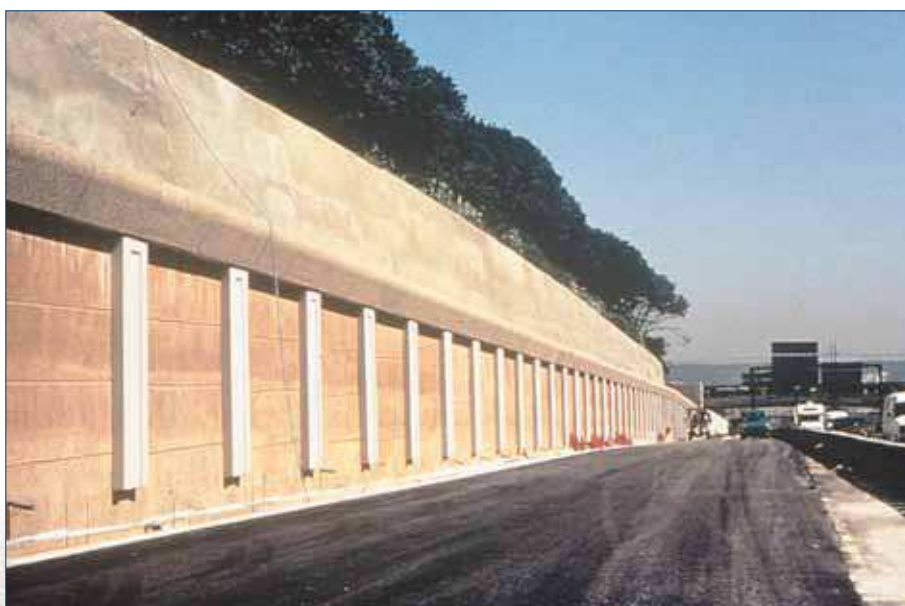


techniques et méthodes
des laboratoires des ponts et chaussées



Guide technique

Ouvrages de soutènement
Recommandations
pour l'inspection détaillée,
le suivi et le diagnostic
des parois clouées

Conformément à la note du 04/07/2014 de la direction générale de l'Ifsttar précisant la politique de diffusion des ouvrages parus dans les collections éditées par l'Institut, la reproduction de cet ouvrage est autorisée selon les termes de la licence CC BY-NC-ND. Cette licence autorise la redistribution non commerciale de copies identiques à l'original. Dans ce cadre, cet ouvrage peut être copié, distribué et communiqué par tous moyens et sous tous formats.



Attribution — Vous devez créditer l'Oeuvre et intégrer un lien vers la licence. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens possibles mais vous ne pouvez pas suggérer que l'Ifsttar vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son Oeuvre.



Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette Oeuvre, tout ou partie du matériel la composant.



Pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez une adaptation, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'Oeuvre originale (par exemple, une traduction, etc.), vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'Oeuvre modifiée.

Le patrimoine scientifique de l'Ifsttar

Le libre accès à l'information scientifique est aujourd'hui devenu essentiel pour favoriser la circulation du savoir et pour contribuer à l'innovation et au développement socio-économique. Pour que les résultats des recherches soient plus largement diffusés, lus et utilisés pour de nouveaux travaux, l'Ifsttar a entrepris la numérisation et la mise en ligne de son fonds documentaire. Ainsi, en complément des ouvrages disponibles à la vente, certaines références des collections de l'INRETS et du LCPC sont dès à présent mises à disposition en téléchargement gratuit selon les termes de la licence Creative Commons CC BY-NC-ND.

Le service Politique éditoriale scientifique et technique de l'Ifsttar diffuse différentes collections qui sont le reflet des recherches menées par l'institut :

- Les collections de l'INRETS, Actes
- Les collections de l'INRETS, Outils et Méthodes
- Les collections de l'INRETS, Recherches
- Les collections de l'INRETS, Synthèses
- Les collections du LCPC, Actes
- Les collections du LCPC, Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Rapport de recherche des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Guide technique
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Méthode d'essai



Institut Français des Sciences et Techniques des Réseaux,
de l'Aménagement et des Transports
14-20 Boulevard Newton, Cité Descartes, Champs sur Marne
F-77447 Marne la Vallée Cedex 2

Contact : diffusion-publications@ifsttar.fr

www.ifsttar.fr



Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des parois clouées

Guide technique

Juillet 2003



Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, bd Lefebvre, F 75732 Paris Cedex 15

Cet ouvrage fait partie d'une collection de sept fascicules rédigés sous la responsabilité du LCPC et du SETRA, sous maîtrise d'ouvrage de la Direction des Routes du Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer

Il a été élaboré par un groupe de travail constitué de :

- O. Combarieu (LRPC de Rouen)
- R. Dagba (SETRA puis LROP)
- M. Delannoy (LRPC de Nancy)
- E. Delahaye (CDOA Nord)
- L. Delattre (LCPC), animateur
- S. Fauchet (LREP), rédacteur du présent fascicule
- J.-P. Gigan (LREP), rédacteur du présent fascicule
- G. Haiun (SETRA)
- A. Lelièvre (LRPC de Rouen)
- B. Mahut (LCPC), animateur
- D. Malaterre (LRPC de Toulouse)
- C. Maurel (SETRA)
- M. Michel (LRPC de Lille)
- C. Mieussens (LRPC de Toulouse)
- N. Odent (SETRA), représentant du maître d'ouvrage
- L. Philippoteaux (LRPC de Strasbourg)
- M. Pioline (LRPC de Rouen)
- F. Renaudin (LRPC de Strasbourg)
- G. Sève (LRPC de Nice)
- J.-P. Sudret (LRPC d'Autun), rédacteur du présent fascicule

Le groupe de travail remercie :

- B. Godart (LCPC)
- J.-P. Magnan (LCPC)
- P. Vezole (SAE)

pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée pour l'amélioration du texte initial du présent fascicule.

Pour commander cet ouvrage :

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
IST-Diffusion des Editions

58, boulevard Lefebvre
F-75732 PARIS CEDEX 15

Téléphone : 01 40 43 50 20
Télécopie : 01 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>

Prix : 20 Euros HT

En couverture : Paroi clouée avec parement en béton coloré et éléments rapportés.

Ce document est propriété du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et ne peut être reproduit, même partiellement, sans l'autorisation de son directeur général (ou de ses représentants autorisés).

© 2003 - LCPC
ISSN : 1151-1516
ISBN : 2-7208-3117-4

Sommaire

■ *Présentation générale commune à tous les fascicules*5



RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX PAROIS CLOUÉES

1. Introduction	11
2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi	11
2.1 <i>Principe de fonctionnement</i>	11
2.2 <i>Domaine d'emploi</i>	13
3. Description de l'ouvrage	15
3.1 <i>Structure</i>	15
3.1.1 <i>Caractéristiques géométriques générales des ouvrages</i>	15
3.1.2 <i>Caractéristiques des clous</i>	17
3.1.3 <i>Caractéristiques du parement</i>	18
3.1.4 <i>Dispositif de liaison entre la tête de clou et le parement</i>	19
3.2 <i>Zone d'influence</i>	21
3.2.1 <i>Les terrains associés</i>	21
3.2.2 <i>La nappe</i>	21
3.3 <i>Équipements</i>	21
3.3.1 <i>Nature des équipements</i>	21
3.3.2 <i>Fixation</i>	22
3.4 <i>Drainage</i>	22
3.5 <i>Dispositifs de suivi</i>	23
4. Origine des défauts et désordres	24
4.1 <i>Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage</i>	24
4.2 <i>Mauvaise exécution</i>	24
4.3 <i>Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques</i>	25
4.4 <i>Défaut d'entretien</i>	26

5. Inspection détaillée **26**

<i>5.1 Organisation et déroulement</i>	26
<i>5.2 Relevé des défauts et désordres</i>	27
<i>5.3 Facteurs de risque de désordres</i>	28
<i>5.4 Prédiagnostic</i>	29
<i>5.5 Cotation IQOA</i>	29

6. Diagnostic **31**

<i>6.1 Démarche générale</i>	31
<i>6.2 Du prédiagnostic au diagnostic</i>	32
<i>6.3 Techniques d'investigation</i>	34
6.3.1 Suivi des déformations d'ensemble	34
6.3.2 Géométrie et nature des parements en béton armé	35
6.3.3 Suivi des fissures	35
6.3.4 Clous	35
6.3.5 Liaison clou/parement	35
6.3.6 Grands glissements	35
6.3.7 Sols	36
6.3.8 Nappe	36
<i>6.4 Recalcul de l'ouvrage</i>	37

7. Entretien et réparation **37**

<i>7.1 Entretien courant</i>	37
<i>7.2 Entretien spécialisé</i>	37
<i>7.3 Réparations</i>	37

8. Bibliographie **38**

ANNEXE I CATALOGUE DES DÉFAUTS ET DÉSORDRS APPARENTS	41
ANNEXE II LES CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA	47

■ Annexes communes à tous les fascicules **51**

ANNEXE A ÉLÉMENTS D'UN CAHIER DES CHARGES TYPE D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE (IDP) D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	53
ANNEXE B MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	57
ANNEXE C FICHE DE SYNTHÈSE IQOA	63

Dans le cadre de l'élaboration de la méthodologie pour l'évaluation des ouvrages de soutènement selon une cotation IQOA, il est apparu que certains types de soutènement ne pouvaient être directement évalués selon les modalités habituellement définies pour les visites de type IQOA.

Pour ces ouvrages en effet, un simple examen visuel, dans les conditions habituelles de réalisation de ces visites, a paru inadapté et insuffisant pour permettre d'apprécier de manière objective et correcte l'état réel de la structure et les risques éventuels encourus.

Il a donc été prévu que ces ouvrages fassent l'objet d'inspections détaillées systématiques et le cas échéant d'investigations spécifiques complémentaires pour permettre de bien appréhender leur état et leur comportement. C'est au travers de cette procédure que la cotation IQOA de ces ouvrages pourra être définie.

Afin de faciliter la mise en œuvre de cette démarche d'évaluation pour les types d'ouvrages concernés (ouvrages de la liste II définie dans IQOA-Murs), le Comité de Pilotage IQOA a décidé de confier au réseau technique LPC, en collaboration avec le SETRA, la rédaction de fascicules de recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic de ces ouvrages.

Ces fascicules s'adressent aux inspecteurs, chargés d'étude et gestionnaires chargés de réaliser les inspections détaillées des ouvrages de soutènement et d'exploiter les résultats de ces inspections.

1. Description générale de chaque fascicule

Le présent document s'inscrit dans une famille de fascicules rédigés tous sur le même modèle pour chacun des types d'ouvrages de la liste II d'IQOA-Murs :

- Rideaux de palplanches métalliques (type 7 d'IQOA-Murs)
- Parois moulées ou préfabriquées (type 8)
- Parois composites (type 9)
- Murs en remblai renforcé par des éléments métalliques (type 10)
- Murs en remblai renforcé par éléments géosynthétiques (type 11)
- Parois clouées (type 12)
- Poutres et voiles ancrés (type 13)

Ne sont donc pas traitées dans cette série de fascicules, les structures plus courantes telles que :

- Murs en maçonnerie de pierres sèches (type 1)
- Murs en maçonnerie jointoyée (type 2)
- Murs poids en béton (type 3)
- Murs en gabions (type 4)
- Murs en éléments préfabriqués en béton empilés (type 5)
- Voiles en béton armé encastrés sur semelle (type 6)

qui ont fait l'objet, dans le cadre de la démarche IQOA, de l'établissement de documents spécifiques faisant office à la fois de catalogues de défauts et désordres apparents et de procès-verbaux de visite types, permettant une évaluation directe de ces ouvrages selon la méthodologie IQOA.

N'est pas traité non plus, bien qu'il figure dans la liste II, le type 14 - Divers. Il a paru en effet impossible de rédiger un fascicule spécifique pertinent pour toute une variété de cas pouvant faire appel à des techniques très particulières ou combinant différents types de techniques. Il conviendra donc pour le diagnostic de ce type de structures de s'inspirer des recommandations définies dans le fascicule correspondant à la ou les techniques les plus proches.

Pour des facilités d'utilisation, le même plan a été adopté pour chaque type de structure traité. Ainsi, chaque fascicule comporte :

Au CHAPITRE 1 : une introduction qui définit notamment le domaine d'application précis du document.

Au CHAPITRE 2 : un rappel sur le principe de fonctionnement de la structure et son domaine d'emploi.

Au CHAPITRE 3 : une description de l'ouvrage, décomposée selon les quatre rubriques qui font l'objet d'une cotation dans IQOA-Murs :

- la structure proprement dite,
- sa zone d'influence,

- son système de drainage et d'assainissement,
- ses équipements,

auxquelles a été ajoutée, le cas échéant, une cinquième rubrique qui concerne les dispositifs de suivi pouvant avoir été mis en place dès l'origine sur l'ouvrage. Ces dispositifs, dans la mesure où ils ont été entretenus, peuvent en effet apporter une aide précieuse pour le diagnostic de l'ouvrage.

D'une manière générale, ce chapitre s'attache à décrire précisément les différentes parties constitutives de la structure et leur rôle ainsi que l'évolution des matériaux et techniques utilisées, en faisant ressortir leur influence sur le comportement de l'ouvrage et éventuellement sa sensibilité à différents types de pathologie. L'objectif est que le lecteur dispose des informations lui permettant d'avoir une bonne connaissance des techniques employées et de bien identifier un ouvrage à inspecter.

Au CHAPITRE 4 : une liste des principales causes de défauts et désordres de l'ouvrage, qui peuvent être liées à la conception et au dimensionnement de l'ouvrage, à son exécution, à son exploitation et son environnement, ou à un défaut d'entretien.

Au CHAPITRE 5 : les modalités de l'inspection détaillée.

Le paragraphe 5.1, général et identique pour tous les types d'ouvrages traités, rappelle les objectifs d'une inspection détaillée et décrit son organisation et son déroulement. Il insiste en particulier sur la nécessité d'associer pour l'inspection puis le diagnostic de ces ouvrages **des compétences à la fois en ouvrages d'art et en géotechnique**.

Ce paragraphe est complété par les annexes A - Éléments d'un cahier des charges type d'une Inspection Détaillée Périodique d'un Ouvrage de Soutènement et B - Modèle de cadre de rapport type d'inspection détaillée d'un ouvrage de soutènement, communes à tous les types d'ouvrages.

Les deux paragraphes 5.2 - Relevé des défauts et désordres et 5.3 - Facteurs de risque de désordres concernent les deux points clés de la méthodologie de diagnostic proposée (*cf.* principe présenté ci-après au paragraphe 2). Le paragraphe 5.2 est complété en annexe I par un catalogue des défauts et désordres apparents dans lequel sont mis en évidence les désordres pouvant traduire une pathologie grave.

Le paragraphe 5.4 récapitule les problèmes structurels susceptibles d'être rencontrés et de nature à conduire aux désordres les plus significatifs pour l'ouvrage.

L'identification, ou la simple présomption d'un tel problème structurel, sur la base des défauts et désordres rencontrés, ou de l'identification de facteurs de risque, conduit à la formulation d'un prédiagnostic qui restera à confirmer au stade du diagnostic, par la mise en œuvre d'un programme d'investigations complémentaires (*cf.* chapitre 6).

Le paragraphe 5.5, enfin, renvoie à l'établissement d'une première cotation IQOA, sur la base du prédiagnostic ainsi formulé. Il est complété, en annexe II par une liste de critères pour l'établissement de la cotation IQOA de l'ouvrage.

Au CHAPITRE 6 : la présentation de la démarche de diagnostic telle que décrite au paragraphe 2 ci-après et son application au type de structure concerné.

Le paragraphe 6.1 décrit la démarche générale de diagnostic. Il est identique pour tous les documents.

Le paragraphe 6.2 est spécifique à chaque type d'ouvrages traité. Il explicite sous forme de tableaux comment, pour chaque hypothèse de pathologie formulée au stade du prédiagnostic,

aboutir à un diagnostic final à partir d'un programme d'investigations. Ces tableaux rappellent tout d'abord les défauts et désordres (par référence au catalogue figurant en annexe I) et les facteurs de risque de désordres associés, ou à l'origine de cette présomption de pathologie. Puis ils précisent, dans chaque cas, le contenu du programme d'investigations à mettre en jeu pour aboutir au diagnostic. Ce programme peut comporter : examen du dossier d'ouvrage, établissement d'un état de référence et suivi, investigations *in situ*, recalculs. Pour chaque hypothèse de pathologie, des informations sont données sur la nature des informations à recueillir, contrôles, mesures, essais ou recalculs à effectuer dans le cadre de ce programme d'investigations.

Le paragraphe 6.3 donne, pour différents objectifs d'investigations *in situ*, quelques informations sur la nature des moyens techniques pouvant permettre d'effectuer les mesures correspondantes.

Au CHAPITRE 7 : une liste d'opérations pouvant être effectuées dans le cadre de l'entretien courant, de l'entretien spécialisé et des réparations.

Au CHAPITRE 8 : une bibliographie.

Enfin, en plus des annexes communes A et B et de l'annexe I déjà évoquées, les fascicules comportent une **annexe II**, particulière à chaque type d'ouvrage, qui précise les critères pour une cotation IQOA de l'ouvrage (voir paragraphe ci-après) et une **annexe C**, commune à l'ensemble des fascicules, donnant le modèle de fiche de synthèse de la cotation de l'état de l'ouvrage.

2. Principe de la méthodologie de diagnostic

Le principe de la méthodologie proposée pour établir le diagnostic d'un ouvrage repose sur l'analyse simultanée de ses **défauts et désordres apparents** (à caractère évolutif ou non) et de ses **facteurs de risque de désordres**.

Les défauts et désordres apparents sont le résultat direct du constat effectué lors de l'inspection détaillée. Leur caractère évolutif peut éventuellement être apprécié soit par rapport à un constat antérieur soit par un relevé de dispositifs de mesure en place.

Les facteurs de risque de désordres sont les facteurs susceptibles de provoquer ou d'aggraver certains désordres. Ils peuvent être évalués à partir du dossier de l'ouvrage lorsqu'il existe et des observations *in situ*. Si nécessaire, au cours de la démarche de diagnostic, des analyses complémentaires pourront permettre de confirmer la présence effective de certains facteurs de risque de désordres (exemple : analyse de sols pour vérifier leur caractère agressif).

Dans les cas les plus simples (pas de problème structurel en cause), le relevé des défauts et désordres permet généralement d'aboutir directement au diagnostic.

En revanche lorsque des problèmes structurels sont en cause, l'analyse conjointe des désordres apparents et des facteurs de risque de désordres ne conduit le plus souvent qu'à une présomption de pathologie. C'est le stade du **prédiagnostic**.

Pour aboutir ensuite au **diagnostic** final, ces présomptions devront être confirmées ou invalidées au cours d'une démarche progressive passant le plus souvent par un réexamen du dossier de l'ouvrage, et pouvant nécessiter un suivi de l'ouvrage dans le temps, des investigations particulières *in situ* voire un recalcul de l'ouvrage.

Pour certains ouvrages, la seule identification de facteurs de risque de désordres importants pourra justifier, en l'absence de tout défaut ou désordre apparent, le déclenchement d'une démarche visant à vérifier la présence effective de ces facteurs de risque, la sensibilité de l'ouvrage à ces risques (exemple : armatures de renforcement ou tirants dans des sols agressifs), à engager un suivi de l'ouvrage, à mener des investigations complémentaires, etc.

3. Cotation IQOA

Une première cotation IQOA de l'ouvrage sera définie sur la base des hypothèses formulées au stade du prédiagnostic. À l'issue des investigations éventuellement nécessaires pour confirmer le diagnostic, cette cotation pourra être révisée en fonction de l'état réel de l'ouvrage.

Une cotation sera attribuée à chacune des quatre parties suivantes : la zone d'influence, les équipements, le drainage et l'assainissement, et la structure, conformément à l'ordre adopté dans la fiche de synthèse donnée en annexe C.

Pour aider à cette cotation, l'annexe II fournit pour chacune de ces parties, sauf pour les équipements où elle renvoie aux modalités habituelles de la méthodologie IQOA, des critères permettant de lui attribuer une cotation en fonction des présomptions de pathologie identifiées au stade du prédiagnostic ou confirmées au stade du diagnostic.

RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX PAROIS CLOUÉES



1. Introduction

Le présent guide s'applique aux ouvrages de soutènement constitués par une paroi clouée.

Réaliser un soutènement par clouage consiste à renforcer un sol en déblai, au fur et à mesure de son excavation, par incorporation de barres rigides, appelées clous, peu inclinées sur l'horizontale, généralement placées parallèlement les unes aux autres.

On construit ainsi progressivement, de haut en bas, un massif de sol renforcé.

Cette technique a vu le jour en France en 1972-1973, pour des ouvrages provisoires. Elle s'est depuis considérablement développée et est utilisée pour des soutènements aussi bien provisoires que définitifs.

Dans les années 1990, des recommandations relatives à la conception, au calcul, à l'exécution et au contrôle des soutènements réalisés par le clouage des sols ont été rédigées dans le cadre du Projet National Clouterre. Il s'agit des « Recommandations Clouterre 1991 ». Une norme expérimentale XP P 94-240 concernant ces ouvrages a également été publiée en août 1998. Elle traite du dimensionnement des ouvrages.

Après un rappel du domaine d'emploi, du principe de fonctionnement et de la description de la structure d'un soutènement par clouage, ce fascicule analyse les principales causes de désordres pouvant l'affecter. Il propose une procédure d'inspection détaillée, de diagnostic, d'entretien et de réparation de ces ouvrages.

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

2.1 Principe de fonctionnement

Le soutènement par clouage est réalisé par phases successives au fur et à mesure de l'excavation des terres (Fig. 1). Chaque phase comporte :

- un terrassement de hauteur limitée, sur une longueur limitée,
- la mise en place de clous,
- l'installation éventuelle d'un système de drainage,
- la réalisation d'un parement.

Ce procédé ne nécessite donc pas d'excavation préalable comme c'est le cas pour un mur de soutènement en béton armé.

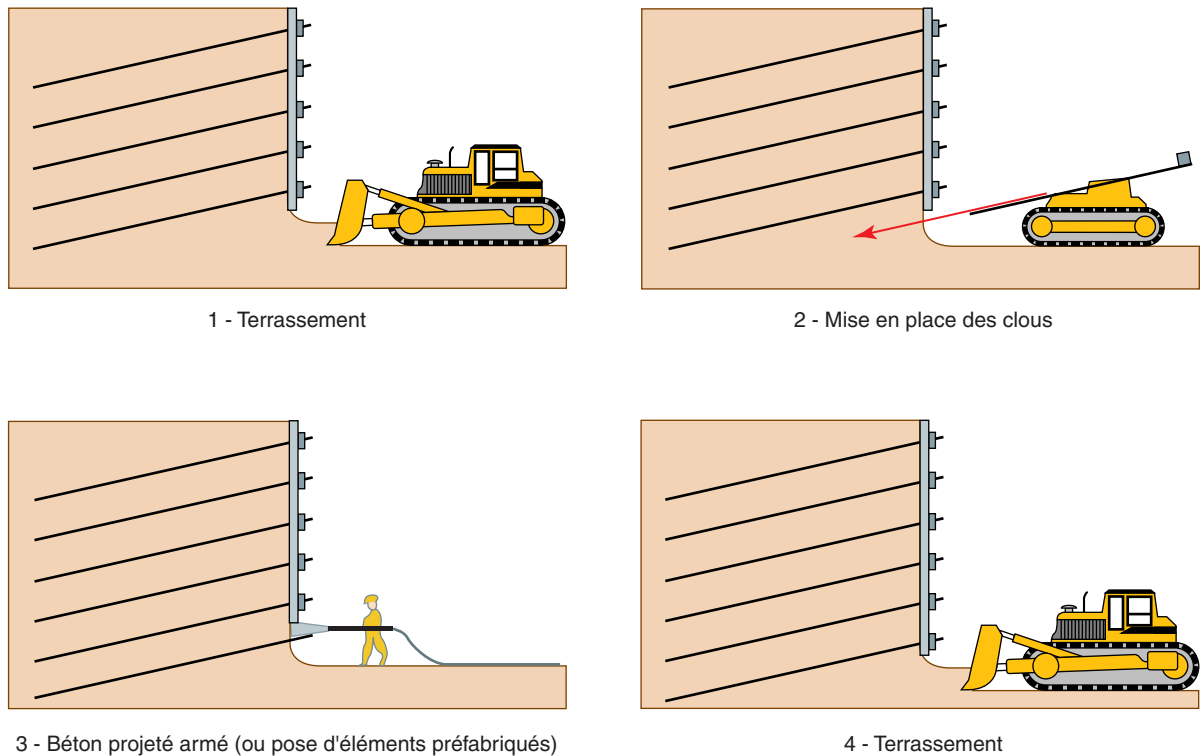


FIGURE 1 - Phases de réalisation d'une paroi clouée (d'après les Recommandations Clouterre 91).

La mise en œuvre nécessite la maîtrise des écoulements de l'eau souterraine et une cohésion minimale des terrains pour assurer la stabilité du talus pendant les phases d'excavation.

Le principe de fonctionnement du soutènement par clouage repose sur les interactions qui se développent entre le sol en place et les éléments de renforcement rigides.

L'interaction la plus importante est le frottement latéral que le sol exerce le long du clou : la mobilisation du frottement latéral ne nécessite qu'un très faible déplacement relatif du clou par rapport au sol, de l'ordre de quelques millimètres. Or, les déchargements latéraux du sol, au fur et à mesure des excavations, provoquent des déformations du mur. Les extensions dans la direction horizontale sont à l'origine de la mobilisation du frottement latéral le long des clous et de la mise en traction de ces derniers.

L'observation et l'instrumentation des ouvrages de soutènement en sol cloué réalisés en déblai ont montré ce qui suit :

- l'amplitude des déplacements de la tête du parement augmente au fur et à mesure de la réalisation de l'ouvrage. Les composantes horizontales et verticales du déplacement sont du même ordre de grandeur ;
- l'effort de traction varie le long de chaque clou et atteint généralement sa valeur maximale au sein du massif. La distribution des efforts de traction dans les clous évolue au fur et à mesure de la construction, cette évolution se poursuivant après l'achèvement de l'ouvrage (solllicitations en service, fluage des sols du massif soutenu et de son assise) ;
- le lieu géométrique des points de traction maximale T_{max} permet de séparer le massif soutenu en deux zones (Fig. 2) :
 - 1 - une zone active située derrière le parement et 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 ainsi au déplacement latéral de la zone active ;
- la poussée qu'exerce le sol sur le parement diffère fortement de celle qu'il exercerait sur un écran de même géométrie en l'absence de clous.

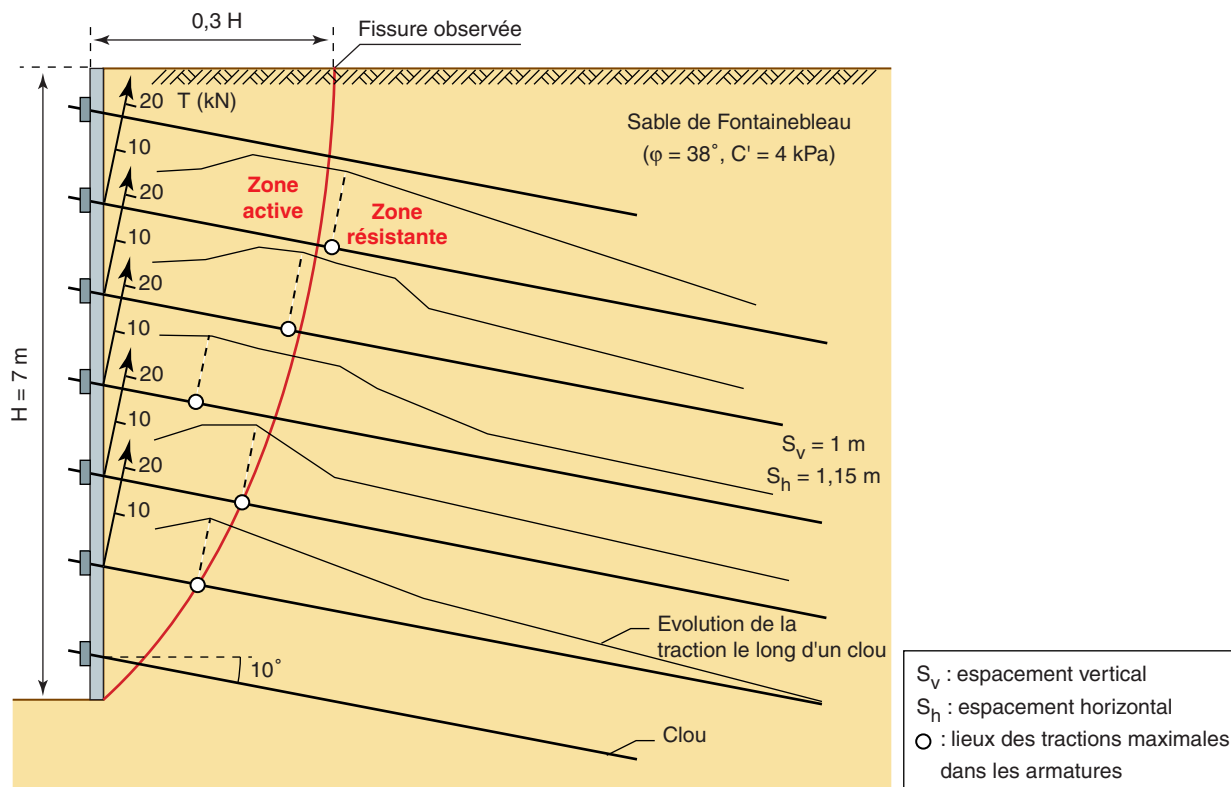


FIGURE 2 - Schématisation de la zone active et de la zone résistante (d'après les recommandations Clouterre 91).

Dans le cas particulier du renforcement des ouvrages existants, à l'arrière desquels se développe une zone de cisaillement, les clous peuvent travailler non seulement en traction mais aussi en flexion. Il y a mobilisation d'une réaction du sol perpendiculairement à l'axe du clou. Les clous reprennent alors des moments fléchissants et des efforts tranchants.

Notons que, pour limiter les déplacements du massif cloué s'ils sont jugés trop importants vis-à-vis de l'environnement ou tout simplement pour assurer sa stabilité, il est possible d'associer les clous (ancrages passifs) à des ancres actifs. La distinction entre renforcements passifs, du type clou, et renforcements actifs, du type tirants précontraints, est très nette si l'on considère la répartition des efforts de traction. L'ancrage actif comporte une longueur libre, protégée par un tubage, le long de laquelle l'effort de traction reste constant.

2.2 *Domaine d'emploi*

Le domaine d'emploi des soutènements par clouage est vaste.

Le clouage est bien adapté aux sites délicats dans la mesure où il ne nécessite pas d'excavation préalable et où le matériel utilisé est léger. Il permet en particulier de réaliser des ouvrages dans des pentes d'accès difficile, dans des emprises réduites, sous des hauteurs libres relativement faibles. Il peut être réalisé par plots, en courbe ou avec un parement incliné, ainsi que par murs superposés.

Cette technique est également bien adaptée aux sols hétérogènes dans la mesure où la densité des clous peut être adaptée à la nature et à la résistance des sols rencontrés. Les clous scellés peuvent passer sans difficulté au travers des sols localement hétérogènes comportant des blocs. Il est également possible, pour des raisons d'encombrement du sous-sol, de modifier localement l'orientation, la longueur ou la densité des clous.

Les principales applications de ce procédé se trouvent dans les domaines suivants :

- en ouvrages neufs, pour la réalisation de soutènements d'excavation : tranchées routières, sous-sols de bâtiments, têtes de tunnels, etc. (Fig. 3),
- en travaux d'élargissement de voies : raidissement de talus, élargissement sous des tabliers d'ouvrages d'art, etc.,
- en réparation ou confortation d'ouvrages : renforcement de maçonneries ou de murs en Terre Armée, blindages.



FIGURE 3 - *Ouvrage neuf, paroi clouée en soutènement d'excavation.*

Les règles de conception des ouvrages provisoires ou permanents sont identiques. Pour les ouvrages permanents, on retient cependant des dispositions complémentaires vis-à-vis de la durabilité des clous et du ferrailage du parement. On considère dans ce cas pour les clous une épaisseur d'acier sacrifiée à la corrosion et pour le parement, on veille à la continuité des armatures.

Le clouage présente cependant certaines limitations, à savoir :

- les déplacements latéraux et verticaux du terrain soutenu, inhérents au fonctionnement même de la technique. Cette limitation est surtout importante en site urbain à cause des ouvrages existants situés à proximité. Il convient de vérifier que la structure existante va pouvoir supporter sans dommage une déformation horizontale du sol ainsi qu'une déformation verticale avec tassements différentiels ;
- la construction de murs cloués sous la nappe dans des sols à faible cohésion n'est pas envisageable, tant pour des problèmes d'exécution que pour la stabilité à long terme, sans un rabattement mettant l'ouvrage à l'abri des arrivées d'eau ;
- une utilisation délicate dans des sols pulvérulents sans cohésion, où il n'est pas possible d'assurer la stabilité d'une excavation subverticale, même limitée en longueur et hauteur ;

- une utilisation difficile dans les sols argileux de médiocres caractéristiques. Des précautions doivent être prises pour empêcher les infiltrations d'eau qui peuvent entraîner une forte diminution du frottement latéral sol/clou, associée à une perte de résistance du sol ;
- le gel peut conduire à des gonflements de certains types de sol, générant des augmentations importantes de traction en tête de clous.

3. Description de l'ouvrage

3.1 Structure

3.1.1 Caractéristiques géométriques générales des ouvrages

En site urbain, pour des raisons évidentes liées à l'emprise disponible pour réaliser les travaux, les ouvrages sont généralement conçus avec des parements verticaux. Toutefois, dans la mesure du possible, il est conseillé, qu'ils soient permanents ou temporaires, de leur donner un fruit. Celui-ci permet d'améliorer sensiblement la stabilité, tant durant la construction qu'à long terme, pour l'ouvrage en service.

Le choix de la longueur, de l'inclinaison et de la répartition des clous dépend de nombreux facteurs et en particulier de la hauteur et du fruit du parement, du type de clou retenu (foncés ou réalisés par forage du sol) et des qualités des terrains concernés.

En règle générale, les clous sont disposés en lits, légèrement inclinés par rapport à l'horizontale pour des raisons d'exécution. Cette inclinaison est en pratique comprise entre 5 et 20 degrés. Pour un ouvrage à parement vertical, la longueur moyenne des clous est d'environ :

- 0,5 à 0,7 H (H hauteur totale de l'ouvrage) pour des clous foncés, disposés avec une maille relativement serrée (environ 1 à 2 clous par mètre carré),
- 0,8 à 1,2 H (H hauteur totale de l'ouvrage) pour des clous réalisés par forage, disposés à raison d'environ un clou pour 2,5 à 6 m² de parement.

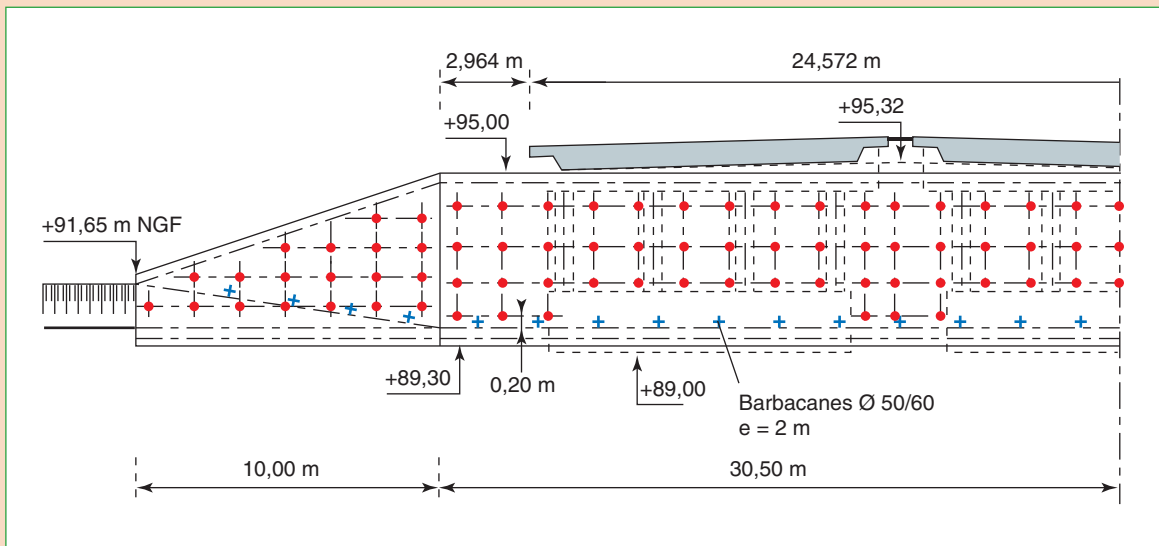
Une distribution de clous de longueur constante sur toute la hauteur de l'ouvrage est une disposition courante. Toutefois, il est possible de concevoir une distribution différente des clous :

- mise en œuvre de clous plus longs en partie supérieure pour des ouvrages de forte hauteur par exemple,
- densité des clous variable pour un même soutènement en fonction des types de terrains, des obstacles rencontrés, etc.

Un exemple de distribution de clous est présenté figure 4.

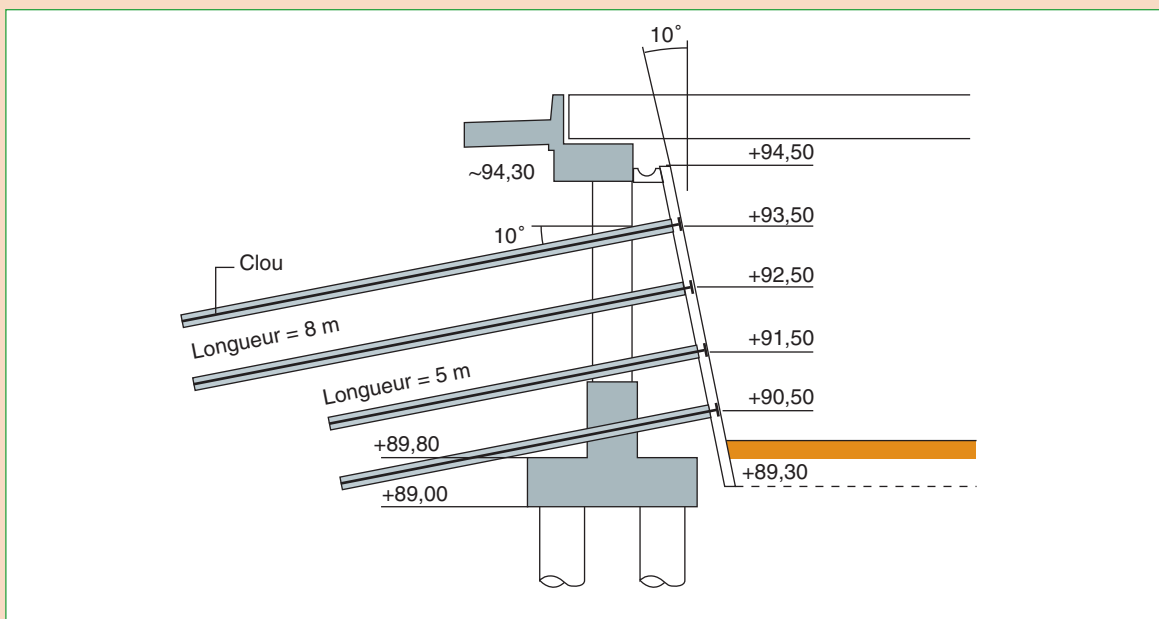
FIGURE 4

Exemples de distribution des clous : rescindement d'une culée d'ouvrage d'art.



a. Élévation

Les clous sont disposés ici selon une maille rectangulaire. Il est également courant de les répartir en quinconce.



b. Coupe transversale.

3.1.2 Caractéristiques des clous

Les techniques de réalisation des clous peuvent être classées en deux familles principales :

- **clous « battus »** : battage, fonçage, vibrofonçage, lançage, procédés utilisés seuls ou associés ;
- **clous scellés par un coulis de ciment** : clous scellés dans des forages préalables, clous « autoforeurs » avec injection par l'armature et l'outil de forage.

Dans la première famille, les clous sont généralement constitués par des cornières, des profilés ou des tubes métalliques.

Dans la deuxième famille, les armatures scellées dans des forages sont le plus souvent des barres (aciers Haute Adhérence pour le béton armé - les aciers à haute limite élastique sont déconseillés) comme celles présentées sur la figure 5. Le remplissage par le coulis de scellement se fait par le fond du forage soit à partir de l'outil de forage soit à partir d'une tubulure fixée le long de l'armature. Le scellement est gravitaire, sauf dans quelques cas de terrains à faibles caractéristiques, où une injection sous pression peut permettre d'obtenir un meilleur « accrochage » du clou au terrain. Les diamètres usuels des inclusions (clous et leur enrobage de coulis) varient de 90 à 150 millimètres.



FIGURE 5 - *Vue des aciers haute adhérence constituant les armatures des clous.*

Les centreurs fixés sur les barres assurent un bon positionnement de ces dernières dans le forage et garantissent leur enrobage minimal par le coulis.

Le coulis de ciment, même correctement dosé (rapport pondéral C/E \cong 2), subit des phénomènes d'essorage et de décantation, ce qui a pour effet d'abaisser son niveau en tête de forage. Des compléments de remplissage sont nécessaires pour compenser ces pertes et un dispositif permettant de parfaire ce remplissage après mise en place des systèmes de liaison au parement peut être prévu.

3.1.3 Caractéristiques du parement

Le parement est la partie visible de l'ouvrage, sur laquelle portera l'essentiel des observations au cours de l'inspection.

On n'envisage ici que le cas d'un parement en béton armé, qui est le plus fréquent.

La réalisation de ce parement s'inscrit dans l'enchaînement des phases de construction et de ce fait son exécution s'effectue de haut en bas avec des reprises correspondant aux passes de terrassement (Fig. 6).

FIGURE 6 - Réalisation du parement par béton projeté.

Mise en œuvre de la première couche de béton de la seconde passe de terrassement. De façon à éviter les infiltrations d'eau du terrain à travers le parement, on pourra réaliser une liaison en forme de baïonnette entre les deux passes de terrassement. La hauteur de la première couche de béton en contact avec le terrain est supérieure à la seconde, si bien que le raccordement des deux couches ne se fait pas au même endroit (cf. Fig. 12).



Le parement peut avoir une épaisseur allant d'une dizaine de centimètres jusqu'à 30 centimètres ou plus pour les ouvrages de grande hauteur. Il est alors réalisé en plusieurs étapes.

Différents cas de figures sont rencontrés :

◆ Parement réalisé en béton projeté en une seule épaisseur, par passes descendantes

Le ferrailage du parement est constitué par une ou deux nappes de treillis soudé.

Les têtes de clous sont noyées dans le béton (cas des armatures battues) ou situées à l'extérieur du parement (cas des clous forés).

Ces dispositions sont généralement réservées aux ouvrages provisoires.

◆ Parement réalisé en béton projeté en plusieurs couches par passes descendantes

Chaque épaisseur de béton comporte une ou deux nappes de treillis et des dispositions constructives sont définies pour assurer un recouvrement horizontal et vertical de ces nappes. Les têtes de clous (plaques et écrous pour des clous forés) sont disposées sur la première couche de béton et n'apparaissent donc pas à l'extérieur de l'ouvrage.

Les reprises de bétonnage sont généralement identifiables par l'examen du parement, que celui soit « brut » ou lissé à la règle.

◆ Parement réalisé en deux phases

Le béton projeté réalisé par passes descendantes en première phase, est complété par un béton projeté ou banché réalisé dans un deuxième temps de bas en haut. Des dispositions constructives particulières (clous à deux plaques de liaison au parement) peuvent avoir été prévues.

Dans ce cas, il peut être difficile de différencier par un simple examen visuel un ouvrage cloué d'un voile de mur en béton armé, d'autant plus que des joints verticaux sont généralement prévus en parement.

3.1.4 Dispositif de liaison entre la tête de clou et le parement

La tête de clou est liaisonnée au parement par un dispositif qui dépend principalement de la nature de l'armature.

Les systèmes les plus usuels sont les suivants :

Cornières ou profilés métalliques battus

Les cornières sont épinglées à leurs extrémités par des « fers à béton » de faible section et de 20 à 30 centimètres de longueur, placées à l'avant du treillis ou ligaturées à celui-ci (Fig. 7).

Barres à haute adhérence pour béton armé

Les extrémités sont bloquées par des écrous vissés contre des plaques métalliques s'appuyant par l'intermédiaire de patins de mortier sur le béton du parement (Fig. 8).



FIGURE 7 - Détail de têtes de clou, cas des cornières battues.



FIGURE 8 - Détail d'une tête de clou, cas des barres en acier à haute adhérence pour béton armé.

Armatures tubulaires

Des plaques sont soudées sur les tubes.

Quel que soit le système de liaisonnement, il faut noter que la tête du clou, en particulier à l'interface parement-terrain, constitue la partie la plus exposée à la corrosion, du fait du risque de fissuration du coulis et des circulations d'eau.

Aussi est-il généralement prévu de protéger cette partie de l'armature par un tube métallique ou plastique, dénommé trompette, dont l'extrémité extérieure doit être totalement enrobée par le béton du parement (Fig. 9).

Diverses dispositions constructives sont présentées dans les recommandations Clouterre.

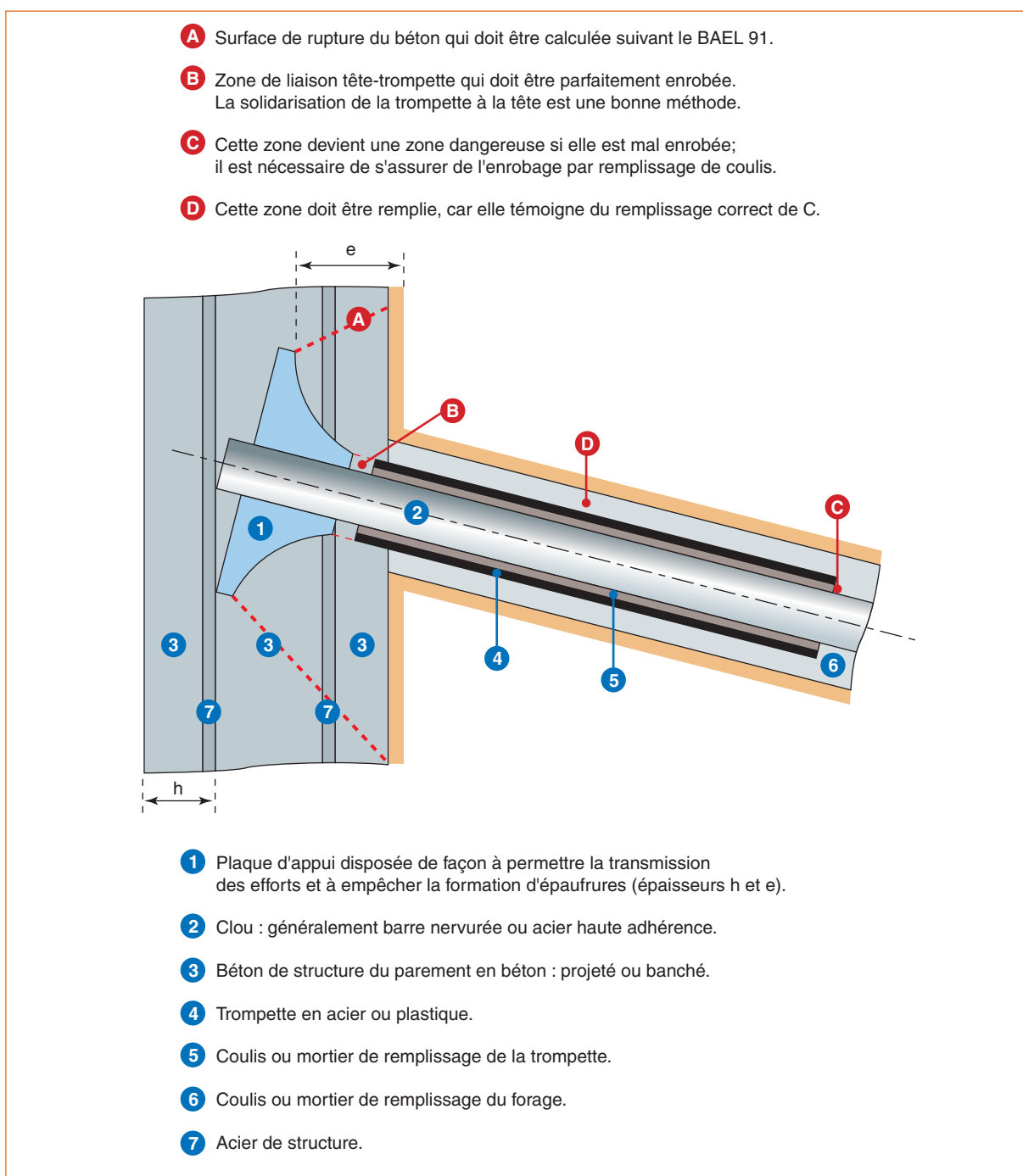


FIGURE 9 - Liaison « tête - clou - parement » - Tube trompette (Extrait des recommandations Clouterre 91).

3.2 Zone d'influence

3.2.1 Les terrains associés

Le terrain environnant la paroi clouée fait partie intégrante de l'ouvrage. On distingue plusieurs parties (Fig. 10) :

- **Zone 1** : zone de forte sollicitation des armatures au sein de laquelle peuvent se manifester des problèmes de stabilité interne du massif cloué. Cette zone de terrain s'étend jusqu'à $0,3-0,5 H$ à l'arrière du parement (H étant la hauteur de la paroi).
- **Zone 2** : zone où l'on peut observer un déplacement d'ensemble du massif cloué. Elle est située à l'arrière de l'ouvrage. Elle s'étend dans un secteur situé entre L_{clou} (longueur des clous les plus longs) et $1,5 H$, comptés depuis le parement.
- **Zone 3** : zone dans laquelle peut se manifester un phénomène de stabilité générale de grand glissement. Elle s'étend jusqu'à $3 H$ à l'amont ainsi qu'à l'aval du parement.

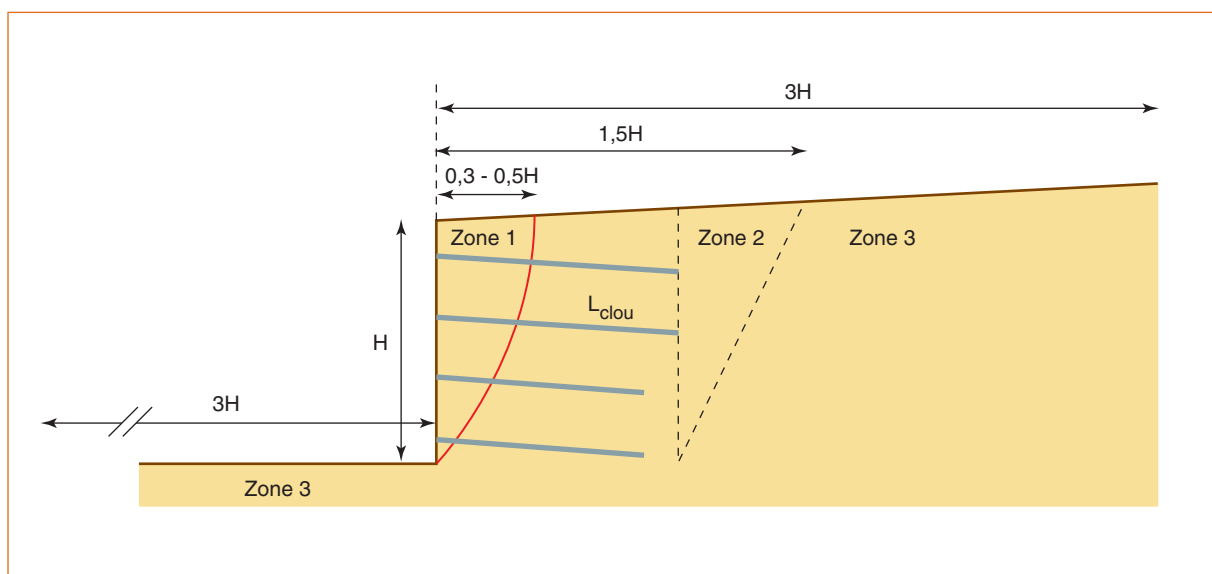


FIGURE 10 - Zone d'influence - terrains associés.

Zone 1 : zone de forte sollicitation des clous.

Zone 2 : zone à l'arrière du massif cloué.

Zone 3 : zones à l'amont et l'aval du massif cloué.

3.2.2 La nappe

Les parois clouées sont généralement réalisées dans des terrains ne contenant pas de nappe.

3.3 Équipements

3.3.1 Nature des équipements

Dans certains cas, des dispositifs de retenue, tels que les barrières de sécurité, les garde-corps, la signalisation et d'autres éléments rapportés peuvent se trouver en tête de paroi clouée.

3.3.2 Fixation

Habituellement, ces dispositifs ne sont pas fixés directement sur la tête du parement. Le plus couramment, on peut trouver les deux dispositions suivantes (Fig. 11a et b) :

- le système de fixation est complètement désolidarisé du parement ;
- le parement est prolongé horizontalement par une poutre dans laquelle seront fixés les dispositifs.

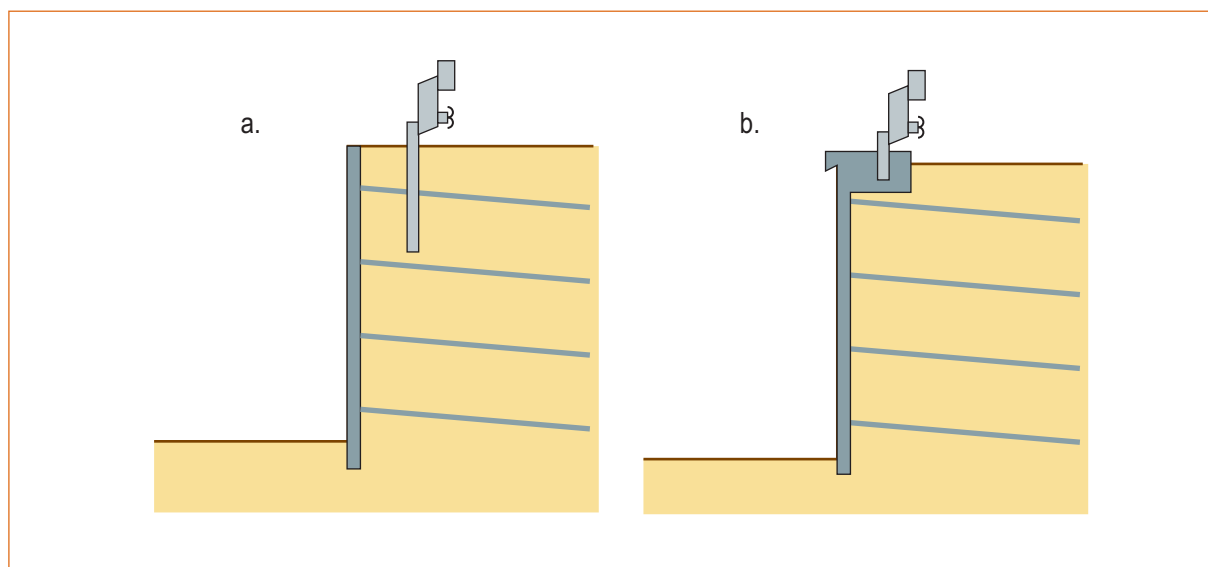


FIGURE 11 - Systèmes de fixation les plus courants.

- a. Système de fixation indépendant : barrière battue et disposée à l'arrière du parement.*
b. Barrière fixée sur une poutre mise en œuvre en tête du parement.

3.4 Drainage

Les dispositions adoptées pour le drainage des massifs cloués dépendent de la nature des terrains et de l'exposition de l'ouvrage aux circulations aquifères.

Les moyens usuels sont les suivants :

- barbacanes en pied d'ouvrage ou placées à plusieurs niveaux (mais qui peuvent être à l'origine de « coulures » peu esthétiques) ;
- géosynthétiques drainants disposés en bandes verticales (Fig. 12) ou parfois inclinées sur le terrain à l'arrière du parement. Ces géosynthétiques sont raccordés à un exutoire en pied du parement. Ils ne doivent pas remonter jusqu'en tête du parement pour éviter de collecter les eaux de surface ;
- drains subhorizontaux, équipés le plus souvent de tubes crépinés et éventuellement de « chaussettes » dans le cas de matériaux érodables.

Ces drains sont conseillés dans les terrains de faible perméabilité ou hétérogènes. Ils sont inclinés vers le haut (le plus courant) ou vers le bas, et nécessitent un entretien. Ils peuvent déboucher en parement ou dans un fossé, mais aussi dans certains cas être reliés à un collecteur enterré, sans être visibles de l'extérieur, comme schématisé sur la figure 13.

- des cunettes mises en œuvre en tête d'ouvrage pour collecter les eaux de surface.



FIGURE 12 - Géosynthétiques drainants disposés en bandes verticales entre le terrain et le parement.

La densité des géosynthétiques est ici particulièrement faible. Elle peut être beaucoup plus forte si les conditions hydrauliques l'imposent.

On remarquera également sur cette photo la liaison en forme de baïonnette entre les deux passes de bétonnage.

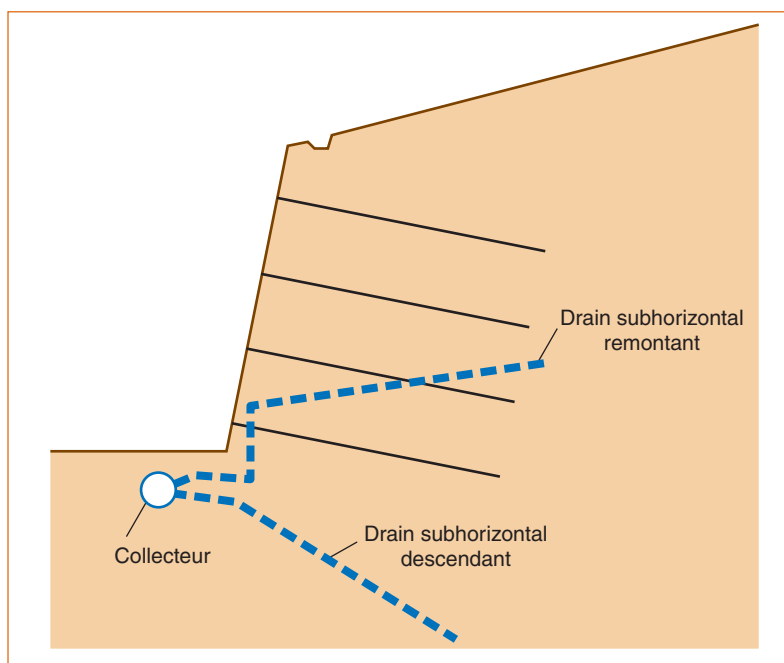


FIGURE 13 - Drains non visibles de l'extérieur, reliés à un collecteur enterré.

3.5 Dispositifs de suivi

Le contrôle du comportement d'un ouvrage en service est prévu dans les recommandations Clouterre, en particulier pour les cas suivants :

- mur de hauteur importante (> 9 m),
- site en pente,
- massif supportant des structures sensibles aux déformations.

Il porte sur :

- le contrôle des déplacements du parement : mesure par visée optique ou autres moyens des déplacements verticaux et horizontaux
- mise en œuvre de témoins de durabilité : éléments d'armatures de 1 à 1,5 mètre de longueur, non enrobés de coulis, extraits selon un échancier préétabli.

Pour des situations particulières, des équipements complémentaires peuvent être prévus : piézomètres ou capteurs de pressions interstitielles - inclinomètres, etc.

4. Origine des défauts et désordres

4.1 Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage

- Clouage à proximité de constructions sensibles ne supportant pas les déformations de sols inhérentes au procédé.
- Terrains inadaptés (argiles - sables bouillants - remblais hétérogènes de très mauvaises caractéristiques).
- Technologie de clouage inadaptée. Par exemple :
 - battage ou fonçage des armatures dans des terrains contenant des blocs, entraînant des refus ou déformations des armatures,
 - scellement de barres dans des sols très fracturés ou karstiques avec risque de pertes de coulis et non enrobage des armatures.
- Sous-dimensionnement de l'ouvrage (longueur ou maillage des clous).
- Mauvaise répartition des clous : par exemple clous trop courts en partie supérieure et ne participant pas à la stabilité du massif, ce qui se traduit par des déformations importantes en tête.
- Inclinaison trop importante des clous vers le bas générant des composantes verticales d'efforts dans le parement, un risque de « décollement » de celui-ci en cas de déformation du massif et des efforts de flexion en tête des clous.
- Sous-dimensionnement du parement ou de la liaison clou-parement.
- Non prise en compte des dispositions relatives à la durabilité ; modification de la classe de l'ouvrage (ouvrage conçu en ouvrage provisoire devenu ouvrage permanent).
- Non prise en compte ou prise en compte peu réaliste des conditions hydrauliques et de leur évolution prévisionnelle.
- Choix du ciment non adapté à l'environnement chimique (eaux sulfatées par exemple).

4.2 Mauvaise exécution

- Fournitures de produits non conformes sur le plan géométrique ou mécanique.
- Défauts d'exécution des clous :
 - absence de centreur sur les armatures scellées dans des forages ou centreurs trop déformables,
 - coulis de scellement de mauvaise qualité ou mal dosé,
 - coulis de scellement non mis en œuvre depuis la base du forage,
 - forage non totalement rempli de coulis (non compensation des effets de l'essorage et de la décantation).
- Défaut d'exécution du parement et de la liaison clou parement :
 - non respect des épaisseurs de béton,
 - nappes d'armature (en général treillis soudé) mal positionnées ou non maintenues lors de la projection du béton,

- absence de renfort du ferrailage au niveau des têtes de clous (ou nappe située à l'avant de la plaque d'appui et ne participant pas à la reprise des efforts de poinçonnement),
- mise en place de plaques d'appuis avant la projection du béton : risque de vide derrière les plaques,
- boulons non serrés ou absence de boulons,
- absence de recouvrement des nappes de treillis, si celui-ci est prévu dans les notes de calcul,
- mauvaise mise en œuvre du béton projeté,
- insuffisance de la fiche du parement pouvant entraîner des écoulements de matériaux sous ce dernier et des instabilités,
- superposition de nappes de treillis soudés constituant des obstacles à la mise en œuvre du béton par projection,
- serrage trop précoce des plaques contre le béton (poinçonnement),
- talochage conduisant à un affaissement du béton, donc à des défauts le long des armatures.

■ Drainage

- non mise en œuvre du géosynthétique drainant prévu (absence d'eau au moment des travaux !) ou choix d'un matériau de caractéristiques drainantes insuffisantes,
- absence ou nombre insuffisant de barbacanes ou drains subhorizontaux (Fig. 14),
- non raccordement des systèmes drainants à un exutoire,
- colmatage des drains par du coulis ou du béton projeté,
- géotextile remontant jusqu'en tête du parement et collectant les eaux de surface.



FIGURE 14 - Défaut de drainage.

Apparition d'une tâche humide sur le parement béton, conséquence d'un sous-dimensionnement du système de drainage.

4.3 Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques

- Surcharges excessives ou non prévues en tête d'ouvrage (notamment circulation de poids lourds près du parement, ajout d'écrans acoustiques en site urbain, etc.).

- Modification de la géométrie du sol en pied de l'ouvrage (surcreusement, suppression des risbermes, érosion, excavation, etc.).
- Ambiance agressive - pollution accidentelle des terrains.
- Sels de déverglaçage.
- Effets du gel (sur le sol et sur le béton, ainsi que sur les dispositifs de drainage).
- Réactions de gonflement du béton (réaction alcali, réaction sulfatique, etc.).

4.4 *Défaut d'entretien*

- Défaut d'entretien des dispositifs de drainage et d'assainissement.

5. Inspection détaillée

5.1 *Organisation et déroulement*

L'Inspection Détaillée Périodique constitue « *un bilan de santé* » de l'ouvrage. Sa consistance est fonction de la nature et de l'importance de l'ouvrage.

Elle doit être réalisée par une équipe présentant **des compétences à la fois en ouvrages d'art et en géotechnique**.

Elle doit être **étendue à la zone d'influence de l'ouvrage** (en amont et en aval), ce qui peut nécessiter des moyens d'accès et d'investigation particuliers.

Le contenu et les modalités d'exécution sont définis dans l'annexe A.

Les dispositions relatives à la préparation, aux moyens d'accès, au déroulement de la visite sont précisées dans le fascicule 02 de l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEOA).

Le déroulement de l'inspection pourra également s'inspirer utilement du guide méthodologique IQOA établi pour les murs de la liste I (MELT, 2000).

La phase de préparation de l'inspection détaillée doit permettre :

- de disposer de fonds de plans pour les relevés des défauts et désordres ;
- de faire le point sur les parties de l'ouvrage accessibles ou non (têtes de clous) et les moyens à mettre en œuvre : passerelle, nacelle élévatrice, démontage d'éléments du parement, moyens particuliers nécessaire au relevé des dispositifs de mesure en place, etc.

Une étude préalable du dossier d'ouvrage, quand il existe, est fondamentale pour appréhender l'origine et l'évolution de certains défauts et désordres ainsi que les facteurs de risque de désordres de l'ouvrage. Cette étude s'attache à examiner en particulier les pièces suivantes :

- les constats faits pendant l'exécution des travaux et notamment les difficultés d'exécution reconnues (mise en œuvre des clous, stabilité des passes de terrassement, etc.),

➤ les rapports d'inspections détaillées antérieures et notamment celui de l'inspection détaillée initiale.

Et depuis la dernière inspection détaillée :

- les procès-verbaux du contrôle annuel,
- les éléments concernant les principales opérations d'entretien spécialisé et de réparation effectuées,
- les rapports de mesures ou d'investigations spécifiques (nivellement, sondages, extraction de témoins de durabilité, suivi cartographique des fissures, etc.).

La connaissance de ces éléments doit permettre notamment d'apprécier l'évolution de l'ouvrage et les points sur lesquels il convient de porter une attention particulière.

L'inspection détaillée donne lieu à un rapport d'inspection, selon le modèle joint en annexe B.

Ce rapport fournit un prédiagnostic de l'état de l'ouvrage qui s'appuie sur le relevé des défauts et désordres, l'interprétation des constatations, mesures et relevés effectués lors de l'inspection ou antérieurement, et l'analyse des facteurs de risque de désordres pour l'ouvrage. Les conclusions précisent le cas échéant :

- les mesures de sauvegarde éventuelles à appliquer, comprenant les restrictions de circulation et les mesures conservatoires éventuellement nécessaires (étiements, par exemple) ;
- les investigations complémentaires (sondages, mesures, analyses de matériaux, etc.) ou recalculs éventuels nécessaires à l'établissement d'un diagnostic de l'état de la structure et à l'étude des solutions de remise à niveau de l'ouvrage (entretien spécialisé, réparation, renforcement) ;
- s'il y a lieu, les propositions d'un suivi spécifique, d'une surveillance renforcée ou d'une haute surveillance.

Dans le cas où un diagnostic fiable peut être directement établi sans investigations complémentaires, le rapport précise également, s'il y a lieu, les travaux d'entretien courant et spécialisé à effectuer ainsi que les réparations à prévoir.

En l'absence de dossier d'ouvrage, l'inspection détaillée constitue la première intervention sur l'ouvrage. Le prédiagnostic de l'état de l'ouvrage et *a fortiori* le diagnostic nécessitent alors le plus souvent un délai indispensable pour des observations complémentaires et la mise en place d'un suivi qui permettra de mettre en évidence le caractère évolutif ou non des défauts et désordres observés.

Une première évaluation de la classe IQOA de l'ouvrage sera définie au stade du prédiagnostic en s'appuyant sur les indications de l'annexe II. Cette évaluation donnera lieu à l'établissement d'une fiche de synthèse suivant le modèle défini en annexe C. À l'issue des investigations éventuellement nécessaires pour confirmer le diagnostic, cette cotation pourra être révisée en fonction de l'état réel de l'ouvrage.

5.2 Relevé des défauts et désordres

Un catalogue est proposé en annexe I pour aider à l'établissement du relevé des défauts et désordres. En outre, il convient de vérifier à l'occasion de cette inspection le bon état des dispositifs de suivi éventuellement existant sur l'ouvrage, de procéder aux mesures simples correspondantes et de programmer les relevés des mesures nécessitant des moyens et matériels plus importants.

5.3 Facteurs de risque de désordres

Compte tenu de ses caractéristiques propres ou de celles de son environnement l'ouvrage peut être plus ou moins exposé à certains types de pathologie.

Les facteurs de risque de désordres sont pour l'essentiel les suivants, hormis le facteur de risque que constitueraient des études manifestement insuffisantes ou une qualité d'exécution médiocre :

Facteurs de risque de désordres liés à l'environnement

■ Le site

- ouvrage implanté sur une pente en limite de stabilité ;
- structures géologiques défavorables vis-à-vis de la pente du soutènement, par exemple pendage des couches orienté vers l'excavation ;
- ouvrage en zone sismique ;
- zone de ravinement ;
- drainage insuffisant ou inexistant ;
- zone inondable.

■ Le sol

- sols agressifs (composition chimique, hétérogénéité, conductivité, pH, présence de sels solubles, de matières organiques) ;
- sols évolutifs (tassements, déformation, évolution de la résistance) ;
- mauvaise adéquation entre les conditions géotechniques et les technologies d'exécution : sols ayant pu conduire à des difficultés de mise en œuvre et à l'utilisation de moyens spécifiques pour le forage et le scellement des clous (blocs, éboulis, vides de dissolution, fractures ouvertes).

■ L'eau

- eaux agressives (eaux douces, eaux saumâtres, eaux séléniteuses, eaux magnésiennes) ;
- présence d'une nappe (phénomène aggravé lorsque la nappe présente des fluctuations significative) ;
- débit d'écoulement important dans des terrains fracturés pouvant délayer des coulis ;

■ Les conditions climatiques (gel)

■ Les conditions d'exploitation des ouvrages et du site

- sels de déverglaçage,
- sollicitations (surcharges en tête, chocs, etc.),
- construction rapprochée d'autres infrastructures en interaction avec le sous-sol (écrans antibruit par exemple),
- présence de conduite d'assainissement dont les fuites peuvent entraîner des poussées hydrostatiques trop fortes,
- présence d'arbustes ou arbres à proximité immédiate de la tête ou du pied de l'ouvrage.

Facteurs de risque de désordres liés aux caractéristiques de l'ouvrage

- Ouvrage de grande hauteur (supérieure à 9 m : fortes sollicitations, déformations, etc.) ;**
- Difficultés reconnues lors de l'exécution de l'ouvrage (terrassements provisoires, mises en œuvre des clous).**

Ces facteurs de risque de désordres sont, dans la mesure du possible, identifiés dans la phase de préparation de l'inspection détaillée. Ils sont en principe identifiables dans le dossier d'ouvrage. Dans tous les cas, la liste doit en être établie au moment de la rédaction des conclusions de l'inspection détaillée, puisqu'ils sont susceptibles d'influencer les suites à donner en termes de gestion de l'ouvrage.

Lorsque des doutes subsistent, et en particulier en l'absence de données initiales sur l'ouvrage, il s'agit d'évaluer, en fonction de la sensibilité de l'ouvrage, la nécessité de procéder, outre les mesures de suivi évoquées, à des investigations complémentaires pour préciser ces facteurs de risque de désordres.

5.4 Prédiagnostic

Le prédiagnostic est établi sur la base du relevé des défauts et désordres, de leur évolution et de l'identification des facteurs de risque de désordres. Il sera d'autant plus délicat à établir après l'inspection que certains de ces éléments seront manquants.

Dans certains cas, le relevé des défauts et désordres permet d'aboutir directement au diagnostic (cas de causes évidentes).

Cependant, lorsque des problèmes structurels sont en cause, le relevé des défauts et désordres et l'identification des facteurs de risque de désordres ne conduisent, le plus souvent, au stade du prédiagnostic qu'à des présomptions de pathologie. Pour aboutir au diagnostic final, ces présomptions devront être confirmées par des investigations complémentaires ou un suivi particulier et, si nécessaire, un recalcul de l'ouvrage.

Pour les plus conséquentes, les hypothèses pouvant être formulées au stade du prédiagnostic sont les suivantes (liste non exhaustive, Fig. 15) :

- Glissement de clous par rapport au sol (clous trop courts, frottement sol-clou insuffisant).
- Rupture de clous (sous-dimensionnement, corrosion).
- Grand glissement.
- Défaillance du système de drainage.
- Insuffisance de résistance du parement.
- Insuffisance de fiche du parement.
- Défaillance de la liaison clou/parement.

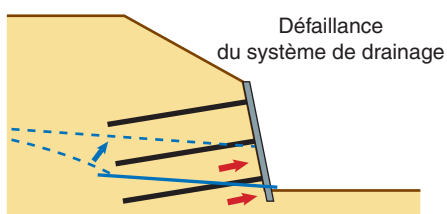
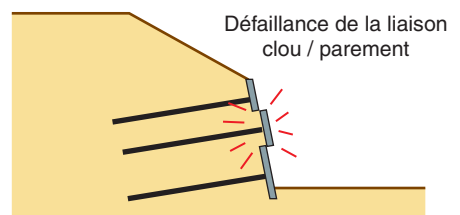
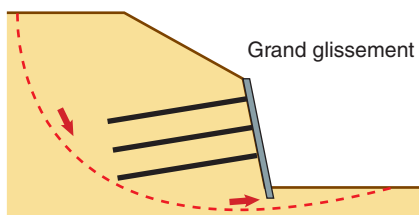
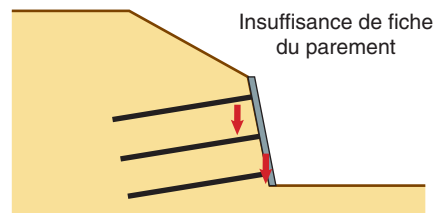
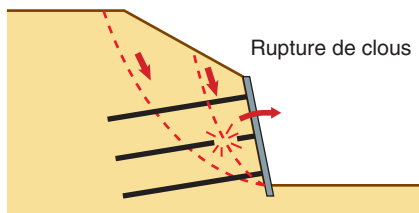
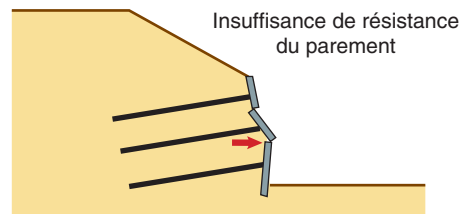
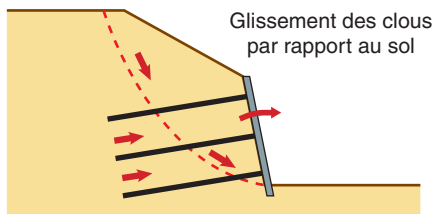
Dans le cas où le prédiagnostic fait craindre un risque imminent pour la sécurité des usagers et des tiers, des mesures de sauvegarde immédiates doivent être prises sans attendre l'aboutissement de la démarche de diagnostic (*cf.* fascicule 03 de l'ITSEOA).

5.5 Cotation IQOA

Une première cotation IQOA de l'ouvrage est définie sur la base des hypothèses formulées au stade du prédiagnostic. Les critères de cette cotation sont données en annexe II et le report de la cotation peut être fait sur la fiche de synthèse donnée en annexe C.

FIGURE 15

Modes de ruine des parois clouées.



6. Diagnostic

6.1 Démarche générale

Le diagnostic consiste à recenser l'ensemble des défauts et désordres visibles ou non d'un ouvrage, à connaître leur cause probable, à apprécier leur vitesse d'évolution et à évaluer leur impact vis-à-vis du niveau de service et de la stabilité de l'ouvrage.

Dans le cas des parois clouées, les résultats de l'inspection détaillée ne suffisent généralement pas pour établir le diagnostic. Ainsi, l'absence de défauts et désordres apparents sur le parement ne signifie pas nécessairement que l'ouvrage est en bon état. Des investigations complémentaires et une surveillance dans le temps sont alors nécessaires avec une fréquence adaptée à la nature des défauts et désordres et à leur vitesse probable d'évolution.

La démarche qui permet, à partir de l'inspection détaillée, d'aboutir à un diagnostic de l'ouvrage est décrite par le synoptique présenté sur la figure 16.

Une fois le diagnostic établi, la classe IQOA de l'ouvrage pourra être confirmée ou éventuellement révisée. Les résultats de la surveillance et des investigations réalisées permettront également de proposer la nature et la périodicité des prochaines actions de surveillance de l'ouvrage.

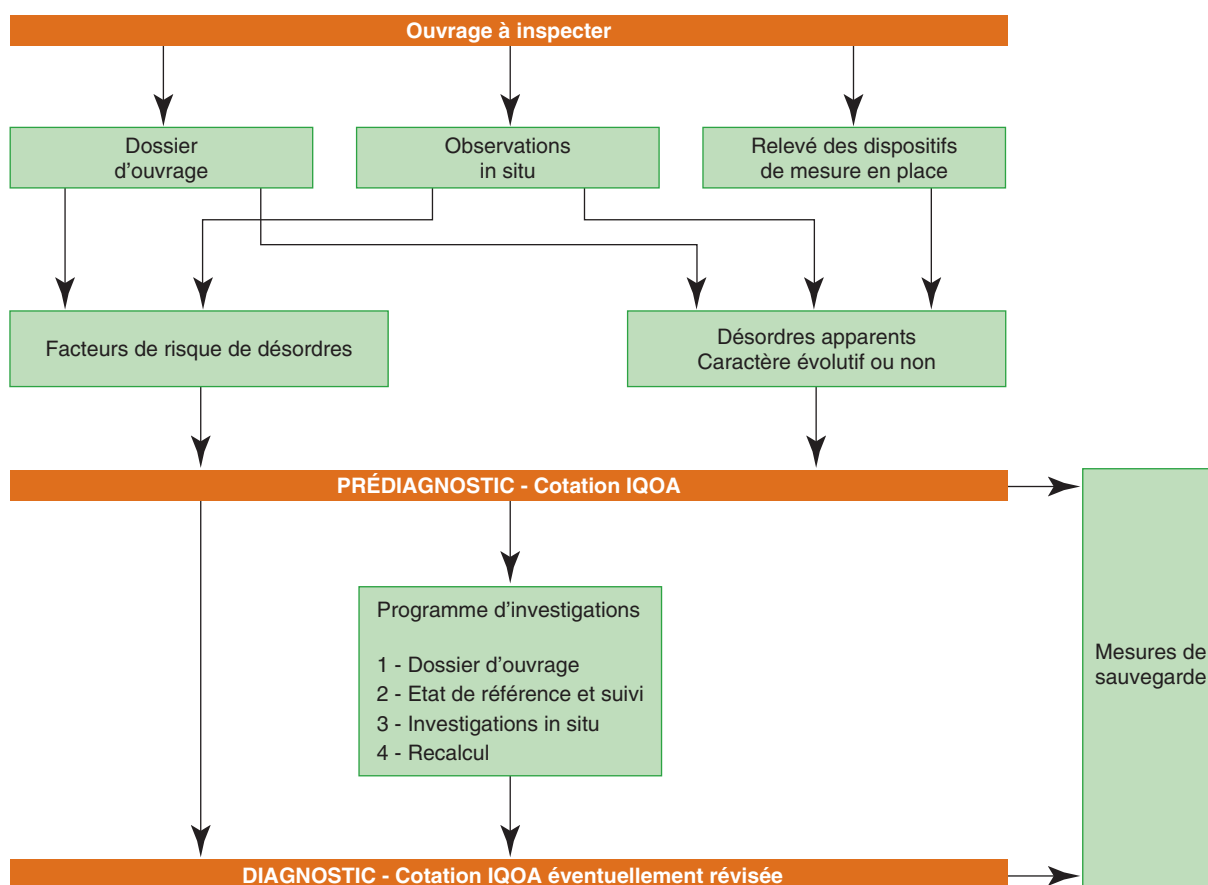


FIGURE 16 - Démarche de diagnostic.

6.2 *Du prédiagnostic au diagnostic*

Ce paragraphe présente la succession des moyens à mettre en œuvre pour, partant d'une hypothèse émise en prédiagnostic, aboutir à un diagnostic confirmant ou non cette hypothèse (Tableau I).

Dans ce tableau, chaque hypothèse émise en prédiagnostic est traitée volontairement de façon isolée et indépendante. Pour chaque hypothèse, sont d'abord rappelés les défauts et désordres apparents et/ou les facteurs de risque de désordres qui en sont généralement à l'origine, la codification des défauts et désordres faisant référence à la numérotation qui figure dans le catalogue de l'annexe I. Sont ensuite présentés, dans chaque cas, les moyens à mettre en œuvre pour aboutir au diagnostic, dans l'ordre a priori graduel d'intervention. Dans la pratique, il faudra souvent envisager plusieurs hypothèses. La mise en œuvre des moyens d'investigation et de surveillance devra alors faire l'objet d'une démarche globale pour examiner au mieux l'ensemble des hypothèses envisagées.

Comme cela a été souligné au début du chapitre, l'absence de désordres ne permet pas toujours de se prononcer sur l'état général de l'ouvrage. En conséquence, dans le tableau, certains prédiagnostics, établis uniquement sur la base de facteurs de risque de désordres recensés et en l'absence de tout désordre apparent, conduisent cependant à la réalisation d'investigations complémentaires pour vérifier le bon état effectif de l'ouvrage.

Cette démarche de diagnostic comporte le plus souvent plusieurs étapes :

- Recherche dans le dossier d'ouvrage des éléments pertinents par rapport à l'hypothèse envisagée en prédiagnostic.
- Relevé de mesures sur l'ouvrage. Dans ce contexte, la surveillance topométrique périodique des déformations de l'ouvrage paraît un minimum à réaliser ; en outre le fait de disposer d'un état de référence de l'ouvrage constitue une information primordiale pour l'établissement du diagnostic.
- Mise en œuvre d'investigations spécifiques.
- Recalcul éventuel.

Il est évident que cette démarche sera plus ou moins lourde suivant le degré de connaissance initiale de l'ouvrage.

TABLEAU I

MOYENS À METTRE EN ŒUVRE POUR ÉTABLIR LE DIAGNOSTIC À PARTIR DU PRÉDIAGNOSTIC

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
Glissement du clou par rapport au sol	Défauts et désordres de type : D1 / D3 / D4 S1 / S2 / S4 / S5 / S6 Z1 / Z2 / Z7	<ul style="list-style-type: none"> . mauvaise adéquation entre les conditions géotechniques et la technologie d'exécution . sols ayant conduit à des difficultés de mise en œuvre . sols évolutifs . présence d'eau (infiltrations ou nappes) . drainage insuffisant ou inexistant . ouvrage de grande hauteur ≥ 9 m . zone sismique 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . contexte géotechnique et hydraulique . compte rendu de mise en œuvre des clous . hypothèses de calcul . vérification sommaire du dimensionnement <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . déplacements de la structure . déformations, fissuration du terrain . niveau de la nappe, le cas échéant <p>3 - Investigation <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . hypothèses géotechniques . essai statique d'arrachement d'un clou <p>4 - Calculs complémentaires</p>
Rupture de clous	Défauts et désordres de type : D1 / D3 / D4 S1 / S2 / S4 / S5 / S6 / S10 Z1 / Z2 / Z7	<ul style="list-style-type: none"> . drainage insuffisant ou inexistant . site soumis au gel . milieu agressif . évolution des sollicitations . sols évolutifs 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . nature des clous et modalités d'exécution . contexte géotechnique et hydraulique . hypothèses de calcul . dispositions de liaison entre la tête de clou et le parement . vérification sommaire du dimensionnement <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . relevé des traces d'humidité sur le parement . suivi des déformations du parement par méthode topométrique <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . caractérisation physico-chimique du site . examen du clou témoin : état de corrosion - diamètre . dégagement d'un clou de la nappe supérieure <p>4 - Calcul complémentaire</p>
Instabilité générale Grand glissement	Désordres et désordres de type : D1 / D3 / D4 S1 / S2 / S3 / S4 / S6 Z1 / Z2 / Z3 / Z5 / Z8 / Z9 / Z10 / Z12	<ul style="list-style-type: none"> . « ouvrages sur pente » . sols évolutifs . instabilité générale reconnue . présence d'une nappe 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . contexte géotechnique et hydraulique . vérification sommaire du calcul de stabilité <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . visite du site par un géotechnicien . déplacement de l'ouvrage et du site (suivi inclinométrique et topométrique) . suivi de la nappe (suivi piézométrique) amont et aval . déformation du terrain (fissures, bourrelets) <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . données géotechniques et hydrauliques (sondages, essais) <p>4 - Calcul complémentaire de stabilité d'ensemble</p>
Défaillance du système de drainage	Défauts et désordres de type : D1 / D2 / D3 / D4 / D5 / D6 S8 / S12 Z4 / Z11	<ul style="list-style-type: none"> . effet du gel . évolution défavorable de la nappe . défauts d'exécution du système de drainage 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . contexte hydraulique et hydrogéologique . hypothèses de calcul - plans . compte-rendus d'exécution du dispositif de drainage <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . suivi de la nappe (piézomètres) . relevé des traces d'humidité sur le parement . mouvements du parement <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . structure hydrogéologique du site (sondages, essais)

TABLEAU I (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
Insuffisance de résistance du parement	Défauts et désordres de type : S4 / S5 / S6 / S7 / S8 S11 / S13 / S14	<ul style="list-style-type: none"> . ouvrage de grande hauteur ≥ 9 m . présence d'eau . eaux agressives . évolution des sollicitations . difficultés d'exécution reconnues . instabilité générale . sols agressifs . utilisation de sels de déverglaçage . zone sismique . effet du gel ou de cycles gel/dégel 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . hypothèses de calculs, problèmes d'exécution, plans d'armatures (type et disposition des aciers) <p>2 - État de référence et suivi des mouvements :</p> <ul style="list-style-type: none"> . fissuration, dégradation du parement <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . épaisseur du parement (carottage) . caractérisation des reprises de bétonnage (carottage) . résistance du béton (carottage + essais) . analyse physico-chimique . recherche du ferrailage <p>4 - Calculs complémentaires</p>
Insuffisance de fiche du parement	Défauts et désordres de type : S3 / S12 Z1 / Z2	<ul style="list-style-type: none"> . ouvrages de grande hauteur ≥ 9 m . ouvrages à parement vertical . présence d'eau . exécution de fouille en pied de l'ouvrage 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . problèmes d'exécution, plans . inclinaison des clous <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . Suivi des mouvements du parement <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . détermination de la fiche du parement (fouille)
Insuffisance de résistance de la liaison clou/parement	Défauts et désordres de type : S4 / S5 / S10 / S13	<ul style="list-style-type: none"> . effet du gel . présence d'eau 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . problèmes d'exécution, . plans (caractéristiques des platines, armatures d'efforts tranchants) <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . suivi des mouvements et des dégradations du parement <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . dégagement d'une tête d'ancrage <p>4 - Éventuellement calcul complémentaire</p>

6.3 Techniques d'investigation

6.3.1 Suivi des déformations d'ensemble

Les déformations de l'ouvrage dans le temps peuvent être suivies en utilisant des tachéomètres laser. Après avoir effectué un relevé initial en X, Y, Z de la géométrie de l'ouvrage, on revient à intervalles de temps réguliers reprendre la position de points connus. Ces points peuvent être simplement « marqués » de façon indélébile sur l'ouvrage ou l'on peut fixer aux endroits à surveiller des prismes optiques (les résultats ainsi obtenus sont plus précis - précision du millimètre, voir du dixième de millimètre). Cette méthode est simple de mise en œuvre et permet de connaître les déplacements de l'ouvrage dans l'espace.

En site montagneux, compte tenu des difficultés d'accès et surtout en l'absence de points fixes (géodésiques), on utilisera des techniques qui peuvent être employées à une grande distance de l'ouvrage ou qui s'affranchissent de points fixes.

On peut aussi fixer sur les parements des platines dont on viendra relever l'inclinaison au moyen de nivelles portatives. Ces dernières, constituées d'un niveau à bulle et d'un vernier permettent de mesurer l'inclinaison du parement avec une précision de 10^{-4} rad.

6.3.2 Géométrie et nature des parements en béton armé

Lorsque l'on veut contrôler les caractéristiques du béton de l'ouvrage ainsi que son épaisseur, on peut procéder à des carottages. On pourra ensuite réaliser des essais en laboratoire sur les échantillons de béton.

Si l'on veut contrôler l'existence d'armatures, il est possible d'utiliser une méthode de type Pachomètre, Ferroskan ou Radar qui détecte la position des aciers. On peut éventuellement ouvrir une fenêtre dans le parement pour contrôler les résultats de ce type de mesure.

6.3.3 Suivi des fissures

On peut faire un suivi cartographique des fissures :

- soit par des relevés sur plans à l'échelle du système de fissuration en notant l'ouverture et la longueur des fissures pour en suivre l'évolution,
- soit par la méthode de l'indice de fissuration dans le cas d'un faïençage.

Après analyse, on posera éventuellement des dispositifs de suivi, par exemple des fissuromètres à vernier, des plots d'extensométrie ou encore des fissuromètres tridimensionnels.

Il peut être utile de déterminer si les fissures sont traversantes par des méthodes destructives (carottage) ou non destructives (ultra-sons, cloche à vide).

Les fissures horizontales peuvent être sans gravité si le parement est réalisé sans recouvrement d'armatures entre passes. L'oubli de joints de dilatation génère par ailleurs des fissures verticales. La température et l'hygrométrie peuvent enfin créer un souffle des fissures (et de toute la géométrie) et il faut s'efforcer d'en tenir compte pour valider ou non des mesures.

En cas de dépôts de calcite importants ou de coulures de rouille le long des fissures, on peut procéder à leur enlèvement (nettoyage des fissures) pour observer leur reconstitution.

Certaines fissures se colmatent sans intervention. Si tel est le cas, un examen visuel périodique devra confirmer que cet autocolmatage est durable.

6.3.4 Clous

Il est éventuellement possible de dégager un clou du lit supérieur de l'ouvrage afin de vérifier sa longueur, l'état de l'enrobage, son degré de corrosion.

Pour déterminer la longueur du clou, il existe également de nouvelles méthodes non destructives, dérivées des méthodes pour l'auscultation des fondations. Elles utilisent des mesures d'impédance à partir de la réponse à une sollicitation mécanique de la tête du clou. Ces méthodes sont encore au stade du développement.

Si l'ouvrage comporte des clous témoins, on pourra réaliser un essai de traction afin de vérifier la résistance à la traction du clou.

6.3.5 Liaison clou/parement

La seule façon d'inspecter la liaison clou/parement est de dégager celle-ci du béton dans lequel elle est noyée, en prenant les dispositions nécessaires pour ne pas déstabiliser l'ouvrage (buton, etc.).

6.3.6 Grands glissements

La détection de pathologies d'une paroi clouée en relation avec un grand glissement nécessite la mise en œuvre combinée d'un suivi topographique et de mesures inclinométriques (Fig. 17), pour déterminer la géométrie du glissement, ainsi que d'études de sol pour caractériser le phénomène. Concernant les mesures inclinométriques, la méthode consiste à introduire une sonde inclinométrique dans un tube préalablement scellé dans le terrain ou au sein de la structure, et à mesurer l'angle que fait, à une profondeur donnée, l'axe de l'élément du tube guide avec la verticale (la résolution de la mesure est de l'ordre de 1×10^{-4} radian).

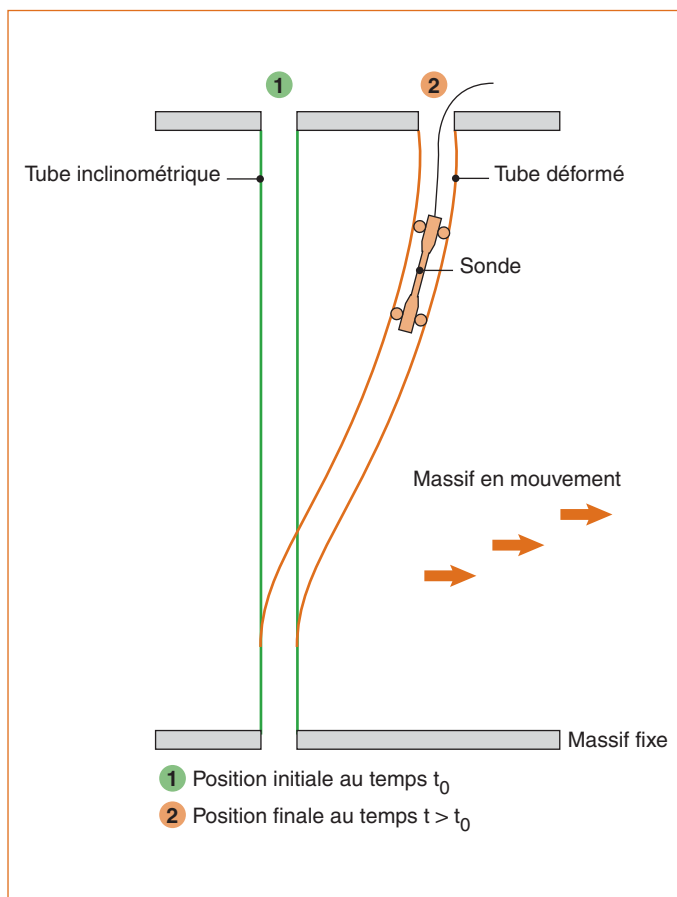


FIGURE 17 - Schéma de principe de la mesure par tube inclinométrique.

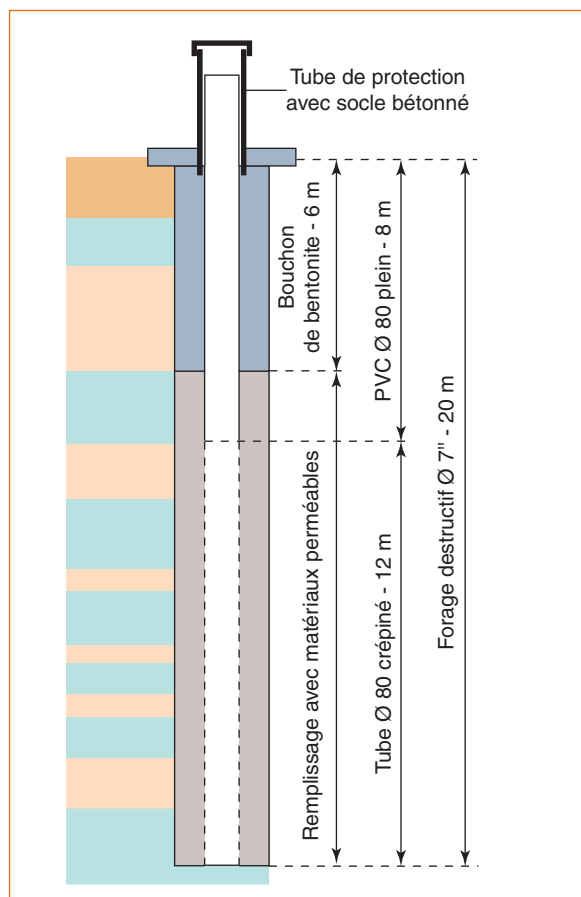


FIGURE 18 - Exemple de piézomètre (tube ouvert).

6.3.7 Sols

Les méthodes de dimensionnement des parois clouées nécessitent de connaître la nature, l'angle de frottement interne, la cohésion et les caractéristiques pressiométriques du sol. À partir des prélèvements de sol par sondage, l'essai à la boîte de cisaillement ou l'essai triaxial permettent, en laboratoire, de déterminer la cohésion et l'angle de frottement du sol. L'essai pressiométrique permet de connaître la pression limite et le module du sol (dont est déduit le coefficient de frottement sol-clou).

D'autre part, il peut être nécessaire de connaître les caractéristiques chimiques et électrochimiques du matériau pour prendre en compte une épaisseur des clous sacrifiée à la corrosion plus ou moins importante. On déterminera en laboratoire :

- la résistivité du sol en soumettant un volume connu de matériau à un courant continu alternatif ;
- le pH du sol mesuré avec un pH mètre sur un échantillon saturé d'eau ;
- la teneur en sels solubles (chlorures et sulfates) obtenue après lessivage du sol à l'eau distillée, puis filtration et dosage par potentiométrie (chlorures) et gravimétrie (sulfates).

6.3.8 Nappe

La mesure de la charge hydraulique est faite en utilisant des piézomètres.

Dans le cas où les terrains sont perméables, les piézomètres sont en général constitués d'un tube en PVC (diamètre 50 mm environ) mis en place dans un forage (Fig. 18). La partie du tube située au niveau de mesure est crépinée, et un bouchon d'argile posé dans le forage, au-

dessus de la partie crépinée, vient empêcher les arrivées d'eau par le haut. La tête du tube est fermée par un bouchon, et maintenue par un scellement. Pour les mesures de la charge hydraulique, on vient simplement mesurer le niveau atteint dans le tube au moyen d'une sonde.

Dans le cas des sols fins peu perméables, ce dispositif est inadéquat car l'alimentation en eau du tube est insuffisante pour permettre le suivi de l'évolution de la charge hydraulique. On utilise alors des piézomètres fermés. Il s'agit de capteurs mis en place dans le terrain et comportant une membrane sensible permettant la mesure de la pression interstitielle du terrain.

6.4 Recalcul de l'ouvrage

Dans certains cas, l'établissement du diagnostic nécessite un recalcul de l'ouvrage. Ce dernier devra nécessairement être établi par un spécialiste de ce type d'ouvrage.

7. Entretien et réparation*

7.1 Entretien courant

L'entretien courant des parois clouées consiste à effectuer les opérations suivantes :

- enlèvement de la végétation nuisible ;
- débouchage des barbacanes ;
- nettoyage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux (dont fossés) ;
- suivi de l'évolution des éventuelles fissures (dépôts de coulure, traces de rouille, cartographie, etc.) ;
- lavage des drains subhorizontaux ;
- colmatage des décollements de parement en tête.

7.2 Entretien spécialisé

Néant.

7.3 Réparations

Les réparations envisagées après le diagnostic peuvent consister en des travaux très importants, qui doivent faire l'objet d'une étude au cas par cas, par des spécialistes.

Les principales réparations que l'on peut être amené à effectuer sur une paroi clouée concernent :

- l'ajout de clous supplémentaires pour renforcer la structure, en prenant soin de ne pas colmater les drains ;

* Ce chapitre ne traite pas de l'entretien des équipements (dispositifs de retenue, etc.) ; cet entretien doit être réalisé selon les modalités habituelles.

- la réalisation de barbacanes ou drains supplémentaires ;
- l'amélioration du système de drainage externe à la paroi ;
- le traitement des fissures (> 0,5 mm) du parement par saignée et pose d'un joint de mastic, en évitant des injections susceptibles de colmater des drains. Dans certains cas, on peut être amené à procéder à une intervention lourde de renforcement (mises en place d'armatures complémentaires dans des saignées profondes réalisées à la lance hydraulique à haute pression, collage de bandes de tissus et fibres de carbone, etc.) ;
- les interventions sur les têtes de clou ;
- la réparation du parement :
 - ponctuelle (cas de désolidarisation d'une plaque mince de béton, par exemple) : simple ragréage à l'aide d'un mortier à base de liant hydraulique, voire scellement d'armatures et d'un grillage si l'épaisseur le justifie.
 - plus généralisée (en cas d'écaillage du béton, par exemple) : enlèvement des parties altérées à la lance hydraulique à haute pression et projection d'un mortier performant à base de liant hydraulique.

8. Bibliographie

Normes

XP ENV 1997-1, Eurocode 7 (norme expérimentale XP 94-250-1).

NF XP 94-240, Renforcement des sols - Soutènement et talus en sol en place renforcé par des clous - Justification du dimensionnement, août **1998**.

NF A 05-252, Corrosion par les sols - aciers galvanisés ou non mis en contact de matériaux naturels en remblai (sols), AFNOR, juillet **1990**.

Textes réglementaires

Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil, Fascicule 62 titre V du CCTG.

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 1ère partie, (modifiée décembre 1995), **1979**.

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 2e partie, Fascicule 01 « Dossiers d'ouvrages », **2000**, 131 p.

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 2e partie, Fascicule 02 « Généralités sur la surveillance ».

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 2e partie, fascicule 03 « Mesures de sécurité - Auscultation - Surveillance renforcée - Haute surveillance - Mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde ».

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 2e partie, fascicule 51 « Ouvrages de soutènement », sous-fascicules 51-1 et 2, **1985**, 48 p.

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 2e partie, fascicule 51 « Ouvrages de soutènement », sous-fascicule 51-3, 28 p.

Documents guides

Recommandations Clouterre 91 - Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

HAÏUN G., DALAHAYE E., *Éléments pour le choix d'un ouvrage de soutènement dans le domaine des ouvrages routiers*, Note d'information Ouvrages d'art n° 20, Bagnex : SETRA, décembre 1995, 11 p.

IQOA Murs de soutènement - Guide méthodologique SETRA - F 0018 PV.

Recensement des ouvrages de soutènement - SETRA - F 9813.

IQOA Murs de soutènement - Guide méthodologique :

- mur poids en maçonnerie - SETRA,
- mur poids en béton - SETRA,
- mur poids en gabions - SETRA,
- mur poids en éléments préfabriqués empilés en béton - SETRA,
- mur en béton armé encastré sur semelle - SETRA.

ANNEXE I

Catalogue des défauts et désordres apparents

Dans le tableau qui suit, les parties de couleur correspondent à des désordres pouvant présenter un caractère grave, voire très grave.

D'une manière générale, et quel que soit le type d'ouvrage, le caractère évolutif des défauts et désordres sur un ouvrage en service, et des déformations notamment, est dans tous les cas assez inquiétant, et souvent précurseur de désordres graves.

Zone d'influence

La manifestation de désordres dans la zone d'influence de l'ouvrage traduit généralement une pathologie assez grave.

N°	Défauts et désordres observables*	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN PARTIE SUPÉRIEURE DE L'OUVRAGE		
Z1	Fissuration du terrain parallèle au mur	Nature du matériau du massif soutenu (effet de la sécheresse) Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z2	Tassement du terrain en tête du mur	Nature du matériau du massif soutenu (sécheresse) Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval Entraînement de fines	Phénomène localisé ou étendu Caractère évolutif
Z3	Bourrelets de terrain	Instabilité du terrain superficiel du massif soutenu Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu
Z4	Érosion, ravinements du sol	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux de surface	Phénomène localisé ou étendu Présence de stockage de matériau en tête (éboulis, blocs)
Z5	Inclinaison anormale d'arbres ou de poteaux	Mouvements au-dessus de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval Glissement d'ensemble de l'ouvrage	L'inclinaison de poteaux est un signe inquiétant si elle s'est produit récemment
Z6	Présence de végétation nuisible	Absence ou manque d'entretien	Végétation arbustive de fortes dimensions
Z7	Présence de surcharges Accumulation de matériaux ou constructions récentes stockés ou construites dans la zone d'influence	Aménagement ou nouvelle exploitation du site	Matériaux polluants ou dangereux, surcharges supérieures aux hypothèses de la construction
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DU MUR		
Z8	Fissuration du terrain parallèle au mur	Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse) Glissement d'ensemble du terrain	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z9	Tassement du terrain en pied du mur	Nature du matériau du massif d'assise Glissement d'un volume aval	Phénomène localisé ou étendu
Z10	Bourrelet de terrain	Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu
Z11	Érosions, ravinements du sol Excavations en pied d'ouvrage	Instabilité du terrain superficiel aggravée par un défaut du système d'évacuation des eaux dans la zone d'influence de l'ouvrage Ouverture de fouille en pied d'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu Risque de défaut de butée

N°	Défauts et désordres observables*	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DU MUR (suite)		
Z12	Inclinaison anormale des arbres et poteaux	Mouvement général révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage Instabilité du terrain superficiel du massif d'assise	L'inclinaison de poteaux est un signe inquiétant si elle s'est produite récemment
Z13	Présence de végétation nuisible	Absence ou manque d'entretien	Végétation arbustive de forte dimension

* Pour l'observation de ces défauts dans certains sites, il peut être nécessaire de prendre des points de repère et des alignements, ou d'utiliser des fils à plomb.

Équipements

L'inspection des équipements (chaussée, trottoirs, bordures et accotements, dispositifs de retenue et autres, au-dessus et en contrebas de l'ouvrage) doit être réalisée selon les modalités habituelles.

D'une manière générale, les défauts et désordres sur les équipements (chaussée, garde-corps, etc.) en tête d'ouvrages sont assez visibles et donnent des indications très précieuses sur des anomalies de comportement de l'ouvrage. Il conviendra, lors de l'interprétation des défauts et désordres relevés, de les rapprocher des défauts et désordres observés sur la structure ou dans la zone d'influence.

Drainage et assainissement

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DRAINAGE INTERNE AU MUR		
D1	Humidité du parement, ruissellements d'eau, efflorescences, concrétions, traces de corrosion dues à des écoulements d'eau sur le béton	Infiltration des eaux de ruissellement Défaut de fonctionnement des dispositifs de drainage interne Le cas échéant, sous-dimensionnement du drainage interne Défaut au niveau des reprises de bétonnage	Caractère plus ou moins étendu
D2	Écoulement de fines du matériau soutenu (présence de coulure au niveau des débouchés des barbacanes ou des joints)	Défaut au niveau des reprises de bétonnage Le cas échéant, défaut de conception ou de réalisation du système drainant en arrière du mur	
D3	Altération du système de drainage interne (colmatage des barbacanes ou des drains) Présence de végétation obturant le dispositif	Défauts de réalisation du dispositif (absence de matériau filtrant, de drain à l'arrière du mur) Gel de l'eau dans les barbacanes Colmatage volontaire, vandalisme	
	ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE DU MUR		
D4	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Stagnation d'eau Coulures sur le parement	Absence de dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Défauts d'entretien, tassements, dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.	Infiltrations Stagnation d'eau
D5	Chute d'eau depuis la partie supérieure du mur	Profil en travers inadapté Absence du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux	
	ASSAINISSEMENT EN CONTREBAS DU MUR		
D6	Défaut de dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Stagnation d'eau	Absence de dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Défauts d'entretien, tassements, dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.)	Infiltrations Stagnation d'eau

Structure

N°	Défauts et désordres observables*	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENTS ET DÉFORMATIONS DE L'OUVRAGE		
S1	Inclinaison anormale vers l'aval	Sous-dimensionnement des clous Défaillance des clous Glissement d'ensemble Défaut de mise en œuvre Déplacement lors de l'exécution (phases provisoires) Fluage du massif	Importance relative de la rotation Caractère évolutif
S2	Inclinaison anormale vers l'amont	Glissement d'ensemble Défaut de mise en œuvre Défaillance des clous Poussée excessive (sous-dimensionnement)	Caractère évolutif
S3	Déplacement vertical	Glissement d'ensemble Insuffisance de fiche du parement	Caractère évolutif
S4	Déformation en plan	Rigidité ou résistance insuffisante du parement Défaillance et rupture de clous Distribution inégale des poussées Effet du gel ou de cycles gel/dégel	
S5	Défauts d'alignement	Mauvaise exécution Mouvement du parement À rapprocher du défaut S4	
	PAREMENT		
S6	Fissures Fractures Faiëncage	Sous-dimensionnement des clous ou des armatures du parement Défaillance de clous Efforts plus importants que prévu Mouvements différentiels Reprise de bétonnage peu ou pas cousue Retrait	Environnement agressif Présence d'eau Origine Ouverture > 0,4 mm
S7	Altération du matériau constitutif (épaufrures, éclats, gonflement, etc.)	Mauvaise exécution Chocs Conditions climatiques (action du gel) Alcali-réaction, réaction sulfatique	
S8	Percolation d'eau au niveau des fissures ou des joints - Cou lure de rouille Dépôt important de calcite Humidité du parement	Mauvaise mise en œuvre Absence ou mauvais fonctionnement du dispositif de drainage	Fuite de fines
S9	Décollement du pied de parement	Mauvais dimensionnement de la paroi Mauvaise mise en œuvre	

N°	Défauts et désordres observables*	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	PAREMENT (suite)		
S10	Poinçonnement du parement au niveau des clous	Mauvais dimensionnement de la liaison clou/parement Mauvaise mise en œuvre Effet du gel	
S11	Armatures du parement apparentes (oxydation, etc.)	Mauvaise exécution Choc Défaut d'enrobage Effet du gel/ou de sels de déverglaçage Mauvaise compacité du béton	
S12	Dégarnissage de la fondation	Ravinement en pied de la paroi Travaux en pied de la paroi Fiche trop courte	Écoulement du matériau en pied du mur
S13	Désolidarisation d'une plaque mince de béton enrobant une tête de clou	Disposition constructive défectueuse (absence d'armature ou de grillage assurant la solidarisation de ce volume avec le reste du parement) Déformation de la platine de tête de clou sous l'effet de la traction en tête	
S14	Écaillage du béton (généralement en partie inférieure le long d'une chaussée)	Résistance insuffisante du béton aux effets du gel et des sels de déverglaçage	

* Pour l'observation de ces défauts dans certains sites, il peut être nécessaire de prendre des points de repère et des alignements, ou d'utiliser des fils à plomb.

Le parement est la seule partie visible de la paroi clouée.

ANNEXE II

Les critères pour une cotation IQOA

CLASSES D'ÉTAT DE LA COTATION IQOA

CLASSE 1

Ouvrage en bon état apparent, relevant de l'entretien courant (au sens de l'ITSEOA).

CLASSE 2

Ouvrage avec une structure en bon état apparent et une absence de défaut visible de stabilité

- dont les équipements ou le drainage présentent des défauts,
 - ou dont la structure et/ou la zone d'influence présentent des défauts mineurs,
- et qui nécessite **un entretien spécialisé** sans caractère d'urgence.

CLASSE 2 E

Ouvrage avec une structure en bon état apparent et une absence de défaut visible de stabilité

- dont les équipements ou le drainage présentent des défauts,
 - ou dont la structure et/ou la zone d'influence présentent des défauts mineurs,
- et qui nécessite **un entretien spécialisé urgent** (pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3, voire 3U).

CLASSE 3

Ouvrage

- dont **la structure est altérée**,
 - et/ou dont **la zone d'influence présente des désordres majeurs**,
- et qui nécessite **des travaux de réparation**, mais sans caractère d'urgence.

CLASSE 3U

Ouvrage

- dont **la structure est gravement altérée**,
- et/ou dont **la stabilité risque d'être menacée**,

et qui nécessite **des travaux de réparation urgents** liés à l'insuffisance de capacité résistante de l'ouvrage, ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.

Mention « S » : Cette mention est destinée à souligner l'urgence à intervenir sur une dégradation dont l'existence représente un risque pour les usagers et les tiers.

CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA

■ Zone d'influence (classe 1 à 3U)

CLASSE 2E À 3U (en cohérence avec la cotation adoptée pour la structure)

- tassement, fissuration et bourrelets des terrains liés à des déplacements de la structure,
- glissement d'ensemble.

CLASSE 2

- érosion et ravinement du sol.

CLASSE 1

- présence de végétation nuisible.

■ Équipements (classe 1 à 2E)

- cotation selon les modalités de la méthode IQOA.

■ Drainage et assainissement (classe 1 à 2E)

CLASSE 2E

- écoulement de fines du sol amont,
- défaut du système d'assainissement entraînant des ruissellements d'eau chargée en agents agressifs (sels de déverglaçage),
- défaillance du système de drainage, colmatage du système de drainage interne dû à une altération, au gel.

CLASSE 2

- ruissellements d'eau non chargée en agents agressifs,
- stagnations d'eau.

CLASSE 1

- colmatage du système de drainage interne dû à un défaut d'entretien.

■ Structure (classe 1 à 3U)

CLASSE 3U

- défaillance de clous par rupture des armatures (corrosion),
- tout mouvement à caractère évolutif lié à une défaillance des clous (scellement),
- poinçonnement du parement au niveau des clous (liaison clou/parement),
- fissures du parement d'ouverture supérieure à 0,8 mm liées à un mauvais fonctionnement de la structure B.A.,
- faïençage important du parement lié à une réaction de gonflement interne du béton,
- glissement d'ensemble,
- dégarnissage de la fondation avec écoulement du matériau en pied du mur.

CLASSE 3

- inclinaison anormale ou déplacement vertical susceptible d'évoluer défavorablement,
- fissures du parement d'ouverture de 0,4 à 0,8 mm liées à un mauvais fonctionnement de la structure B.A.,
- fissuration évolutive du parement.

CLASSE 2E

- écaillage et altération du béton armé,
- dégarnissage de la fondation sans écoulement du matériau en pied du mur.

CLASSE 2

- inclinaison anormale mais stabilisée,
- défauts ponctuels du parement (fissuration, altérations),
- percolation d'eau,
- désordres mineurs.

CLASSE 1

- défauts mineurs.

Annexe A **53**

Éléments d'un cahier des charges type d'une inspection détaillée périodique (IDP) d'un ouvrage de soutènement

1. Reconnaissance	54
2. Préparation de l'intervention	54
3. Intervention <i>in situ</i>	55
4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée	56
5. Rédaction de la note de synthèse	56
6. Réunion de synthèse	56

Annexe B **57**

Modèle de cadre de rapport type d'inspection détaillée d'un ouvrage de soutènement

Annexe C **63**

Fiche de synthèse IQOA

ANNEXE A

Éléments d'un cahier des charges type d'une inspection détaillée périodique (IDP) d'un ouvrage de soutènement

1. Reconnaissance

1.1 La liste des ouvrages devant faire l'objet d'une Inspection Détaillée Périodique (IDP) est arrêtée en début d'année par le RGR. La CDOA en liaison avec la subdivision doit alors examiner pour chaque type d'ouvrage :

- Les sujétions d'intervention :
 - la signalisation,
 - le nettoyage préalable des abords, des accès et de l'ouvrage si nécessaire,
 - la nécessité d'aviser les autres gestionnaires (autres voies protégées ou soutenues...).
- La liste des documents disponibles.
- La composition de l'équipe d'inspection.

Il est rappelé que :

- l'équipe de constatations doit être dirigée par un agent de niveau BAC + 2 ou équivalent ayant au moins trois ans d'expérience d'inspection détaillée ou ayant réussi l'épreuve de qualification d'inspecteur (*cf.* procédure RLPC ProQ-S2) ; il s'agit de l'inspecteur OA,
- l'ensemble de l'IDP doit être dirigée et exploitée par un ou plusieurs agents, chargés d'études qualifiés, de niveau ingénieur ou équivalent ayant obligatoirement reçu une formation spécialisée en ouvrage d'art, en géotechnique et en pathologie.

1.2 La CDOA, si elle ne réalise pas l'inspection avec ses propres moyens, doit faire appel à un organisme d'inspection spécialisé dont l'expérience et les compétences des personnels sont celles définies au paragraphe 1.1. L'attribution du marché doit être subordonnée à la fourniture préalable des curriculum vitae des intervenants et des responsables techniques en charge de l'IDP.

La CDOA doit définir avec l'organisme les moyens d'accès nécessaires et le calendrier des interventions. Elle doit alors faire, avec l'équipe d'inspection de cet organisme, une prévisite de chaque ouvrage.

2. Préparation de l'intervention

La CDOA ou l'organisme d'inspection effectue la programmation des moyens (réservation de passerelle, nacelle, bateau, ou scaphandriers, etc.) et définit les dates d'intervention.

Lorsque l'équipe d'inspection de la CDOA ou de l'organisme d'inspection est désignée, elle doit :

- planifier l'intervention (demande des sujétions d'intervention à la CDOA ou son représentant, ...),
- « récupérer » le dossier d'ouvrage (y compris les résultats de la surveillance extérieure),
- analyser le dossier d'ouvrage,
- préparer les fonds de plans à l'échelle.

3. Intervention *in situ*

Elle comprend pour l'équipe d'intervention :

- La mise en place des moyens programmés par la CDOA ou l'organisme d'inspection (passerelle, nacelle, bateau, scaphandriers) et par le responsable de l'IDP, du matériel complémentaire nécessaire à la réalisation des inspections (échelle, télescopètre, décamètre, appareil photos, jumelles, comparateurs, thermomètre, fissuromètre, pied à coulisses, etc.).
- La vérification des conditions de sécurité de l'intervention (*cf.* annexe 7 du fascicule 02 de l'instruction technique).
- L'examen visuel rapproché des parties observables avec les moyens prévus pour l'intervention, complété par quelques mesures simples (distances, longueurs, ouvertures, aplombs, sondages au marteau, prélèvements, etc.) et par un repérage et un marquage indélébile permettant le report.
- Le report systématique des désordres sur les plans à l'échelle, et des observations sur les bordereaux d'examen avec appréciation des critères de caractérisation et d'évolution.
- La prise de clichés susceptibles d'aider à la compréhension des désordres.

Le(s) responsable(s) de l'IDP devra s'inspirer des documents édités par le SETRA et le LCPC concernant le sujet et du catalogue des désordres fourni en annexe dans le guide de recommandations.

Si la CDOA ne réalise pas les inspections détaillées, elle peut exiger de l'organisme qui les exécute un PAQ qui contiendra :

- Un document d'organisation générale qui permettra à la CDOA de s'assurer de la compétence requise des intervenants et des modalités du contrôle interne à l'organisme permettant le respect de la commande.
- Des fiches de procédures d'exécution correspondant à chaque phase de l'intervention, comme par exemple :
 - ➔ **Phase 2** : Recueil et analyse du dossier de l'ouvrage.
 - ➔ **Phase 3** : Déroulement de l'inspection.
 - ➔ **Phases 4 et 5** : Rédactions du rapport avec la note de synthèse traitant de l'interface entre les constatations sur le terrain et leur mise en forme et interprétation.
- La détermination de points critiques pour chaque phase, comme par exemple :
 - ➔ **Phase 2** : Planification des interventions.
Cohérence des informations issues du dossier d'ouvrage.
 - ➔ **Phase 3** : Vérification du matériel d'inspection.
Vérification des conditions de sécurité.
 - ➔ **Phase 4** : Vérification des cohérences entre informations du dossier d'ouvrage et des mesures *in situ*.
 - ➔ **Phase 5** : Homogénéité des conclusions et des suites à donner entre tous les ouvrages de la campagne d'inspection.
- La détermination de points d'arrêt qui pourraient se borner à la validation du contenu des rapports d'IDP après l'inspection des ouvrages. Le contenu de ces points d'arrêt serait allégé, sachant que le contrôle extérieur consiste tout d'abord à la vérification du contrôle interne.

4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée

Ce rapport sera conforme au modèle de cadre de l'annexe B. Il comprendra obligatoirement :

- un chapitre données administratives et de repérage du soutènement,
- un chapitre emplacement du soutènement,
- un chapitre description du soutènement,
- un chapitre facteurs de risque de désordres,
- un chapitre surveillance du soutènement,
- un chapitre relatif aux constatations,
- un chapitre relatif aux mesures effectuées dans le cadre de l'inspection,
- éventuellement, un chapitre essais, auscultations, investigations effectués depuis la dernière action de surveillance,
- **une note de synthèse,**
- une annexe sur les plans de l'ouvrage,
- une annexe sur les plans et schémas des défauts et désordres,
- une annexe dossier photographique.

5. Rédaction de la note de synthèse

Elle sera conforme au modèle en annexe B et sera intégrée au rapport. Elle comprendra :

- le rappel des conclusions des dernières actions de surveillance,
- l'interprétation des constatations, mesures, essais et reconnaissances effectués lors de l'inspection,
- les conclusions de l'inspection détaillée :
 - avis ou prédiagnostic sur l'état de l'ouvrage (zone d'influence, équipements, drainage, structure) et de son évolution,
 - les propositions d'investigations complémentaires *in situ* et de suivi spécifique éventuellement nécessaires,
 - les propositions de mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde,
 - les propositions de modification du régime de surveillance (périodicité),
- la date et la signature du(es) responsable(s) technique(s) de l'inspection détaillée.

6. Réunion de synthèse

La CDOA, en concertation avec la subdivision, doit organiser une réunion de synthèse avec le(s) responsable(s) de l'inspection détaillée.

Au cours de cette réunion, le(s) responsable(s) technique(s) de l'inspection détaillée fera connaître à la CDOA :

- les désordres les plus importants ou significatifs mis en évidence au cours de l'inspection,
- les suites à donner pour confirmer ou infirmer le prédiagnostic,
- les mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde à prendre.

ANNEXE B

Modèle de cadre de rapport type d'inspection détaillée d'un ouvrage de soutènement

N° de l'ouvrage :../.../..

Date : ../.../..

MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT

1. DONNÉES ADMINISTRATIVES ET DE REPÉRAGE

1.1 Nom du soutènement

1.2 Service gestionnaire

1.3 Commune

1.4 Voie de rattachement

1.4.1 Type de voie

1.4.2 Numéro de voie

1.4.3 Pr + Abscisse début du soutènement

1.5 Autre voie concernée par le soutènement

2. EMPLACEMENT DU SOUTÈNEMENT

2.1 Localisation du soutènement

2.2 Position du soutènement

2.3 Éloignement du soutènement par rapport aux voies

3. DESCRIPTION DU SOUTÈNEMENT

3.1 Géométrie du soutènement

3.2 Constitution

3.3 Modifications

3.4 Autres ouvrages liés au soutènement

4. FACTEURS DE RISQUE DE DÉSORDRES

N° de l'ouvrage :../.../..

Date : ../.../..

5. SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE

5.1 Documents de référence

5.1.1 Date (ou année) de la dernière cotation IQOA et classement

5.1.2 Date (ou année) de la dernière inspection détaillée

5.1.3 Dossier d'ouvrage (emplacement)

5.2 Investigations ou suivis spécifiques mis en œuvre (depuis la dernière action de surveillance)

5.3 Régime de surveillance (périodicité des actions de surveillance)

5.4 Mesures de sécurité particulières

5.5 Conditions d'exécution de l'IDP

5.5.1 Date

5.5.2 Ingénieur(s) responsable(s)

5.5.3 Équipe d'inspection

5.5.4 Moyens mis en oeuvre

5.5.5 Météo

5.5.6 Température ambiante

5.5.7 Particularités de l'intervention

6. CONSTATATIONS

6.1 Zone d'influence

■ En partie supérieure du soutènement

Stabilité d'ensemble : fissuration du terrain, tassement du terrain, bourrelets de terrain, érosions.

Inclinaisons anormales d'arbres de poteaux ..., présence de végétation nuisible, présence de surcharges, désordres des structures voisines du soutènement.

■ En contrebas du soutènement

Stabilité d'ensemble : fissuration du terrain, tassement du terrain, bourrelets de terrain, érosions.

Inclinaisons anormales d'arbres de poteaux..., présence de végétation nuisible, présence de surcharges, désordres des structures voisines du soutènement.

6.2 Équipements

■ En partie supérieure du soutènement

Chaussée : déformation vers le bas, effondrement local, fissures transversales, fissures longitudinales (ou en arc de cercle), faïençage, nid(s) de poule, défauts de surface.

N° de l'ouvrage : ../../..

Date : ../../..

Trottoirs, bordures et accotements : défauts des bordures de trottoirs, défauts sur trottoirs, affaissement du corps de trottoir ou de l'accotement, défaut d'étanchéité du corps du trottoir, configuration de l'ensemble chaussée/accotement.

Dispositifs de retenue : déplacements latéraux, dislocations locales, défaut d'alignement en plan et/ou reversement, défaut d'alignement en élévation, défauts des matériaux, défauts des garde-corps, glissières, barrières de sécurité, défauts des corniches.

Autres équipements.

■ En contrebas du soutènement

Chaussée : déformation vers le bas, effondrement local, fissures transversales, fissures longitudinales (ou en arc de cercle), tassement du terrain, bourrelets, faïençage, nid(s) de poule, défauts de surface.

Trottoirs, bordures et accotements : défauts des bordures de trottoirs, défauts sur trottoirs, affaissement du corps de trottoir ou de l'accotement, défaut d'étanchéité du corps du trottoir, configuration de l'ensemble chaussée/accotement.

Dispositifs de retenue : défaut d'alignement en plan, en élévation, défauts des matériaux, discontinuité.

Autres équipements.

6.3 Drainage et assainissement

■ Interne

Zones humides, ruissellements d'eau, efflorescences, concrétions sur le parement, écoulements de fines du matériau du remblai, altération du dispositif de drainage interne, absence de barbacanes ou de drains, fonctionnement du dispositif apparent de drainage interne.

■ En partie supérieure du soutènement

Dégradation des dispositifs de collecte et de descente des eaux, colmatage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux, configuration d'ensemble drainage/partie supérieure du soutènement.

■ En contrebas du soutènement

Stagnation d'eau, dégradation des dispositifs de collecte et de descente des eaux, colmatage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux, chutes d'eau depuis la partie supérieure du soutènement, configuration d'ensemble drainage/partie supérieure du soutènement.

6.4 Structure

■ Soutènement

■ Fondations

■ Élément de renforcement ou de réparation antérieur

N° de l'ouvrage :../../..

Date : ../../..

7. MESURES EFFECTUÉES DANS LE CADRE DE L'INSPECTION

8. ESSAIS, RECONNAISSANCES

9. NOTE DE SYNTHÈSE

A - Conclusions de la dernière action de surveillance

B - Interprétation des constatations, mesures, essais et reconnaissances effectués lors de l'inspection

C - Conclusions de l'inspection détaillée

C1 - Avis sur l'état de l'ouvrage - prédiagnostic

C1.1 - Zone d'influence

C1.2 - Équipements

C1.3 - Drainage et assainissement

C1.4 - Structure

C2 - Propositions d'investigations *in situ* ou de surveillances spécifiques

C3 - Propositions de mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde

C4 - Propositions de modification du régime de surveillance (périodicité)

D - Date et signature de(s) l'Ingénieur(s) responsable(s) technique de l'inspection détaillée

10. ANNEXES AU RAPPORT

Annexe Plans de l'ouvrage

Annexe Plans et schémas des défauts et des désordres

Annexe Dossier photographique

ANNEXE C

Fiche de synthèse IQOA

FICHE DE SYNTHÈSE

Identification de l'ouvrage :

ZONE D'INFLUENCE		
	CDOA	
	CLASSE	S
En partie supérieure		
En contrebas	CLASSE	S
CLASSE DE LA ZONE D'INFLUENCE		

ÉQUIPEMENTS		
	CDOA	
	CLASSE	S
Au-dessus		
- Chaussée		
- Trottoirs, bordures et accotements		
- Dispositifs de retenue		
- Autres équipements		
	CDOA	
	CLASSE	S
En contrebas		
- Chaussée		
- Trottoirs, bordures et accotements		
- Dispositifs de retenue		
- Autres équipements		
CLASSE DES ÉQUIPEMENTS		

DRAINAGE / ASSAINISSEMENT		
	CDOA	
	CLASSE	S
- Interne		
- En partie supérieure		
- En contrebas		
CLASSE DU DRAINAGE		

STRUCTURE		
	CDOA	
	CLASSE	S
CLASSE DE LA STRUCTURE		

SYNTHESE POUR L'OUVRAGE*		
	CDOA	
	CLASSE	S
- Zone d'influence		
- Équipements		
- Drainage / Assainissement		
- Structure		
CLASSE DU MUR		
<i>* La classe de synthèse de l'ouvrage est en principe la plus élevée de celles relatives à chacune des parties constitutives.</i>		

JUSTIFICATIFS DES COTATIONS DE SYNTHÈSE		

Document publié par le LCPC : sous le numéro 51123117
Conception et réalisation : LCPC-IST, Marie-Christine Pautré
Dessins : LCPC-IST, Philippe Caquelard
Crédits photographiques : Réseau des LPC - SETRA
Flashage-Impression : Bialec (Nancy), FRANCE
Dépôt légal : 3e trimestre 2003 - N° 58967



Ces recommandations sont essentiellement destinées aux inspecteurs chargés d'étude et gestionnaires chargés de réaliser les inspections des ouvrages de soutènement et d'en exploiter les résultats. Elles proposent une méthodologie pour aboutir à un premier diagnostic de l'état de l'ouvrage s'appuyant sur l'analyse des facteurs de risques de désordres de l'ouvrage et les constats effectués lors de l'inspection, complétée éventuellement par le relevé des mesures en place. Dans le cas où le premier diagnostic, établi à ce stade, met en évidence la nécessité de procéder à des investigations complémentaires pour aboutir au diagnostic final, ces recommandations présentent les différents moyens à mettre en oeuvre en fonction de la nature de la pathologie recherchée. Ces recommandations comportent par ailleurs un rappel sur le fonctionnement et le descriptif de ces ouvrages et sont complétées en annexe par un catalogue des principaux défauts et désordres apparents susceptibles de les affecter.

The recommendations presented herein are primarily intended for structural design inspectors and facility managers assigned to conduct inspections of supporting structures and then apply the ensuing results. A methodology is proposed in order to derive an initial diagnostic assessment of the structural state by reliance upon an analysis of structural disorder-related risk factors, along with observations recorded during site inspections, ultimately to be completed by in situ measurement readings. In the event the initial assessment established at this stage reveals the need to conduct additional investigations in order to generate the final assessment, these guidelines set forth the various approaches to be implemented depending on the type of pathology targeted. Moreover, contents include a review of the operating features plus a description of this category of structure; they are supplemented in the Appendix by a catalogue of the main apparent flaws and disorders capable of exerting an impact.