafic des infrastructures routières voisines de type RC ou route de largeur min. 6.00 m.de <b>courte durée</b>	Mur EL2 avec $H_{max} > 1.5\text{ m}$ et $H_{max} < B$ à l'amont de l'AR  Mur EL2 avec $H_{max} < 1.5\text{ m}$ à l'aval de l'AR dont le prisme de poussée n'affecte pas la BAU	
<b>Ecarté</b>	Pas d'utilité de notions sur les dangers car pas de conséquences pour l'AR et les infrastructures ferroviaires et routières voisines de type RC ou route de largeur min. 6.00 m.	Mur EL2 avec $H_{max} < 1.5\text{ m}$ à l'amont de l'AR sans risque de choc  Mur EL2 hors AR (amont ou aval) avec $H_{max} < 1.5\text{ m}$	-- 	