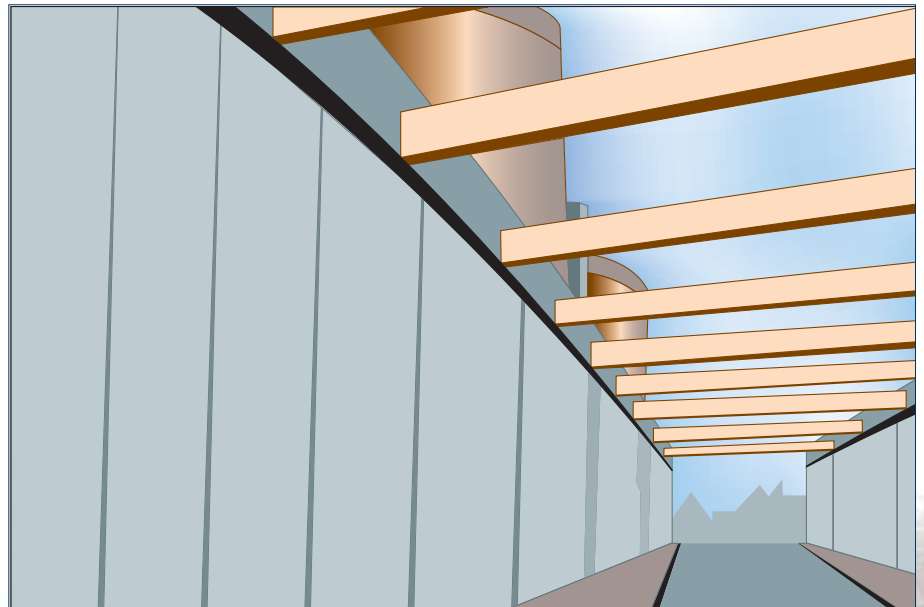
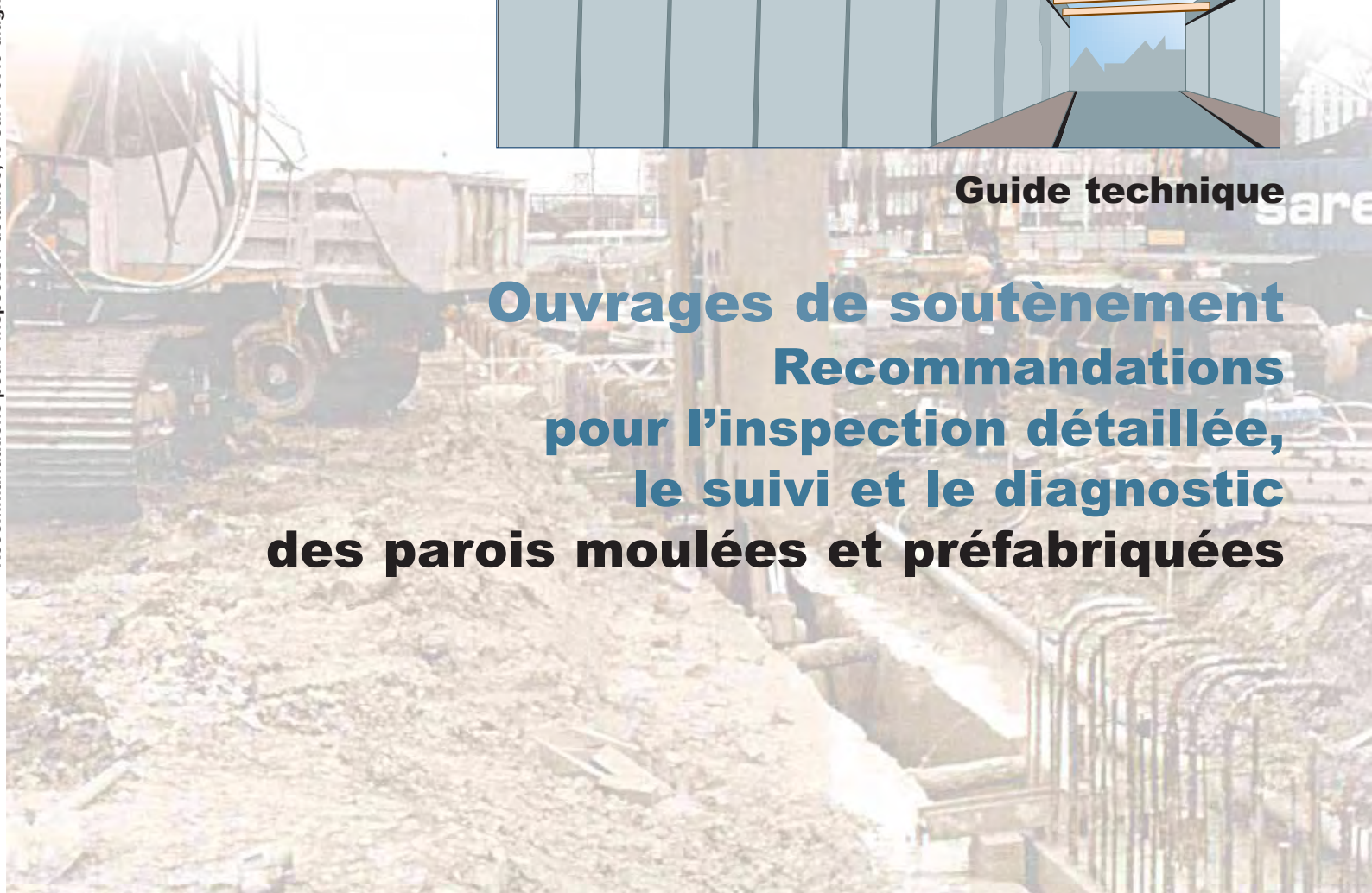


techniques et méthodes
des laboratoires des ponts et chaussées



Guide technique

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



Les collections du LCPC

Le libre accès à l'information scientifique est 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, l'Université Gustave Eiffel a fait le choix de numériser et de mettre à disposition en téléchargement gratuit, l'intégralité des ouvrages publiés dans les collections du LCPC de 1969 à 2014, du fait de son caractère patrimonial.

La collection « techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées »

Issus de l'expertise du réseau scientifique et technique (RST), les ouvrages publiés dans la collection « techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées » ont été conçus et rédigés en vue des applications sur le terrain par les professionnels du BTP. La collection se décline en deux séries : guide technique et méthode d'essai.

- La série « guide technique » réunit des synthèses de connaissances, fruits de groupes de travail nationaux associant partenaires publics et privés. Ces guides n'ont pas de valeur normative mais servent de support au développement des techniques.
- La série « méthode d'essai » réunit des méthodes à caractère normatif ou de recommandations. Les méthodes font l'objet d'une qualification par le service qualité du LCPC.

La collection « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées »

La collection ERLPC « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées » se décline en 8 séries thématiques : construction routière, environnement et génie urbain, géotechnique et science de la terre, mécanique et mathématiques appliquées, ouvrage d'art, physique chimie, sécurité et exploitation routières, sciences de l'ingénieur. Des mémoires de thèses ou d'habilitation à la direction de recherche, des résultats d'études générales et d'expérimentations en laboratoire et *in situ* ont été notamment publiés dans cette collection.

La collection « rapport de recherche du laboratoire central des ponts et chaussées »


De 1969 à 1990, les travaux de recherche les plus significatifs du LCPC ont été publiés dans la collection « rapport de recherche du laboratoire central des ponts et chaussées ». Cette collection historique a ensuite laissé la place à la collection « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées ».


La collection « actes des journées scientifiques du laboratoire central des ponts et chaussées »


Les ouvrages de la collection « actes des journées scientifiques du laboratoire central des ponts et chaussées » regroupent les communications présentées par les intervenants à l'occasion de manifestations scientifiques organisées ou co-organisées par le LCPC.

Les ouvrages des collections du LCPC sont diffusés sous la licence Creative Commons CC BY-NC-ND. Cette licence ne permet que la redistribution non commerciale de copies identiques à l'original. Dans ce cadre, les documents peuvent être copiés, distribués et communiqués par tous moyens et sous tous formats.



 Attribution — Vous devez créditer l'œuvre 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'Université Gustave Eiffel vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son œuvre.

 Pas d'utilisation commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette œuvre, 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'œuvre originale (par exemple, une traduction, etc.), vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'œuvre modifiée.

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

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), rédacteur de ce présent fascicule
- R. Dagba (SETRA puis LROP), rédacteur de ce présent fascicule
- M. Delannoy (LRPC de Nancy)
- E. Delahaye (CDOA Nord)
- L. Delattre (LCPC), animateur
- S. Fauchet (LREP)
- J.-P. Gigan (LREP)
- G. Haïun (SETRA)
- A. Lelièvre (LRPC de Rouen), rédacteur de ce présent fascicule
- 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)
- 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)

Le groupe de travail remercie :

- B. Godart (LCPC)
- J. Magadoux (SNCF)
- J.-P. Magnan (LCPC)
- M. Stenne (INTRAFOR)

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 Éditions

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 : 21 Euros HT

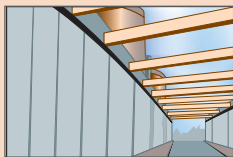
En couverture : Dessin d'après photo (Philippe Caquelard).

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 : 2-7208-3114-X

Sommaire

■ *Présentation générale commune à tous les fascicules* 5



RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX PAROIS MOULÉES ET PRÉFABRIQUÉES

1. Introduction 11

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi 11

2.1 *Principe de fonctionnement* 11

2.2 *Domaine d'emploi* 12

3. Description de l'ouvrage 14

3.1 *Structure* 14

3.1.1 L'exécution 14

3.1.2 Les cages d'armatures 17

3.1.3 Le béton et le bétonnage 17

3.1.4 Les joints entre panneaux 17

3.1.5 Les parois préfabriquées 20

3.1.6 Les ancrages 20

3.2 *Zone d'influence* 21

3.2.1 Les terrains associés 21

3.2.2 La nappe 22

3.3 *Équipements* 23

3.3.1 Nature des équipements 23

3.3.2 Fixation 23

3.4 *Drainage* 23

3.5 *Dispositifs de suivi* 24

3.5.1 Tubes pour auscultation sonore par transparence 25

3.5.2 Témoins de déplacement 25

3.5.3 Contrôles de tirants 25

3.5.4 Inclinomètre vertical 26

4. Origine des défauts et désordres 26

4.1 *Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage* 26

4.2 *Mauvaise exécution* 27

4.3 *Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques* 27

5. Inspection détaillée **29**

<i>5.1 Organisation et déroulement</i>	29
<i>5.2 Relevé des défauts et désordres</i>	30
<i>5.3 Facteurs de risque de désordres</i>	30
<i>5.4 Prédiagnostic</i>	31
<i>5.5 Cotation IQOA</i>	34

6. Diagnostic **35**

<i>6.1 Démarche générale</i>	35
<i>6.2 Du prédiagnostic au diagnostic</i>	36
<i>6.3 Techniques d'investigation</i>	39
6.3.1 Sol	39
6.3.2 Nappe	39
6.3.3 Grands glissements	40
6.3.4 Géométrie de l'ouvrage	40
6.3.5 Suivi des fissures	40
<i>6.4 Recalcul de l'ouvrage</i>	40

7. Entretien et réparation **40**

<i>7.1 Entretien courant</i>	40
<i>7.2 Entretien spécialisé</i>	41
<i>7.3 Réparations</i>	41

8. Bibliographie **42**

ANNEXE I CATALOGUE DES DÉFAUTS ET DÉSORDRS APPARENTS	45
---	----

ANNEXE II LES CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA	51
--	----

■ Annexes communes à tous les fascicules **55**

ANNEXE A ÉLÉMENTS D'UN CAHIER DES CHARGES TYPE D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE (IDP) D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	57
---	----

ANNEXE B MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	61
--	----

ANNEXE C FICHE DE SYNTHÈSE IQOA	67
--	----

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 encastres 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 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 pathologies. 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'investigation complémentaire (*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 identifiés au stade du prédiagnostic ou confirmés au stade du diagnostic.

RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX PAROIS MOULÉES ET PRÉFABRIQUÉES



1. Introduction

Le présent guide s'applique aux parois moulées ou préfabriquées en service, constituant un soutènement, généralement ancré.

La technique de la paroi moulée est récente (1952 en Italie, 1955 en France), et consiste en l'exécution d'un ouvrage de béton armé par moulage de béton dans une tranchée ouverte au sein du sol. Pour la paroi préfabriquée, en béton armé, la technique date du tout début des années 1970.

Les technologies ont fortement évolué dans le temps et la connaissance des moyens mis en œuvre pour réaliser un ouvrage donné à l'époque d'exécution sont importantes pour le diagnostic. Il en est de même d'ailleurs pour la technologie des tirants associés.

Ce document est destiné aux gestionnaires, et plus particulièrement aux agents chargés de l'inspection détaillée.

Il n'a pas, en principe, pour objet d'exposer les règles de dimensionnement et de réalisation d'ouvrages neufs. Néanmoins, le patrimoine concerné est en grande partie conçu, réalisé et surveillé par des services différents. Aussi, de telles règles de conception et de réalisation pourront être rappelées ci-après, sommairement si elles figurent déjà dans des règlements précis ou de manière plus détaillée pour certains aspects si ce n'est pas le cas, dans la mesure où elles peuvent faciliter la tâche du gestionnaire dans son analyse des phénomènes, constatés ou supputés, sur les ouvrages qu'il a la charge de surveiller.

Si le guide concerne l'inspection détaillée, il peut en effet s'avérer utile pour toute action autre, ou d'inspection ou de surveillance.

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

2.1. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement des parois est celui d'une structure chargée par la poussée des terres et de l'eau soutenue et résistant en flexion pour mobiliser des appuis constitués, d'une part, par le sol en fiche et, d'autre part, par des tirants ou butons disposés dans la partie libre de l'écran (Fig. 1).

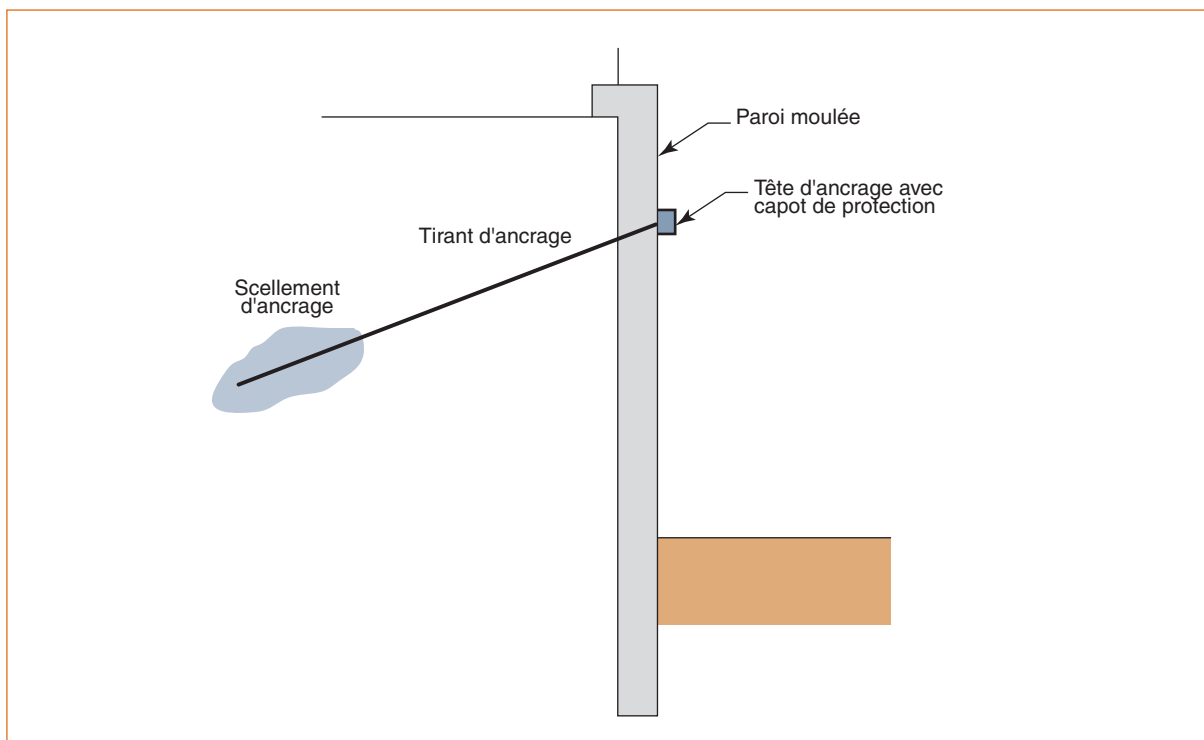


FIGURE 1 - Schéma de principe d'une paroi moulée en place, avec une nappe de tirants.

L'écran est généralement fiché de façon significative dans le terrain : de façon typique, la fiche, pour une paroi ancrée, varie de 30 à 50 % de la hauteur de fouille. En permettant la mobilisation d'un appui au sein du terrain, cette fiche joue un rôle déterminant dans l'équilibre de l'ouvrage. La nature de cet appui est variable suivant les propriétés du terrain, la longueur en fiche de l'écran et sa rigidité et la distribution des autres appuis, tirants ou butons, en partie aérienne. Elle peut se réduire à un appui simple, pour des écrans très rigides, ancrés en partie supérieure et dont la fiche est courte, tandis que, pour des écrans ne possédant pas d'appui en partie supérieure, l'encastrement en fiche devra être total. Dans le cas général, l'écran se trouve partiellement encastré dans le terrain.

Les appuis en partie supérieure de l'écran sont présents dès que la hauteur libre dépasse environ 5 m, de façon à limiter les déplacements en tête de l'ouvrage et à assurer sa stabilité. Il s'agit alors de tirants permettant de renvoyer les efforts d'appui suffisamment loin en arrière de l'écran, au sein d'une partie stable du massif de sol. Il peut également s'agir de butons, dans le cas où l'effort d'appui peut être renvoyé à une autre structure faisant face à l'écran (cas des tranchées couvertes, par exemple).

La répartition des appuis pour chaque niveau est variable suivant la nature des appuis et l'intensité des efforts à reprendre. L'espacement horizontal est plus important dans le cas des butons que dans celui des tirants.

2.2 *Domaine d'emploi*

La paroi moulée offre un large champ d'application dans le domaine routier pour la réalisation d'ouvrages de Génie Civil.

Comme soutènement classique, elle intervient pour la réalisation de fouilles en déblai, et notamment pour les fouilles de grande profondeur (usines, centrales, etc.) et en site urbain.

Elle permet aussi la réalisation de nombreux ouvrages hydrauliques tels que les quais, et est parfois utilisée en protection de sites montagneux.

En présence de nappe phréatique importante, et en association avec une injection de fond ou un substratum étanche, la paroi moulée permet de réaliser de grandes enceintes à l'intérieur desquelles sont effectués les travaux de génie civil, après pompage et rabattement de la nappe.

Par ailleurs, en raison de l'importance de sa section transversale (épaisseur nominale variant de 0,52 m à 1,20 m, voire 1,50 m), la paroi moulée est aussi appelée à transmettre aux sols sous-jacents, des charges d'ouvrages et d'exploitation, assurant ainsi le rôle de fondations profondes. C'est le cas des tranchées couvertes où elle est intégrée à l'ouvrage comme piédroits recevant les charges de la dalle de couverture, et des grands parkings en site urbain où elle reçoit les charges des différents niveaux de planchers. Dans ces types d'ouvrages, la paroi moulée sert à la fois de soutènement des terres et de fondations.

Une géométrie un peu particulière consiste en la présence de certains panneaux, régulièrement espacés, et systématiquement plus profonds que ceux adjacents. Cette disposition dite en jambes de pantalon a deux fonctions : une fonction vis-à-vis de la stabilité et une fonction hydraulique, les panneaux les plus longs assurant la stabilité de l'ouvrage tandis qu'un meilleur écoulement de l'eau est assuré sous les panneaux adjacents plus courts ; cette disposition se rapproche quelque peu, du point de vue du fonctionnement en écran, de celui des parois composites.

Dans toutes ces applications, il s'agit généralement d'écrans plans, ancrés au besoin selon la profondeur des fouilles, par un ou deux niveaux de tirants précontraints définitifs ou provisoires. Les tirants provisoires sont généralement remplacés par des planchers intermédiaires (cas de parkings), ou par la dalle de couverture et éventuellement le radier qui fonctionnent alors comme des butons définitifs.

Lorsque les conditions de site ou d'environnement ne permettent pas la mise en œuvre des tirants, ou lorsque les efforts de flexion sont très élevés pour les sections rectangulaires courantes, la paroi moulée peut être munie de contreforts, intérieurs ou extérieurs selon le cas, lui conférant ainsi une forme de section en T qui offre une plus grande rigidité à la flexion. Mais ceci constitue souvent une solution trop lourde à laquelle on n'a recours qu'en dernier ressort.

Enfin, la technique de la paroi moulée est aussi employée pour réaliser de simples écrans étanches, sans aucun rôle de soutènement.

Avec les récents développements technologiques des matériels, il est désormais possible de faire de la paroi moulée dans presque tous les types de sols, et sous de multiples contraintes de site, d'environnement, de géométrie et de hauteur.

La paroi préfabriquée est de dimension transversale (largeur) plus modeste que la précédente. Compte tenu de son mode de mise en œuvre qui nécessite une manutention des panneaux, elle ne permet pas d'atteindre les mêmes hauteurs soutenues que la paroi moulée.

Elle est intéressante dans la mesure où un linéaire important, dans des conditions géotechniques régulières, permet une préfabrication uniforme. Elle nécessite en contrepartie la possibilité d'aires de préfabrication et de stockage suffisants.

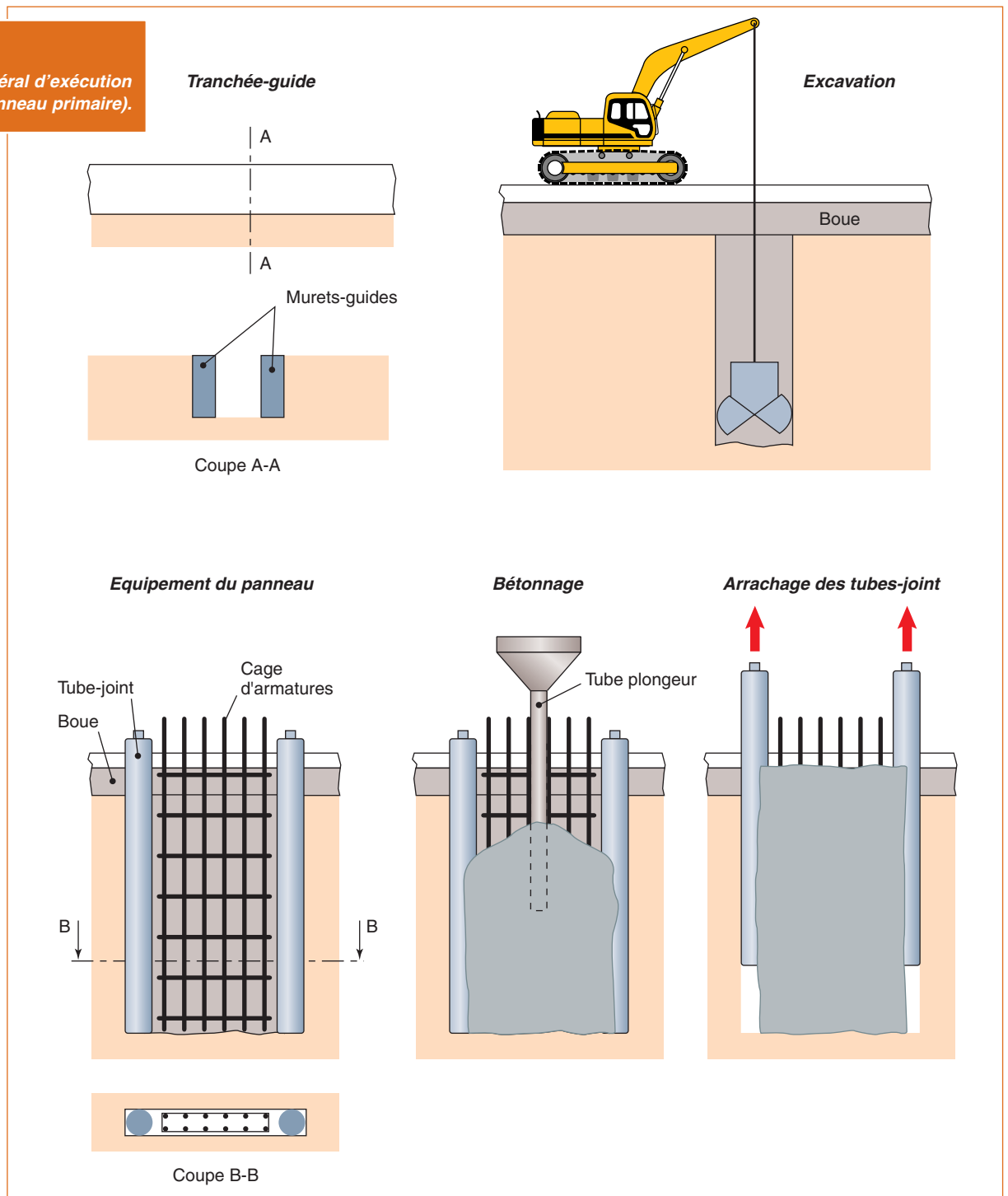
3. Description de l'ouvrage

3.1 Structure

La paroi, comme son nom l'indique, a l'aspect d'un mur continu. C'est en réalité une succession d'éléments plans, en béton armé, soit coulés en place soit préfabriqués, et qui sont jointoyés à la mise en œuvre. Ces « poutres » ou « dalles » verticales sont justifiées par les règles de calcul habituelles du béton armé.

FIGURE 2

Principe général d'exécution (cas d'un panneau primaire).



L'obtention d'un voile continu par réalisation de panneaux adjacents résulte de la succession des opérations suivantes (Fig. 2) :

- perforation de « panneaux primaires »,
- mise en place des coffrages de joints aux extrémités des panneaux primaires,
- bétonnage des panneaux primaires,
- enlèvement des coffrages de joints après durcissement du béton des panneaux primaires, lorsque les coffrages de joints ne servent pas de guide à l'engin de perforation,
- perforation de « panneaux secondaires » (entre deux panneaux primaires, ou en continuité d'un panneau primaire),
- bétonnage des « panneaux secondaires ».

3.1.1 L'exécution

Les méthodes d'exécution nécessitent d'être rappelées, car elles sont la cause principale de nombreux défauts*.

◆ Soutènement à la boue

Le principe est de soutenir une excavation à l'aide d'une boue bentonitique (quelques rares parois peuvent être excavées sans boue) ayant les propriétés suivantes :

- elle forme, en s'essorant sur les parois du sol excavé, une pellicule d'argile appelée « cake », plastique et très peu perméable,
- elle forme un gel au repos, qui est détruit par agitation (thixotropie),
- elle assure une poussée suffisante sur les parois de la tranchée et elle stabilise ces dernières en s'opposant à leur éboulement et à la pression de l'eau libre dans le terrain (Fig. 3).

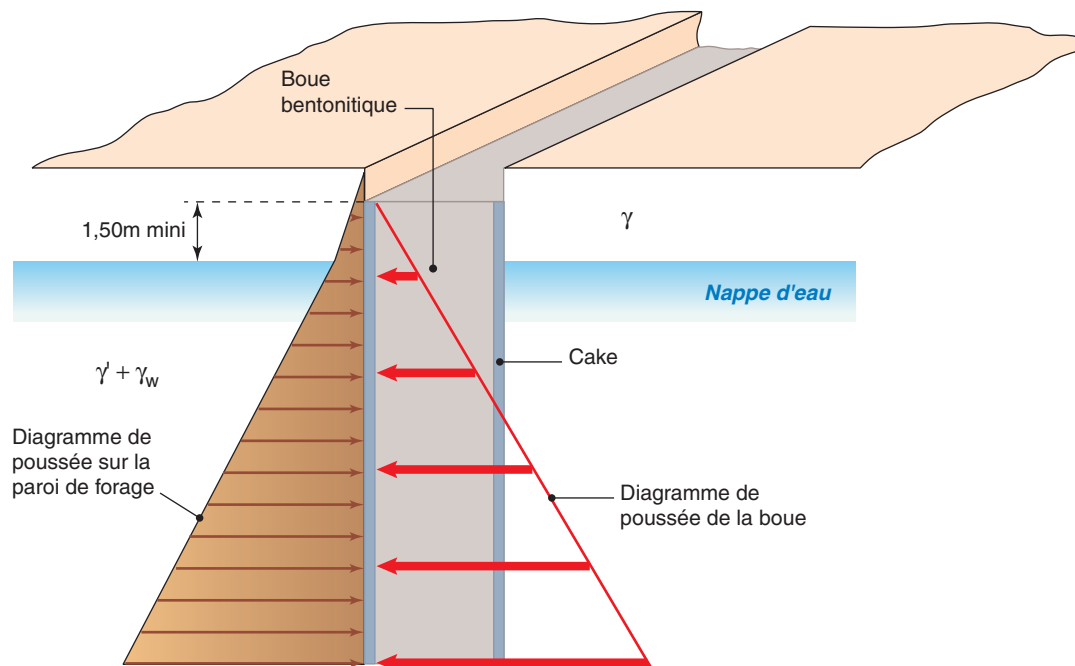


FIGURE 3 - Principe de soutènement à la boue.

* L'exécution des parois moules fait l'objet de la norme EN 1538.

La boue neuve possède des caractéristiques déterminées et une densité comprise entre 1 et 1,1. Le maintien de la stabilité des parois nécessite en outre :

- une sur-hauteur de boue par rapport au niveau piézométrique le plus élevé des nappes du terrain, 1,50 m étant le minimum conseillé,
- une largeur frontale de tranchée limitée, favorable à la stabilité et variant généralement de 5 à 8 m.

Par ailleurs, les joints étant des parties sensibles, il est préférable d'en réduire le nombre.

Enfin, les terrains très « ouverts », tels les remblais récents et les zones fracturées ou karstiques, sont peu propices à l'utilisation de la boue.

Le choix du type de boue est en outre un élément important dans la réussite du maintien de l'excavation et de la perforation, les fines du sol, naturel ou pollué, pouvant modifier les équilibres mécanique et chimique de la boue et en altérer certaines propriétés telles que :

- l'augmentation de densité et de viscosité, ce qui peut nuire à la qualité du bétonnage,
- l'épaississement du cake, qui diminue la largeur utile de la paroi.

Avant bétonnage, la boue est donc mise en circulation et le sable est filtré et extrait jusqu'à ce que sa teneur tombe au-dessous d'un seuil fixé.

◆ Perforation

Outre la fonction de la boue comme soutènement des parois de l'excavation, les principaux problèmes liés à l'exécution de la fouille concernent sa verticalité et la traversée des horizons durs.

Le maintien de la verticalité est obtenu en réalisant des murettes guides en béton armé, guidant l'engin de perforation qui s'ajuste entre elles durant sa descente (Fig. 4).

Dans les sols meubles, l'excavation est réalisée à la benne preneuse.

Dans les sols raides, l'excavation est traditionnellement réalisée à l'aide d'un outil travaillant en rotation ou en roto-percussion, en association avec une circulation inverse de la boue permettant la remontée des sédiments ; au besoin un trépan peut être associé à ce dispositif.

L'hydrofraise (ou hydrohaveuse), technique datant de 1975 et constamment améliorée, permet une plus grande précision et le passage des horizons durs épais.



Cette technique est par contre sensible à certains sols et à la présence de gros blocs qui bloquent les tambours de l'engin.

Les largeurs d'outils varient de 0,52 m à 1,52 m. Dans le génie civil routier, les épaisseurs courantes varient de 0,52 à 0,80 m. Des profondeurs de 35 à 50 m sont atteintes couramment et peuvent exceptionnellement atteindre 100 m avec une hydrofraise.

FIGURE 4 - Perforation à la benne preneuse entre les murettes guides.

3.1.2 Les cages d'armatures

Les cages d'armatures, pour les parois moulées, sont mises en place dans la tranchée pleine de boue, avant le bétonnage. Elle doivent être suffisamment rigides pour ne pas se déformer durant les phases de manutention.

L'espacement des aciers doit être suffisant pour que le béton qui arrive puisse être correctement mis en œuvre (20 cm sont recommandés). D'autre part, les cages sont soumises à une pression importante du béton lors des phases de bétonnage et doivent donc comporter beaucoup d'aciers horizontaux.

Compte tenu de la présence du cake de bentonite et des incertitudes sur le positionnement des cages (équipées de cales), l'enrobage de projet des aciers est supérieur à celui en vigueur pour les autres ouvrages en béton.

Toutes les réservations diverses, pour les dispositifs d'auscultation des parois ou les passages de tirants, doivent être disposées à l'avance dans les éléments de cages d'armatures.

De même, un renforcement de la cage est prévu au niveau des tirants dans le cas des parois ancrées, pour assurer la répartition des efforts d'ancrage.

En cas de mise en œuvre de la cage en plusieurs éléments verticaux, la continuité du ferrailage est assurée généralement par recouvrement des éléments et, dans certains cas particuliers, par manchonnage.

3.1.3 Le béton et le bétonnage

Le béton de paroi moulée n'est jamais vibré. Le bétonnage s'effectue au tube plongeur, depuis le bas de la fouille jusqu'en haut. C'est une opération délicate :

- le bétonnage doit s'effectuer régulièrement de façon à ce que la boue et les éléments dont elle s'est chargée soient correctement chassés par le béton,
- le tube plongeur doit rester engagé de plusieurs mètres dans le béton frais, trois mètres étant considéré comme un minimum,
- des retardateurs de prise sont incorporés au béton afin que la prise du béton mis en œuvre en premier n'intervienne pas avant la fin du bétonnage de l'ensemble du panneau,
- le béton doit être suffisamment liquide et non ségrégeable pour occuper correctement tout le volume de la fouille ; il doit cependant être suffisamment compact par simple mise en œuvre gravitaire. Le béton doit faire l'objet d'une étude au niveau de sa formulation et de sa maniabilité.

Le béton doit répondre aux spécifications réglementaires avec des caractéristiques néanmoins légèrement inférieures à celles des ouvrages en élévation.

La composition du ciment retenu doit être conditionnée par le niveau d'agressivité du milieu.

La protection des armatures contre la corrosion est assurée à la fois par la qualité du béton et par une épaisseur d'enrobage adaptée.

3.1.4 Les joints entre panneaux

Les joints sont des points délicats de jonction entre panneaux qui, s'ils n'ont pas dans le cas général de fonction structurelle proprement dite, sont par contre très souvent amenés à assurer une continuité vis-à-vis des aspects hydrauliques.

La technologie de coffrage des joints a été sans cesse améliorée ; l'époque de construction d'un ouvrage et la connaissance de l'entreprise qui en a assuré la construction peuvent utilement renseigner sur le type de joint.

On cite, ci-après, les principaux types qui ont été ou sont encore utilisés, les techniques actuelles se limitant à deux ou trois procédés.

Utilisation de tubes joints

C'est la première technologie employée.

Chaque extrémité libre des panneaux est équipée avant bétonnage d'un tube circulaire de diamètre égal à l'épaisseur de la paroi (*cf.* Fig. 2). Ce tube sert de coffrage et permet d'obtenir une surface d'arrêt de bétonnage semi-circulaire assurant une bonne reprise avec le panneau suivant. Les tubes sont extraits dès que le béton a atteint une rigidité suffisante.

L'avantage de l'exécution par panneaux successifs est de ne nécessiter qu'un seul tube par panneau ; par contre, elle présente le risque que l'excavation d'un panneau soit exécutée avant durcissement suffisant du panneau précédent et ne dégrade l'extrémité de celui-ci.

L'exécution par panneaux alternés nécessite deux tubes par panneau primaire mais permet d'éviter le risque précédent.

Joints en polystyrène

Le polystyrène a été utilisé pour donner au joint un profil en V. Ce système, s'il a présenté globalement un avantage en ce qui concerne sa facilité d'extraction, a entraîné plus d'inconvénients liés à la fragilité du matériau, à sa faible densité et à la difficulté de le dégager correctement du fond de joint à la fin du forage du panneau adjacent. Il n'est plus utilisé.

Tubes à ailettes

Ce procédé a pour but d'éviter le contournement du tube-joint par le béton. Le tube-joint a alors un diamètre réduit par rapport à l'épaisseur de la paroi et deux ailettes soudées diamétralement opposées constituent une barrière pour le béton. Il n'est plus utilisé.

Joints à clavettes

Ce système utilisé en complément du tube-joint consiste à réserver au bétonnage un vide dans le plan du joint entre deux panneaux et à « claveter » le joint en injectant dans ce vide un coulis renforçant l'étanchéité.

Le vide est réalisé par un tube de réservation ou par un tube en plastique servant de guide à une perforation ultérieure.

Plusieurs variantes existent :

- clavette simple constituée d'un tube mis en place le long du joint du premier panneau coulé,
- clavette double constituée de la juxtaposition d'un tube fixé au tube-joint et d'un tube tangent au précédent mis en place avant le coulage du deuxième panneau,
- clavette simple ou double complétée par un joint water stop.

Systèmes de joints sans tube

Des systèmes de joints sans tube sont momentanément apparus, mais n'ont pas eu de développement en France.

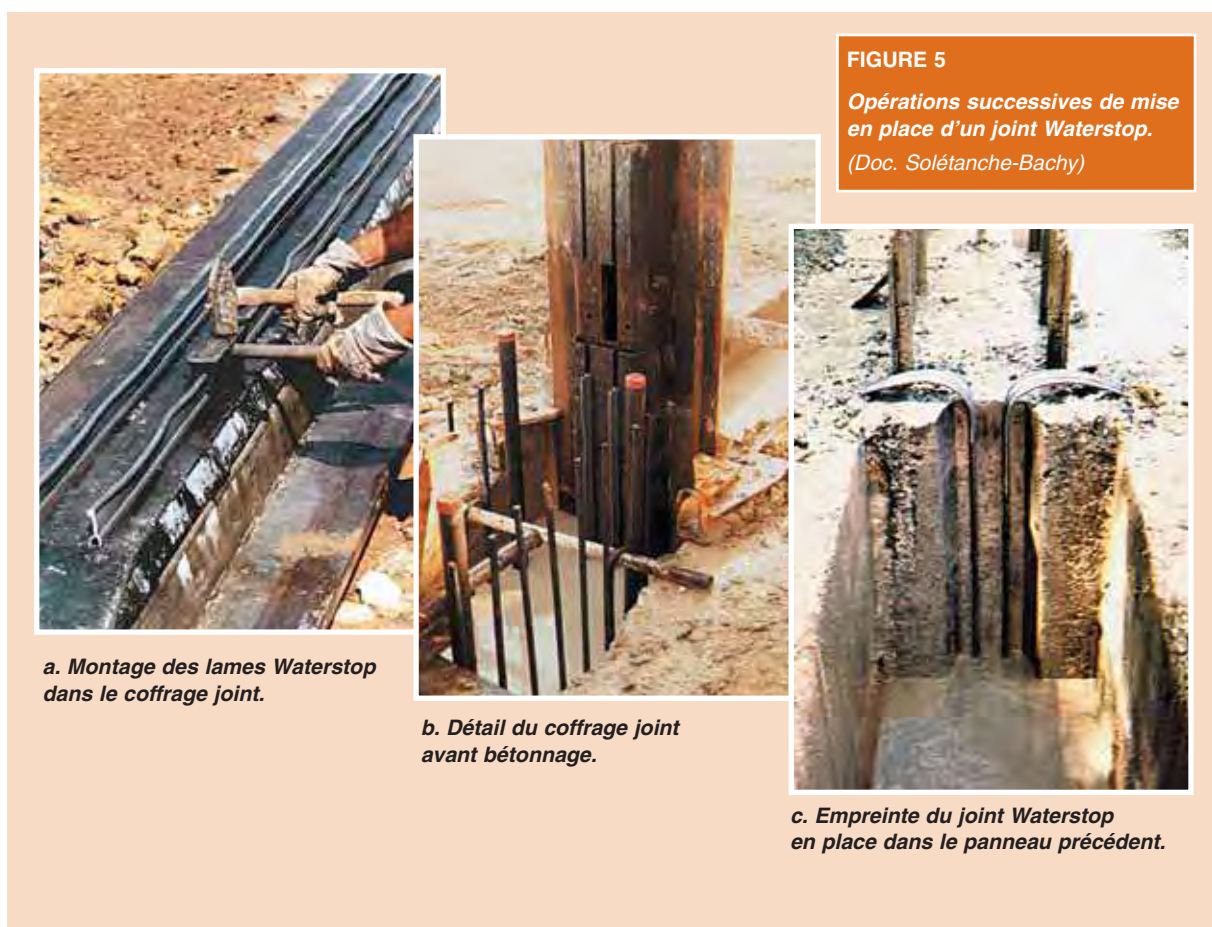
Coffrage joint

Il est constitué par une poutre caisson en acier haute résistance, mise en place, une fois l'excavation terminée (Fig. 5). Il n'est pas extrait comme un coffrage glissant avant la prise complète du béton mais laissé en place jusqu'à l'excavation du panneau suivant. Il est ensuite décoffré latéralement par l'outil même d'excavation spécialement équipé.

Le joint étant maintenu en place pendant toute l'excavation d'un panneau suivant, il peut être utilisé comme guidage de l'outil d'excavation, apportant ainsi la garantie de la continuité géométrique de la paroi.

Le décoffrage latéral permet en outre la mise en place courante dans le joint d'organes d'étanchéité complémentaires tels que des lames (ou bandes) d'arrêt d'eau.

Le coffrage joint comporte à cet effet un caisson auxiliaire rainuré dans lequel peuvent être insérés, sur leur demi-largeur, à frottement doux en jouant sur l'élasticité de leur tube central, une ou plusieurs lames d'arrêt d'eau en élastomère ou en PVC. La demi largeur libre de ces lames se trouve enrobée par le béton au moment du bétonnage du panneau. Le décoffrage latéral libère la partie des lames protégée par le caisson qui pourra ainsi être enrobée par le béton du panneau suivant. Le dispositif comportant une lame double constitue la configuration normalement utilisée (Fig. 5).



Joints à l'hydrofraise

Il ne s'agit pas à proprement parler d'une technique de réalisation des joints mais d'un procédé d'exécution des parois moulées assurant à la fois la perforation, l'extraction des matériaux et la réalisation des joints entre panneaux.

Le joint est réalisé par fraisage du béton déjà durci à l'extrémité du panneau en place, créant une surface de reprise crénelée assurant en principe un excellent contact avec le béton du panneau adjacent.

Cette technique a subi des améliorations qui augmentent les performances obtenues au niveau des joints.

3.1.5 Les parois préfabriquées

Pour ces parois, l'écran est constitué d'une succession d'éléments préfabriqués en béton armé, jointoyés et mis en place dans une tranchée forée sous coulis autodurcissant (Fig. 6). Les panneaux sont le plus souvent suspendus jusqu'à la prise du coulis ; ce dernier, dans la partie inférieure de la tranchée, peut assurer en outre une fonction de barrière hydraulique. Les éléments préfabriqués comportent les réservations nécessaires, destinées entre autres à l'attache des tirants. Le béton armé répond aux spécifications des règlements en vigueur. Les joints sont mis en place dans des réservations d'extrémité des panneaux après bétonnage, et sont ensuite gonflés (joints gonflables). Des demi-joints peuvent également être intégrés aux panneaux avant bétonnage et soudés entre eux (thermosoudage) après terrassement et dégagement du coulis.

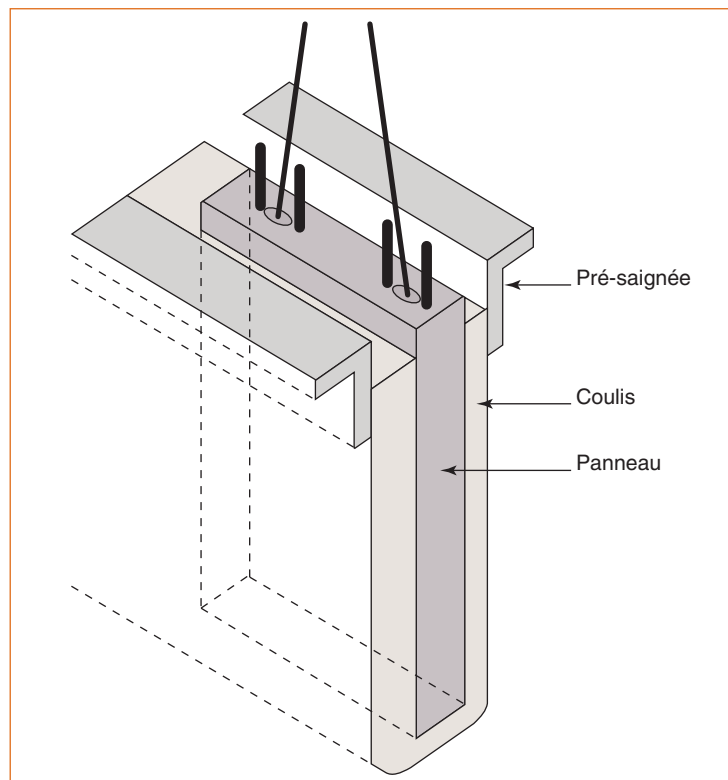


FIGURE 6 - Principe de construction d'une paroi préfabriquée.

3.1.6 Les ancrages

Il s'agit de dispositifs actifs ou passifs destinés à reprendre des efforts transversaux résultant essentiellement des poussées du sol et de l'eau sur la paroi ; ces dispositifs peuvent se mobiliser en traction (dans le cas de tirants), ou en compression (dans le cas de butons).

Dans le cas de tirants, le plus souvent actifs dans le cas des parois moulées et préfabriquées, l'ancrage présente presque toujours trois parties :

- l'ancrage proprement dit (scellement) qui transmet les efforts à reprendre au sol résistant par frottement ; la mobilisation d'une capacité d'ancrage n'est possible que si le scellement est situé à une distance suffisante de l'ouvrage à retenir afin d'éviter l'interaction entre le scellement et le prisme de poussée des terres ;
- un dispositif de liaison entre le scellement et l'ouvrage, fréquemment appelé « longueur libre » de l'ancrage. Ce dispositif de liaison peut constituer un point faible de l'ensemble car, outre la corrosion, il peut être l'objet de sollicitations mécaniques parasites en raison par exemple d'un tassement excessif du sol dans lequel il est placé. Généralement, l'armature est

protégée à ce niveau par une gaine (métallique ou plastique) remplie d'un produit anticorrosif (graisse, coulis ou résine souple) qui, dans la plupart des cas, doit permettre à l'armature de se déplacer librement pendant la mise en tension du tirant ;

- la tête d'ancrage, partie située au niveau de la paroi moulée et permettant la mise en tension et l'attache du tirant.

Elle est complexe et comprend plusieurs parties dont chacune joue un rôle important vis-à-vis de la durée de vie du tirant. Ces parties sont :

- la tête d'ancrage proprement dite, dans laquelle sont bloqués les fils, torons ou câbles constituant l'armature ;
- le tube trompette qui assure le recouvrement avec la gaine de protection de la longueur libre. Il est rempli d'un produit de protection anticorrosion ;
- la plaque d'appui, qui transmet directement l'effort à la paroi moulée dans le cas où la tête est noyée dans la structure ;
- la chaise d'appui, sur laquelle s'appuie la plaque dans le cas où la tête n'est pas noyée et est accessible. C'est elle qui transmet l'effort à la paroi ;
- un capot, fixé sur la chaise d'appui dans le cas d'une tête du tirant accessible. Il est alors rempli d'une graisse anticorrosion ou de produits similaires destinés à protéger la tête du tirant. Si la tête de tirant est noyée (cas des tirants définitifs), un remplissage de mortier complète la protection au nu de la paroi moulée.

Les matériaux constituant le tirant, ainsi que la procédure de réalisation et d'essai, ont dû, suivant les époques de conception, respecter les prescriptions du TA 77, du TA 86, puis du TA 95 et dans un avenir proche de la norme ENV 1537 (NF P 94-321), laquelle détaille l'ensemble des dispositions à mettre en œuvre pour l'exécution des tirants d'ancrage injectés.

Dans le cas de butons, dispositifs passifs, il s'agit d'éléments, soit métalliques dans le cas d'ouvrages provisoires, soit en béton armé pour un butonnage définitif. Dans ce dernier cas, l'élément peut prendre la forme de poutres horizontales espacées, ou d'une dalle continue (radier ou traverse supérieure). Une continuité d'armatures entre paroi et buton associe étroitement l'ensemble.

Dans le cas particulier d'une paroi moulée à contreforts, ceux-ci sont coulés en place et enserrant le terrain, l'ensemble contreforts - terrain participant à la stabilité de l'ouvrage par frottement latéral.

3.2 Zone d'influence

3.2.1 Les terrains associés

Le terrain environnant l'écran fait partie intégrante de l'ouvrage. Il en constitue les appuis ainsi que l'essentiel du chargement. On distingue plusieurs parties (Fig. 7) :

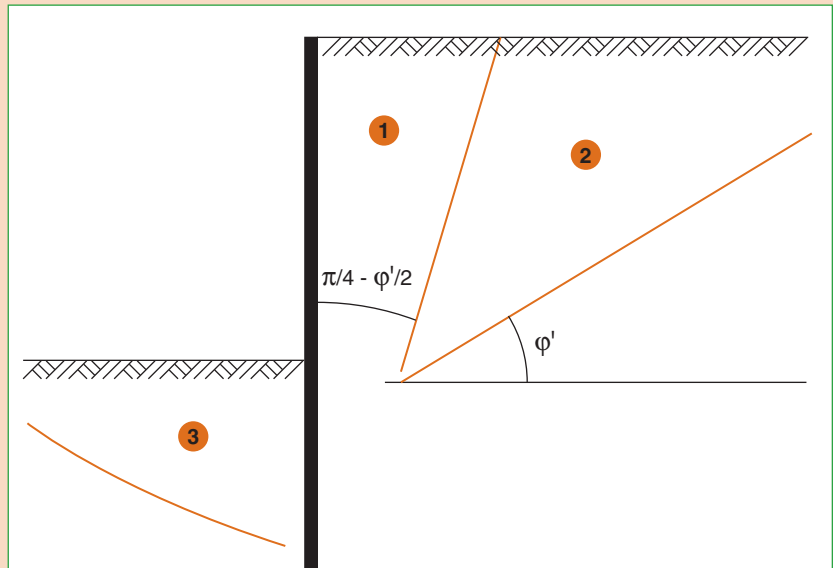
- **Zone 1** : le prisme de terrain directement soutenu ou prisme de poussée ; ce prisme de terrain, qui se trouve généralement à l'état d'équilibre limite de poussée, s'étend sur une largeur généralement voisine de la moitié de la hauteur totale de l'écran.
- **Zone 2** : la zone de terrain qui se trouve confinée entre ce prisme de poussée et le talus d'éboulement naturel du matériau ; cette zone de terrain peut s'étendre jusqu'à une distance égale à trois fois la hauteur soutenue.
- **Zone 3** : le prisme de terrain situé devant l'écran et participant à la réaction d'appui en fiche ; ce prisme aussi appelé prisme de butée s'étend sur une largeur égale à 3 à 5 fois la hauteur en fiche de l'ouvrage.

FIGURE 7

Parties du terrain associées à l'écran

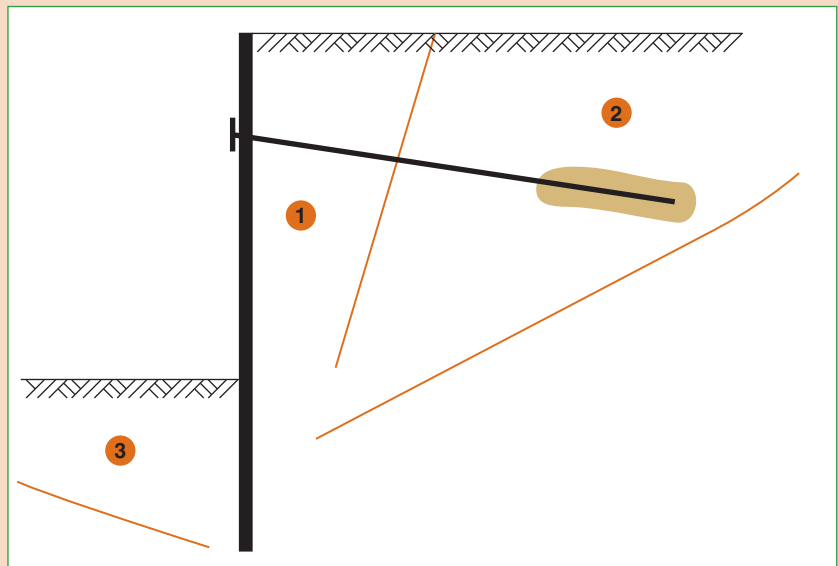
a. Cas d'une paroi non ancrée

- 1 - Prisme directement soutenu par l'écran.
- 2 - Zone confinée par le terrain soutenu.
- 3 - Prisme mobilisé par l'appui en fiche.



b. Cas d'une paroi ancrée

- 1 - Prisme directement soutenu par l'écran.
- 2 - Terrain mobilisé devant et derrière le massif d'ancrage.
- 3 - Prisme mobilisé par l'appui en fiche.



Dans le cas des ouvrages ancrés (Fig. 7), le terrain mobilisé devant le massif d'ancrage est également étroitement associé à l'ouvrage et il en est de même du terrain situé immédiatement derrière l'ancrage ; les dimensions de ce massif de sol sont directement liées à la longueur des ancrages, mais aussi à la profondeur à laquelle se trouve le massif d'ancrage.

La considération de ces différents massifs de sol associés à l'écran conduit à définir la notion de *zone d'influence* autour de l'ouvrage. De façon conventionnelle, et par extension d'une disposition adoptée pour les ouvrages sur versants, elle est définie comme la zone s'étendant de part et d'autre de l'ouvrage sur une distance égale à trois fois sa hauteur libre.

3.2.2 La nappe

La technique de la paroi moulée est une solution généralement bien adaptée en présence de nappe phréatique.

La connaissance du régime des nappes est nécessaire pour la conception et l'exécution de l'ouvrage. La présence de l'ouvrage, une fois terminé, avec son étanchéité relative, conduit à

un effet de barrage lorsque la nappe est en écoulement. C'est notamment le cas des ouvrages sur pente, mais aussi des ouvrages de rives compte tenu des échanges naturels entre les berges et le canal ou la rivière.

Cet effet conduit généralement à une remontée de la nappe derrière l'écran en même temps qu'une concentration de l'écoulement sous la paroi, qui augmente le gradient hydraulique. Pour lutter contre ce phénomène, il y a lieu d'allonger la fiche afin de réduire ce gradient. La qualité des joints entre panneaux est essentielle ici. Si l'on ne prend pas en compte ces deux aspects dans le dimensionnement de l'ouvrage, des désordres significatifs (renard, boullance) peuvent apparaître.

Par ailleurs, pour un ouvrage de grande longueur, la remontée de la nappe peut se propager sur une grande distance derrière l'ouvrage et déborder largement la zone d'influence des terrains, telle que définie précédemment. Elle peut donc occasionner de sérieux déboires sur l'environnement.

3.3 Équipements

3.3.1 Nature des équipements

Les équipements les plus courants sont les dispositifs de retenue, tels que les barrières de sécurité, les garde-corps, la signalisation, les écrans antibruit et autres éléments rapportés. Suivant leur mode de fixation à l'ouvrage, ils peuvent lui transmettre des efforts plus ou moins importants.

3.3.2 Fixation

L'implantation et le mode de fixation des équipements sur les ouvrages sont désormais mieux réglementés par un ensemble de normes, de textes d'homologation et de guides de conception, tant en ce qui concerne leur conception que leur mise en œuvre. Concernant les équipements de la route en tête d'ouvrages de soutènement constitués par des parois moulées ou préfabriquées, on peut trouver divers types de fixation :

- soit ils sont directement fixés à la paroi, en adaptant le ferrailage en tête de paroi. Les barrières concernées sont souvent de types BN4 ou BN1-BN2 ;
- soit ils sont implantés à l'arrière du soutènement, bien désolidarisés de la structure, à une distance variant de 0,75 m à 1 m de la paroi. Cette disposition vise à séparer la fonction dispositif de retenue de celle de soutènement. Il s'agit d'une barrière de type BHO directement battue dans le sol ou ancrée dans une longrine coulée à l'arrière, ou d'une GBA/DBA sur une longrine directement posée sur la plate-forme et indépendante du mur ;
- soit ils sont fixés sur une dalle de frottement coiffant la paroi, mais non directement fixée sur celle-ci. C'est la disposition actuellement recommandée. La GBA ou la BN4 sont fixées sur une dalle de 1,25 m à 2 m de largeur, noyée en partie dans le massif de sol à l'arrière de la paroi.

3.4 Drainage

Pour les soutènements en parois moulées, les dispositifs de drainage amont sont envisagés dans les cas où l'effet de barrage a d'importantes et inadmissibles répercussions sur l'environnement amont ou sur le dimensionnement de la paroi elle-même. Pour ces deux situations, l'ampleur du drainage à prévoir peut fortement différer. Dans la seconde situation, l'objectif est de simplement diminuer l'effet de l'eau juste derrière l'écran, contrairement à la première où les volumes d'eau concernés peuvent être très importants.

Le drainage peut consister en barbacanes jouant le rôle d'exutoires extérieurs, qui limitent le niveau amont de la nappe. Ce peut être également un drainage plus classique, tel qu'une tranchée drainante continue derrière la paroi, associée à des exutoires.

La conception de la paroi, avec des « jambes de pantalon » (*cf. supra*), a également pour effet bénéfique de faciliter l'écoulement de l'eau sous la paroi et de réduire ainsi l'effet de barrage.

3.5 Dispositifs de suivi

Les ouvrages en parois moulées ou préfabriquées ne sont généralement pas équipés de dispositifs spécifiques permettant d'en assurer le suivi, même si les recommandations « tirants d'ancrages » incitent fortement à la mise en place, dès la construction, de moyens de contrôle de la tension des tirants (Fig. 8).

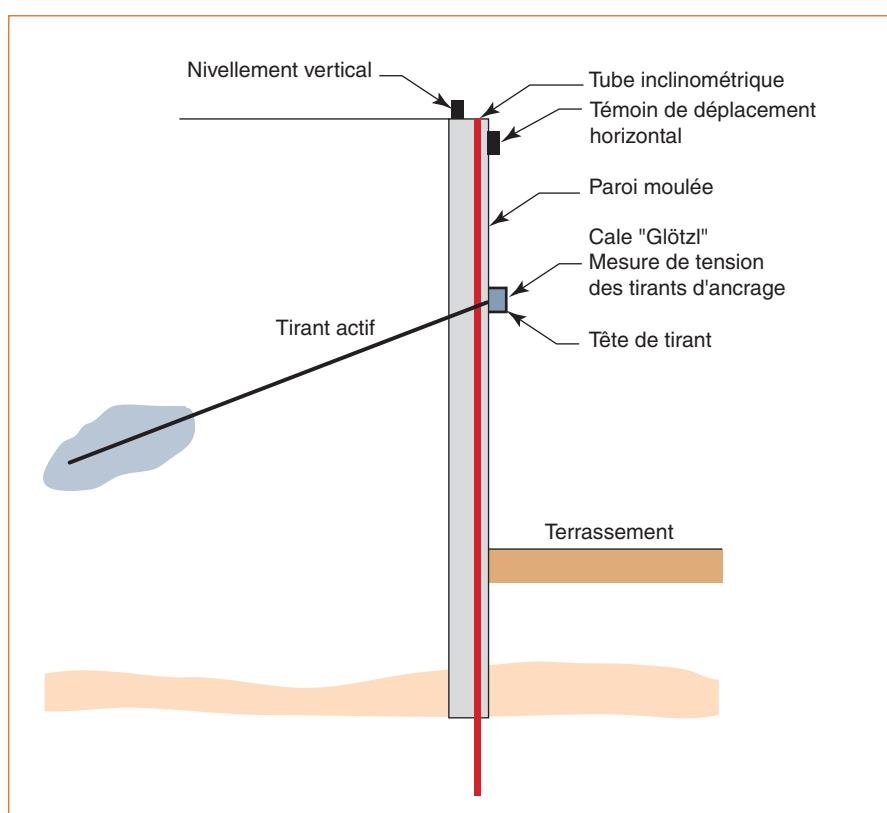


FIGURE 8 - Exemple d'instrumentation simple d'une paroi moulée.

Le suivi et la surveillance de l'ouvrage commencent dès sa réalisation.

Ces opérations sont largement facilitées par la mise en œuvre de dispositifs de suivi, qui devrait revêtir un caractère quasi-obligatoire (*cf. l'annexe I* et les mentions portées sur le caractère évolutif des défauts et désordres et en particulier des déformations). Pour les ouvrages neufs, il y a donc lieu de prévoir des dispositifs de suivi dès la construction, leur définition précise dépendant de nombreux facteurs et en particulier des facteurs de risque de désordres.

Pour les ouvrages qui n'ont pas été équipés, et ils sont nombreux, il sera souvent nécessaire de poser certains dispositifs de suivi, dont la nature et l'importance dépendront de l'existence ou non d'un dossier d'ouvrage.

On rappelle ci-après quelques dispositions pouvant être adoptées, sachant que la pose des dispositifs nécessite un soin et des consignes particulières pour leur préservation.

3.5.1 Tubes pour auscultation sonore par transparence

Ils sont prévus lors de la mise en place des cages d'armatures et permettent d'apprécier la qualité du béton et la continuité de la paroi. Cette auscultation se fait panneau par panneau, sachant qu'on ne peut espérer de renseignement sur la qualité des joints entre panneaux, les signaux étant inexploitable de panneau à panneau.

C'est à partir de cette auscultation et de son interprétation, que sont décidées des réparations à la construction, généralement en s'aidant des tubes d'auscultation.

Ces tubes sont généralement rebouchés au coulis de ciment après les opérations d'auscultation. Il est cependant intéressant de conserver l'accessibilité à ceux-ci en les maintenant vides après nettoyage, et en les munissant en tête d'une protection démontable.

3.5.2 Témoins de déplacement

Lorsque la paroi est cachée, cas le plus fréquent, par un parement rapporté et solidaire de celle-ci, il convient de prévoir des éléments de parement démontables, pour un accès visuel. En outre, des témoins de déplacements horizontaux installés sur le parement dans les secteurs de liaison rigide parement-paroi, permettront de s'assurer relativement facilement de l'existence ou non de mouvements. De manière générale, 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, voire le 1/10^e de millimètre). Cette méthode est simple de mise en œuvre et permet de connaître les déplacements de l'ouvrage dans l'espace.

On peut aussi fixer sur la paroi 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'évolution de l'inclinaison de la paroi avec une précision de 10⁻⁴ rd.

3.5.3 Contrôles de tirants

Les moyens de contrôle de la tension peuvent être regroupés en deux catégories :

- ceux sollicités en permanence, de type cale dynamométrique,
- ceux sollicités au moment de la mesure de la tension (vérins de traction, contrôles ultrasons).

Des essais de tirants sont par ailleurs réalisés en cours de construction de l'ouvrage.

Les capteurs utilisés pour la mesure de la tension, très souvent des capteurs de type Glötzl, sont des matériels robustes et fiables. Pour les ouvrages récents, les règlements imposent la mise en place à la construction de capteurs destinés à suivre l'évolution de la tension dans le temps. Les contrôles périodiques ultérieurs peuvent être complétés, si une dérive des appareillages est à craindre, par la réalisation d'un essai de traction en vraie grandeur, dans la mesure où l'on est alors sûr des valeurs mesurées de la tension. Les emplacements où sont situés ces capteurs étant exposés, des éléments de protection, amovibles, conformes aux recommandations T.A., sont indispensables pour éviter leur détérioration. C'est bien souvent par absence d'entretien (et de visite) que plus ou moins rapidement les appareils de mesure ne fonctionnent plus (Fig. 9).

En l'état actuel, il n'est pratiquement pas possible de contrôler la tension dans un tirant d'ancrage définitif si cette éventualité n'a pas été initialement prévue.



FIGURE 9 - Tirant d'ancrage dans une réservation de paroi, équipé d'un dispositif de contrôle de la tension.
(Remarquer la réservation pour tirant complémentaire éventuel).

3.5.4 Inclinomètre vertical

La mesure inclinométrique sert à mesurer les variations d'inclinaison d'un tube solidaire d'une structure, et permet d'en déterminer les déplacements par rapport à un point fixe généralement constitué par un scellement en profondeur dans un terrain indéformable. La position du tube dans l'espace peut être déterminée. Le relevé topographique conjoint de la tête du tube permet le recoupement des mesures inclinométriques.

Cette instrumentation doit être prévue dès l'origine par la mise en place dans les cages d'armatures de réservations destinées à permettre le forage et le scellement à la base de la paroi, ainsi que la mise en place des tubes de mesure.

Une mise en place ultérieurement à la construction est très difficile dans la paroi même et l'on s'oriente, dans un tel cas, vers une pose juste en arrière de la paroi, dans le sol en place, sensé suivre les mêmes déformations que celles de la paroi.

4. Origine des défauts et désordres

4.1 Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage

- Choix de structure et/ou type de tirants inadaptés (ex : faisabilité non assurée).
- Conception générale : efforts non pris en compte (efforts parasites sur les tirants dus au tassement du sol soutenu ; poussées hydrauliques sur la paroi).
- Conception de la liaison tête de tirant/paroi, n'assurant pas une bonne transmission des efforts ou avec des dispositions favorisant la corrosion ou ne permettant pas une remise en tension par exemple.
- Sous-dimensionnement de l'ouvrage qui se traduit concrètement par un défaut d'épaisseur ou de ferrailage ou par une fiche insuffisante.

- Sous-estimation des efforts, conduisant à des déformations excessives de parties de l'ouvrage ; ceci peut toucher toutes les composantes, parois, tirants et terrains associés.
- Sous-estimation des actions d'exploitation.
- Surestimation des caractéristiques des terrains.
- Ferrailage inadapté (mauvais positionnement de certains aciers).
- Dispositif de drainage insuffisant par rapport aux hypothèses de calcul : erreur sur les niveaux de nappe, voire oubli de la nappe.
- Défaut de prise en compte des risques d'affouillement.

4.2 *Mauvaise exécution*

- Fourniture de produits non conformes sur le plan géométrique ou mécanique (ferrailage, par exemple).
- Protection insuffisante des armatures, par défaut d'enrobage (défaut de verticalité, de calage, cake trop épais) (Fig. 10a et b).
- Non conformité aux plans (implantation incorrecte).
- Défauts de verticalité des panneaux dus à un défaut de guidage ou à des déviations sur blocs en cours de forage ; déviation relative des panneaux.
- Mauvaise exécution des joints entre panneaux (Fig. 11).
- Mauvaise qualité du béton par formulation défectueuse (paroi, butons).
- Mauvaise mise en œuvre du béton de paroi (inclusion de sol ou de boue, délavage par éboulement, rupture du bétonnage).
- Défaut d'exécution des tirants (scellements mal faits, têtes d'ancrage mal exécutées) (Fig. 12).
- Mauvaise mise en œuvre des dispositifs de drainage.

4.3 *Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques*

- Chocs de véhicules ou de bateaux.
- Augmentation de la poussée par surcharge excessive à proximité de la tête de la paroi, ou rechargement en amont.
- Diminution de la butée par travaux ultérieurs en pied d'ouvrage (reprofilage, tranchées).
- Ambiance agressive (environnements marin, industriel, etc.) et attaque du béton et des tirants.

**FIGURE 10 - Protection
insuffisante des armatures**



a. Armature principale visible.



b. Armatures principales et secondaires visibles.



FIGURE 11 - Mauvaise exécution d'un joint.



**FIGURE 12 - Défaut d'exécution de la protection
de la tête d'un tirant.**

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 ouvrage 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'investigations 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 tirants) et les moyens à mettre en œuvre : passerelle, nacelle élévatrice, bateau, plongeurs, démontage d'éléments du parement, démolition et reconstitution des cachetages, démontage et réinjection des capots de protection, moyens particuliers nécessaires 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 étudier particulièrement les pièces suivantes :

- les constats faits pendant l'exécution des travaux et notamment les difficultés d'exécution reconnues (exécution des tirants, des joints, éboulement en cours de perforation, 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 réparations effectuées,
- les rapports de mesures ou d'investigations spécifiques (nivellement, sondages, mesures de tension des tirants, 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,
- 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 investigation complémentaire, 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 la présence et le bon état apparent des dispositifs de suivi existant éventuellement sur l'ouvrage, de procéder aux mesures simples correspondantes et de programmer les relevés des mesures nécessitant des moyens et matériels plus importants.

Remarque : Comme pour la plupart des ouvrages de soutènement et de fondations d'ouvrages, une difficulté inhérente à la surveillance ou à l'inspection tient à ce que la majeure partie de l'ouvrage est difficilement accessible à l'examen visuel : il en est ainsi de la paroi du côté des terrains soutenus, de la face de la paroi en fiche et des tirants d'ancrage. Ces faces sont néanmoins protégées de certaines agressions.

Les éléments les plus exposés, à savoir la face visible de la paroi et les têtes d'ancrage des tirants sont visitables. Cependant, pour de très nombreux ouvrages, la face « visible » est très souvent masquée par des parements, ayant un rôle d'habillage, qui sont démontables ou non et posent donc problème pour l'examen de la paroi.

Les moyens d'inspection sont par ailleurs très différenciés pour les zones hors d'eau et celles qui peuvent se trouver constamment immergées (voie soutenue le long d'une voie d'eau, par exemple).

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 sur pente instable ;
- instabilité générale reconnue et structure défavorable du massif.
- site aquatique.

■ Le sol

- sols agressifs (composition chimique, conductivité, pH, présence de sels solubles, de matières organiques ou de micro-organismes) ;
- sols évolutifs (tassement, déformation, évolution de la résistance dans le cas notamment de sols fins, mais aussi de remblais mal consolidés) ;
- 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 tirants (blocs, éboulis, poches de dissolution).

■ L'eau

- eaux agressives (eaux douces, eaux saumâtres, eaux séléniteuses, eaux magnésiennes) ;
- présence d'une nappe (phénomène aggravé lorsque la nappe présente des fluctuations significatives) ;
- présence de conduites d'eau à proximité de l'ouvrage (risque de rupture).

■ Les conditions d'exploitation des ouvrages et du site

- sels de derverglacement ;
- sollicitations particulières (surcharges en tête, chocs, etc.) ;
- ouverture de fouilles en pied d'ouvrage.

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

■ Ouvrage de grande hauteur (fortes sollicitations des matériaux constitutifs),

■ Ouvrage avec tirants précontraints, notamment tirants de conception ancienne, susceptibles d'être mal protégés et présentant un risque plus significatif de corrosion fissurante sous tension,

■ Difficultés reconnues lors de l'exécution de l'ouvrage.

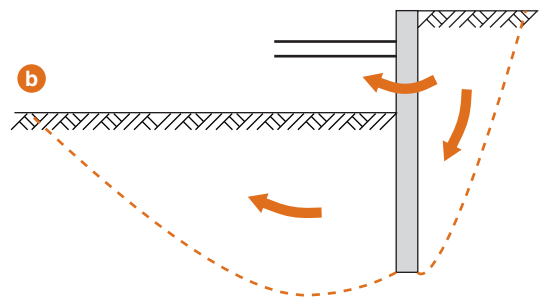
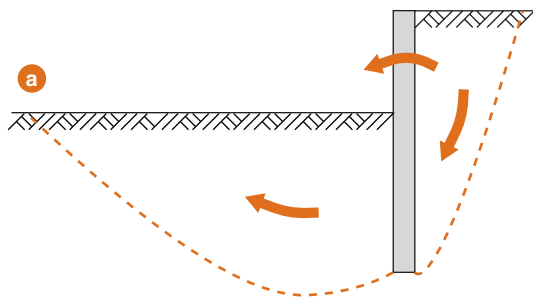
Ces facteurs de risque de désordres sont, dans la mesure du possible, identifiés dans la phase de préparation de l'inspection détaillée. Ils sont en principe identifiables dans le dossier d'ouvrage. Dans tous les cas, la liste doit en être établie au moment de la rédaction des conclusions de l'inspection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

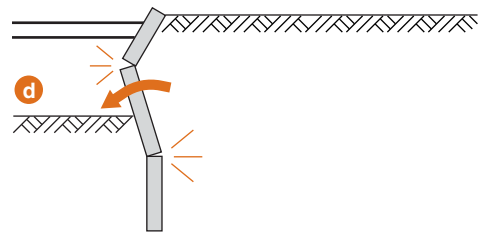
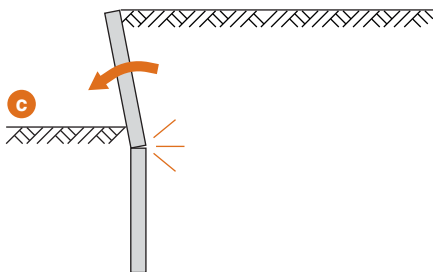
5.4 Prédiagnostic

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

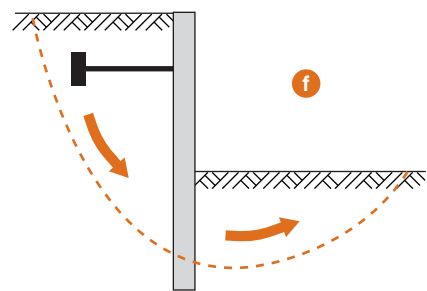
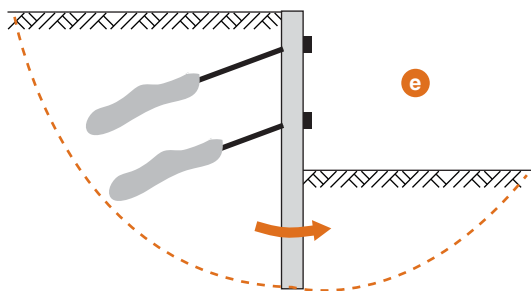
Insuffisance de la fiche et/ou insuffisance de butée (a, b)



Insuffisance du dimensionnement des palplanches (c, d)



Grand glissement (e, f)



Rupture de tirant ou de buton (g, h)

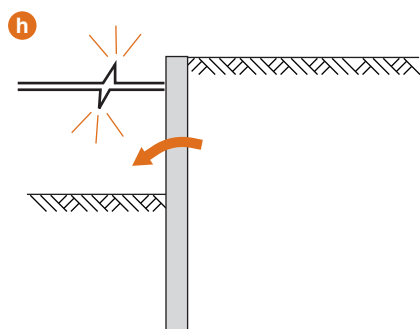
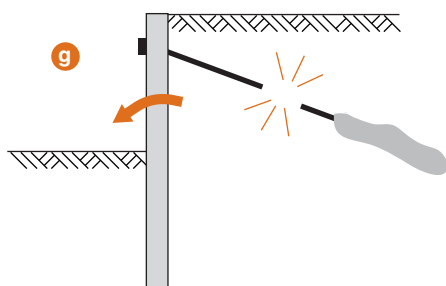
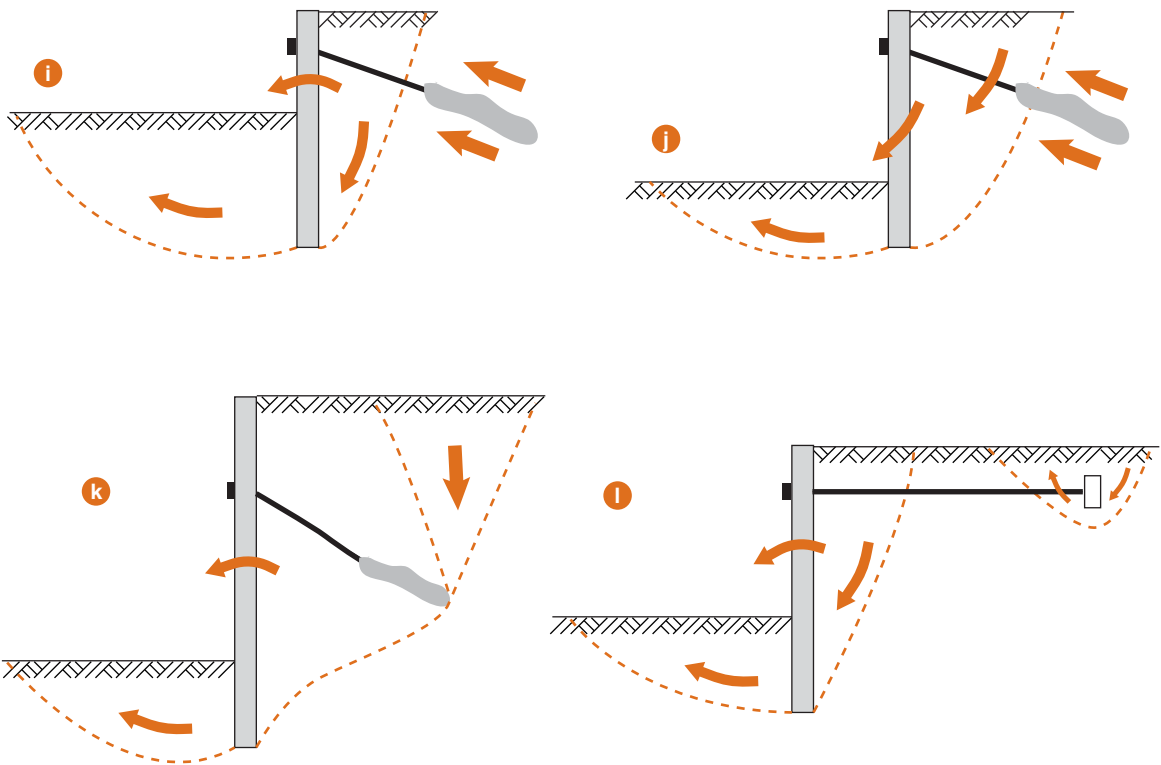


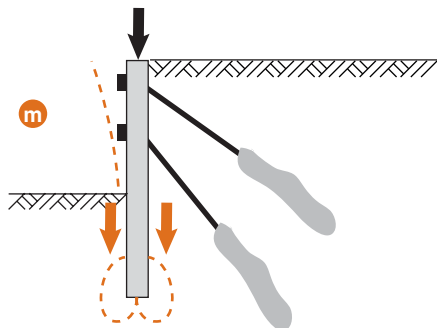
FIGURE 13

Modes de ruine des écrans de soutènement (d'après l'Eurocode 7)

Défaillance du massif d'ancrage ou du scellement et du terrain associé (i, j, k, l)



Insuffisance de capacité portante (m)



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

Cependant, lorsque les 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, *cf.* Fig. 13) :

Cas communs à l'ensemble des parois

- Insuffisance de fiche et/ou insuffisance de butée.
- Insuffisance de dimensionnement de la paroi.
- Grand glissement.

Cas des ouvrages ancrés ou butonnés

- Rupture de tirants.
- Risque de rupture de tirants.
- Défaillance du massif d'ancrage (scellement).

Cas d'ouvrage avec efforts verticaux en tête

- insuffisance de capacité portante du sol (par insuffisance de fiche ou manque de résistance du sol).

Dans le cas où le prédiagnostic fait craindre un risque imminent pour la sécurité des usagers et des tiers, des mesures de sauvegarde immédiate doivent être prises sans attendre l'aboutissement de la démarche de diagnostic (*cf.* fascicule 03 de l'ITSEOA). C'est le cas par exemple d'un risque lié à une rupture de tirants.

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 donnés en annexe II et le report de la cotation peut être fait sur la fiche de synthèse donnée en annexe C.

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, les résultats de l'inspection détaillée, ne suffisent généralement pas pour établir le diagnostic. Ainsi, l'absence de désordres apparents sur une paroi ancrée par tirants ne signifie pas nécessairement que l'ouvrage est en bon état. Inversement, le constat de désordres sur un ouvrage mal connu ne signifie pas obligatoirement qu'il y a risque d'aggravation de ces derniers. 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 14.

Une fois le diagnostic établi, la classe IQOA du mur 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.

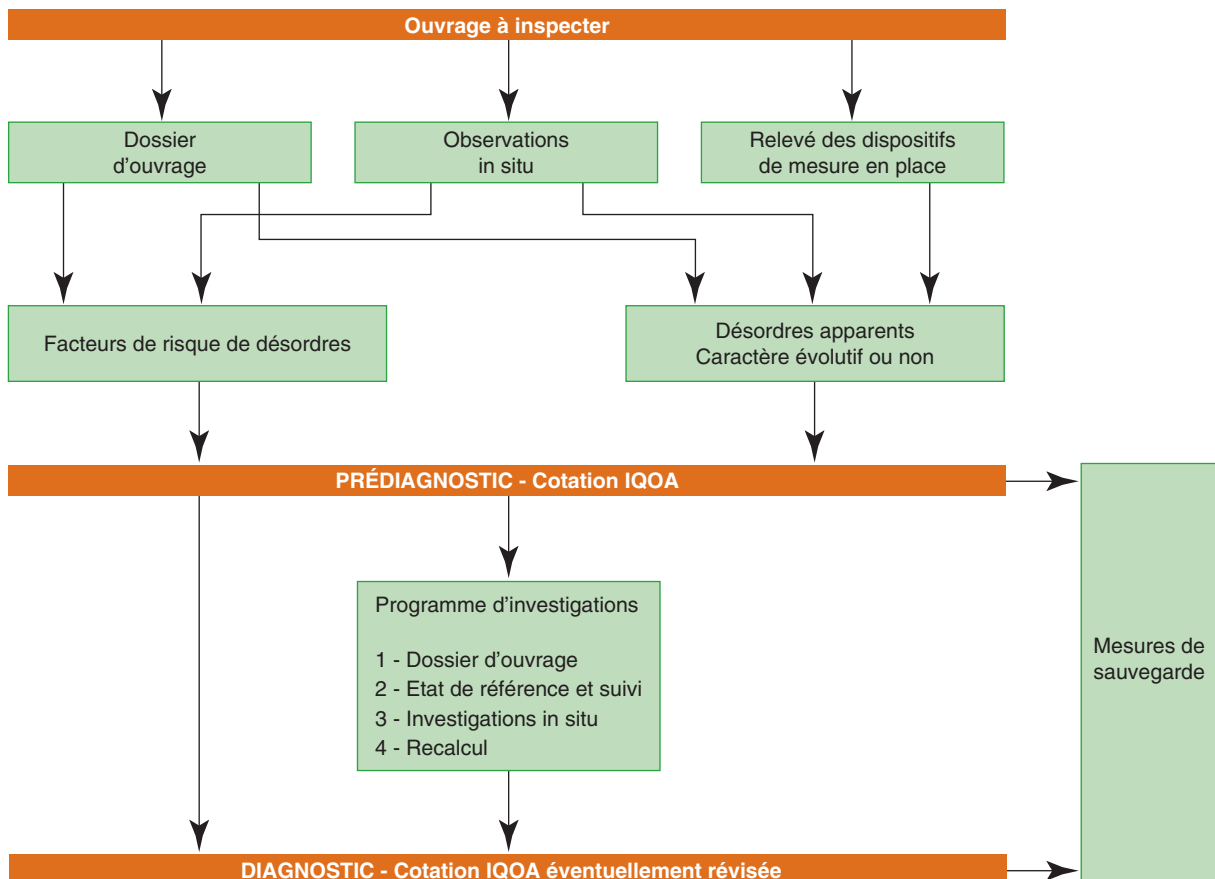


FIGURE 14 - Démarche de diagnostic.

6.2 Du prédiagnostic au diagnostic

Ce paragraphe présente la succession des moyens à mettre en œuvre pour, partant d'une hypothèse émise au prédiagnostic, aboutir à une 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 nécessaires 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'investigations 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 défauts 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 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 d'une paroi 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
Insuffisance de fiche et/ou Insuffisance de butée/ contre butée	Défauts et désordres de type : S1 / S2 / S3 / Z1 / Z2 / Z3 / Z7 / Z10 / Z12	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols ayant conduit à des difficultés de mise en œuvre . affouillements . ouverture de fouilles . présence d'une nappe . évolution des sollicitations . sols évolutifs	1 - Dossier OA : . hauteur de fiche . incident de mise en œuvre . hypothèses de calcul 2 - État de référence et suivi : . des déplacements de l'ouvrage . des fissures et des déformations du terrain 3 - Investigations <i>in situ</i> : . longueur en fiche (forages inclinés) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (suivi piézométrique) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul
Insuffisance de dimensionnement de la paroi (épaisseur-aciers)	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / Z1 / Z2 / Z3 / Z10 / Z12	Facteurs de risque de désordres éventuels : . ouvrages de grande hauteur . présence d'une nappe . évolution des sollicitations . canalisations en tête . affouillements . sols évolutifs	1 - Dossier OA : . caractéristiques géométriques . vérification sommaire du dimensionnement, hypothèses de calcul 2 - État de référence et suivi de la déformée 3 - Investigations <i>in situ</i> : . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (suivi piézométrique) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul
Grand glissement	Défauts et désordres de type : S2 / Z1 / Z4 / Z6 / Z8 / Z10 / Z11	Facteurs de risque de désordres éventuels : . ouvrages sur pente . présence d'une nappe . sols évolutifs	1 - Dossier OA : . vérification sommaire du calcul de stabilité 2 - État de référence et suivi : . déplacements de l'ouvrage (suivi inclinométrique et topométrique) . niveau de la nappe (suivi piézométrique) . déformation du terrain (fissures, bourrelets, etc.) 3 - Investigations <i>in situ</i> : hypothèses géotechniques (sondages et essais) 4 - Recalcul : . stabilité au grand glissement
Rupture de tirants	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . sollicitations excessives . tirants anciens . site aquatique (affouillement, marnage) . susceptibilité à la corrosion fissurante sous tension	1 - Dossier OA : . configuration des tirants (nuance d'acier, usinage, assemblage, etc.) . contexte géotechnique . facteurs de risque de désordres recensés . dispositions vis-à-vis de la corrosion 2 - État de référence et suivi : . mise en place d'une surveillance (déplacements : tirants, paroi, déformation : terrain, etc.) 3 - Investigations <i>in situ</i> : . validation de la rupture (pesage des tirants, cales, ultrasons, fouilles) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . caractérisation physico-chimique du site . niveau de la nappe (niveau piézométrique) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul : . pronostic sur l'évolution

TABLEAU I (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
Risque de rupture des tirants	Absence de défauts et désordres apparents	Facteurs de risque de désordres identifiés* : . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens . site aquatique (affouillements, marnage)	1 - Dossier OA : . configuration des tirants (nuance d'acier, usinage, assemblage, etc.) . contexte géotechnique . dispositions vis-à-vis de la corrosion 2 - État de référence et suivi : . mise en place d'une surveillance (déplacements : tirants, rideau ; déformation : terrain, etc.)
	Défauts et désordres de type : S10 / S11 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens . site aquatique (affouillements, marnage)	3 - Investigations : . pesage des tirants, présence de cales . hypothèses géotechniques . caractérisation physico-chimique du site . nature et état de la protection anticorrosion . niveau de la nappe (suivi piézométrique) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul
Défaillance du massif d'ancrage (scellement)	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols argileux saturés	1 - Dossier OA : . contexte géotechnique . vérification sommaire du dimensionnement de l'OA 2 - État de référence et suivi : . déplacements de la structure . déformation, fissuration du terrain 3 - Investigations : . pesage, présence de cales . fouille . hypothèses géotechniques . niveau de la nappe (suivi piézométrique) 4 - Recalcul
Insuffisance de capacité portante par : . surestimation des caractéristiques du sol . géométrie de paroi insuffisante (fiche, épaisseur) . efforts sous-estimés	Défauts et désordres de type : S4 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sollicitations excessives . sols évolutifs (si surcharges sur ces sols pouvant entraîner du frottement négatif) . ouverture de fouille . évolution des sollicitations . sols ayant conduit à des difficultés à la mise en œuvre	1 - Dossier OA : . géométrie de la paroi (fiche, épaisseur, etc.) . contexte géotechnique . vérification sommaire du dimensionnement de l'OA 2 - État de référence et suivi : . nivellement, déplacement de la structure 3 - Investigations : . hypothèses géotechniques . évaluation de l'effort vertical par pesage (pesée de réaction d'appui pour une culée d'OA, etc.) . géométrie de la paroi (fiche, épaisseur) : forages 4 - Recalcul

* Dans le cas où des facteurs de risque de désordres n'auraient pu être clairement établis, il s'agira d'évaluer la nécessité de procéder à des investigations complémentaires ou à une surveillance particulière.

6.3 Techniques d'investigation

Les techniques évoquées ci-après viennent en complément de celles qui sont intégrées à l'ouvrage dès sa construction et qui ont été décrites dans le paragraphe 3.5.

Elles concernent essentiellement des interventions nécessaires pour établir définitivement le diagnostic sur l'origine du comportement de l'ouvrage.

6.3.1 Sol

Les méthodes de dimensionnement des parois nécessitent de connaître les coefficients de poussée/butée du sol, ainsi que ses coefficients de réaction, pour ce qui est de la fonction de soutènement, et les caractéristiques de portance pour ce qui est de la fonction porteuse de la paroi.

Afin de les obtenir, on réalise les essais suivants :

- à partir des prélèvements de sol obtenus par sondage au carottier, l'essai à la boîte de cisaillement ou l'essai triaxial permet, en laboratoire, de déterminer c (cohésion du sol) et φ (angle de frottement interne du sol),
- l'essai pressiométrique est un essai en place qui permet de tester directement le sol en dilatant dans un forage une sonde cylindrique ; on obtient la pression limite (nécessaire au calcul de la capacité portante) et le module pressiométrique qui conduit au coefficient de réaction.

L'essai au phicomètre peut s'avérer adapté dans les sols pulvérulents pour accéder à l'angle φ .

D'autre part, il peut être nécessaire de connaître les caractéristiques chimiques et électrochimiques du sol afin de cerner les problèmes de corrosion au niveau des tirants. On détermine en laboratoire :

- la résistivité du sol en soumettant un volume connu de matériau à un courant continu ou alternatif,
- le pH du sol, mesuré avec un pHmètre 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).

Les essais réalisés sur le site n'offrent pas à l'heure actuelle la même précision que ceux réalisés en laboratoire.

6.3.2 Nappe

La mesure du niveau de la nappe est faite en utilisant des piézomètres. Ceux-ci sont en général constitués d'un tube en PVC (diamètre 50 mm environ) mis en place dans un forage. La partie du tube située au niveau de mesure est crépinée, et un bouchon d'argile posé dans le forage en haut de la crépine vient empêcher les arrivées d'eau par le haut. La tête du tube est fermée par une bouche à clé, et maintenue dans un massif béton. Pour les mesures du niveau de la nappe, on vient simplement descendre une sonde à contact électrique dans le tube.

Il peut s'avérer nécessaire de prévoir des piézomètres crépinés dans les différents horizons si ils sont le siège de nappes différenciées et de régimes différents.

Dans la mesure où la perméabilité du massif siège d'une nappe est très faible, le type de piézomètres à niveau d'eau libre décrits ci-dessus est inefficace. On doit alors mettre en place des sondes de pression interstitielle de technologie différente. Il s'agit de capteurs mis en place dans le terrain et comportant une membrane sensible pour la mesure de cette pression.

6.3.3 Grands glissements

La détection de pathologies sur un soutènement en relation avec un grand glissement nécessite la mise en œuvre des méthodes d'analyse propres à ce type de désordre. Cette analyse comportera un suivi topographique, des mesures inclinométriques (*cf.* 3.5) pour déterminer la géométrie du glissement et des études de sol, tous indispensables à l'établissement du diagnostic.

6.3.4 Géométrie de l'ouvrage

Si la géométrie de l'ouvrage est à rechercher, par exemple la longueur de fiche, il n'existe pas actuellement d'essais permettant une détermination directe. On doit alors procéder par forage direct au cœur de la paroi, ou réaliser des forages inclinés. S'il s'agit de rechercher l'épaisseur de la paroi, des fouilles limitées ou des forages destructifs transversaux permettront d'y parvenir.

6.3.5 Suivi des fissures

L'évolution de la fissuration peut être obtenue par des bases (spits) fixées dans la paroi et de part et d'autre de la fissure et suivies par lecture au vernier (fissuromètre).

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***

L'entretien visant à éviter ou ralentir la dégradation des matériaux constitutifs d'ouvrage, se distingue des opérations qui ont pour but de réparer l'ouvrage. Il faut cependant noter que la limite entre entretien spécialisé et réparation n'est pas toujours très bien perçue.

L'entretien après la réception de l'ouvrage a pour objet le maintien de son niveau de service et la garantie de la durée de vie qui est envisagée pour chacun des éléments qui constituent le soutènement en paroi. Un ouvrage bien construit et bien entretenu ne devrait pas, logiquement, subir de réparations pendant cette période, dans la mesure où il ne subit pas d'agression extérieure.

Si l'entretien, comme indiqué, maintient le niveau de service, il doit également porter sur l'aspect général de l'ouvrage, ce qui ne peut que faciliter son suivi et maintenir l'attention des agents chargés de la surveillance.

On peut distinguer deux niveaux d'entretien.

7.1 *Entretien courant*

L'entretien courant des ouvrages en parois comporte dans les opérations suivantes :

- enlèvement de la végétation nuisible ;
- débouchage des barbacanes éventuelles ;
- nettoyage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux.

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

7.2 *Entretien spécialisé*

Pour les ouvrages en parois moulées ou préfabriquées, l'entretien spécialisé porte essentiellement sur le béton armé, et sur les têtes d'ancrages des tirants.

Pour le béton, il y a lieu de distinguer la paroi moulée de la paroi préfabriquée, dont les états de surface sont très différents et qui font l'objet de traitements différents.

En particulier, le nettoyage par éliminations de salissures n'est pas systématiquement nécessaire, car il peut s'avérer néfaste, dans le cas où il est trop agressif, en conduisant à l'arrachement du béton et à la mise à nu d'aciers.

Pour les têtes de tirants, surtout si elles sont situées dans des niveaux aquifères, l'étanchéité doit être assurée dans les meilleures conditions possibles. Les dispositions adoptées doivent permettre le démontage des capots et l'injection de graisse ou résine adaptée. La vérification de l'état de fonctionnement des appareils de mesurage de la tension fait partie de l'entretien.

7.3 *Réparations*

Les réparations à mener sur la paroi interviennent à deux périodes distinctes ; lors de l'exécution de l'ouvrage pour réparer les défauts d'exécution, et sur l'ouvrage construit, après constat des désordres et établissement du diagnostic. Néanmoins, des défauts d'exécution peuvent ne pas être décelés immédiatement.

Les principales réparations, sans la distinction ci-dessus, concernent :

- le ragréage du béton : il s'agit d'une opération consistant à réparer superficiellement la surface de béton détériorée, après préparation des zones dégradées (chocs, altération, etc.) et au besoin traitement des aciers ;
- la réparation de joints entre panneaux : les joints entre panneaux ont un rôle important pour assurer l'étanchéité, que ce soit vis-à-vis du matériau soutenu (fuite de matériau) ou vis-à-vis de l'eau. La décision de réparer dépend de certains facteurs de risque de désordres (présence d'une canalisation au sein du massif soutenu, nature du sol soutenu, nappe ou non) et de l'incidence d'un disjointement sur la tenue du soutènement. La réparation consiste le plus souvent en une incorporation de coulis ou béton sous forme d'injection, de colonnes de jet, de pieux sécants ou de barrettes mises en œuvre côté terrain. Mais des réparations depuis la face avant sont envisageables après purge et nettoyage des interstices entre joints, et projection de mortier par voie sèche. Une engravure, avec collecte des eaux, peut aussi être envisagée au niveau de la fuite ;
- l'ajout d'appuis complémentaires, soit pour renforcer la structure, soit en cas de défaillance ou de risque important de défaillance de tirants existants (diagnostic de tirants anciens, en milieu très agressif, sans désordres apparents) ;
- le rétablissement d'une butée suffisante par adjonction d'un « rempliement » réalisé par exemple par colonnes jointives injectées en place. Cette « paroi » complémentaire peut d'ailleurs être conçue pour une amélioration de la capacité portante verticale de la paroi existante ;
- l'augmentation de l'inertie par adjonction d'un soutènement complémentaire.

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 un spécialiste.

8. Bibliographie

Normes

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

NF A 05-250, Évaluation de la corrosion - canalisations enterrées en matériaux ferreux non ou peu alliés, AFNOR, mars **1990**.

NF A05-252, Corrosion par les sols - aciers galvanisés ou non mis en contact de matériaux naturels en remblai (sols), AFNOR, juillet **1990**.

EN 1538, Exécution des travaux géotechniques spéciaux, Parois moulées (NF P 94320), mai **2000**.

EN 1537, Exécution des travaux géotechniques spéciaux, tirants d'ancrage (NF P 94320), avril **2000**.

Textes réglementaires

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

Exécution des travaux de fondation des ouvrages de génie civil, Fascicule 68 du CCTG, octobre **1993**.

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

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

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.

Cahier des prescriptions communes (CPC), fascicule 68, titre 1er, « Exécution des travaux de fondation d'ouvrage », juin **1967**.

Documents guides

Recommandations pour le choix des paramètres de calcul des écrans de soutènement par la méthode aux modules de réaction, Note d'information technique du LCPC, Paris : LCPC, **1985**, 24 p.

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, **1995**, 11 p.

- Les ouvrages de soutènement - Guide de conception générale*, SETRA - F9849, **1998**, 154 p.
- Choix et applications des produits de réparation des ouvrages en béton - Guide*, LCPC-SETRA, Paris : LCPC, **1977**, 65 p.
- Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton - Guide technique*, LCPC - SETRA, Paris : LCPC, **1996**, 75 p.
- Réparation des parements en béton, produits et techniques actuels - Note d'information technique*, Paris : LCPC, **1985**, 12 p.
- État des lieux et réflexions sur la carbonatation du béton armé - Études et recherches des LPC - Paris : LCPC, 1999, 80 p.*
- Quai en parois moulées dans le sol - CCTP type - Bonneuil/Marne : CETMEF, Document d'étude, notice interne SCT n° 79.7, juin 1979.*
- Surveillance, auscultation et entretien des ouvrages maritimes - Fascicule 7 - Quais en parois moulées - Bonneuil/Marne : CETMEF, à paraître.*
- Les altérations visibles du béton - Définitions et aide au diagnostic - Cercle des partenaires du Patrimoine, 1996, 32 p.*

Autres publications

- SCHNEEBELI G., *Les parois moulées dans le sol - Techniques de réalisation et méthodes de calcul*, Édition Eyrolles, **1972**, 191 p.
- Les parois moulées dans le sol*
Revue Travaux n° 428, 1ère partie, **1970**, 80 p.
Revue Travaux n° 430, 2e partie, **1971**, 63 p.
- MORLET G., HURTADO J., *Première réalisation d'une paroi préfabriquée, l'enceinte étanche des sous-sols d'EDF d'Issy-les-Moulineaux*. Revue Travaux n° 433, **1971**, pp. 40-45.
- FENOUX G.Y., *Applications récentes de la paroi préfabriquée*, PANOSOL. Revue Travaux n° 441, **1971**, p. 24 à 31.
- DUPEUBLE D., *La paroi préfabriquée, procédé PREFASIF, Application*. Revue Travaux n° 433, **1972**, pp. 55-59.
- Syndicat professionnel des Entrepreneurs des Travaux Publics de France et d'Outre-Mer, Prix de l'innovation 1984 ; Le joint CWS, rétablissement des continuités mécaniques et d'étanchéité en paroi moulée, pp. 13-18 (Supplément de Janvier **1985** à la Revue Travaux).
- GUILLAUD M., *Innovation en matière d'outillages de parois moulées*, Revue Travaux n° 753, **1999**, pp. 70-73.

Logiciels

- Logiciel DENEbola - LCPC* (calcul des rideaux et parois par la méthode du coefficient de réaction), Bièvres : GRAITEC et Paris : Ponts Formation Edition.
- Logiciel RIDO* (calcul des rideaux et parois par la méthode du coefficient de réaction), Villeurbanne : Robert Fages Logiciels.

** La bibliographie relative aux tirants d'ancrage ne figure pas dans cette liste ; on la trouvera dans le document qui leur est spécifique.*

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 DU SOUTÈNEMENT		
Z1	Fissuration du terrain parallèle au soutènement	Nature du matériau du massif soutenu (effet de la sécheresse) Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval Rupture de tirants (À rapprocher du défaut S1)	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z2	Tassement du terrain en tête du soutènement	Nature du matériau du massif soutenu (érodable, effet de la sécheresse) Inclinaison du soutènement vers l'aval Entraînement de fines Consolidation du terrain soutenu ou de couches sous-jacente Rupture d'un ouvrage enterré dans le terrain soutenu Rupture d'une canalisation ou d'un ouvrage implanté dans le massif soutenu	Phénomène localisé ou étendu Caractère évolutif Risque de rupture de canalisations enterrées
Z3	Effondrement local du terrain soutenu	Formation d'une cavité par entraînement des fines à travers l'écran Rupture d'une canalisation ou d'un ouvrage implanté dans le massif soutenu	Importance de l'effondrement
Z4	Bourellets de terrain	Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu
Z5	Érosion, ravinement 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)
Z6	Inclinaison anormale d'arbres ou de poteaux	Mouvements au-dessus de l'ouvrage	L'inclinaison de poteaux ou de candélabres en partie supérieure d'ouvrage est en principe un signe inquiétant si elle s'est produite récemment
Z7	Présence de surcharges non prévues Accumulation non prévue de matériaux ou constructions récentes, stockées ou construites dans la zone d'influence de l'ouvrage		
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT		
Z8	Fissuration du terrain parallèle au soutènement	Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse) Déversement vers l'aval de l'ensemble de l'ouvrage Glissement d'ensemble du terrain à l'aval de l'ouvrage	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT (suite)		
Z9	Tassement du terrain en pied de soutènement	Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse) Accumulation non prévue de matériaux, en pied	Phénomène localisé ou étendu
Z10	Bourrelets de terrain	Mouvement en pied du soutènement Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage (À rapprocher du défaut S3)	Phénomène localisé ou étendu Risque de défaut de butée
Z11	Inclinaisons anormales d'arbres ou de poteaux	Mouvements en contrebas de l'ouvrage	(cf. Z6)
Z12	Érosion, affouillement, ravinement du sol Excavation en pied d'ouvrage	Instabilité du terrain superficiel aggravé par un défaut du système d'évacuation des eaux Phénomènes hydrodynamiques Ouverture de fouilles en pied d'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu Risque de défaut de butée

Équipements

L'inspection des équipements (chaussée, trottoirs, bordures et accotements, dispositifs de retenue et autres, au-dessus et en contrebas du mur) 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 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 SOUTÈNEMENT		
D1	Ruissellement d'eau, efflorescences, concrétions, en particulier aux joints	Infiltration des eaux de ruissellement Défaut de fonctionnement des dispositifs de drainage interne Défaut d'étanchéité des joints ou béton poreux	Caractère plus ou moins étendu Ruissellement au droit d'une tête d'ancrage
D2	Entraînement de fines du matériau soutenu (présence de coulure au niveau des joints ou des débouchés de barbacanes)	Défaut d'étanchéité des joints Le cas échéant, défaut de conception ou de réalisation du système drainant en arrière du soutènement	
D3	Le cas échéant, colmatage de barbacanes Présence de végétation obturant le dispositif	Défaut de réalisation du dispositif (absence de matériau filtrant, de drain ou barbacane à l'arrière du soutènement) Colmatage volontaire, vandalisme	
	ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE DU SOUTÈNEMENT		
D4	Stagnation d'eau	Absence ou défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux	
D5	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux (dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.)	Défaut d'entretien Tassement du terrain soutenu	
	ASSAINISSEMENT EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT		
D6	Stagnation d'eau	Absence ou défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux	
D7	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux (dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.)	Défaut d'entretien Tassement du terrain soutenu	

Structure

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENT/DÉFORMATION DE L'ÉCRAN		
S1	Inclinaison anormale vers l'aval	Affouillement Insuffisance de fiche pour les ouvrages non ancrés Ouverture de fouilles en pied Sous-dimensionnement de la paroi Défaillance des ancrages	Importance relative de la rotation Caractère évolutif ou non
S2	Inclinaison anormale vers l'amont	Insuffisance de fiche pour les ouvrages ancrés Glissement d'ensemble du soutènement	
S3	Déplacement en pied (concerne généralement les soutènements maintenus en tête)	Insuffisance de fiche	
S4	Déplacement vertical (cas de parois supportant des charges verticales)	Capacité portante du sol insuffisante	Compatibilité du déplacement vertical avec les déformations admissibles de l'ouvrage soutenu
S5	Flèche excessive (ventre) (cas des parois ancrées) (situation rare)	Blocage de la paroi en tête Sous-dimensionnement (poussée excessive, épaisseur insuffisante, mauvais espacement des nappes de tirants, ferrailage insuffisant, etc.) Défaut de drainage Rupture d'un ancrage dans une nappe de tirants inférieurs	
	DÉFAUTS ET DÉSORDRES DE LA PAROI		
S6	Déviations de panneaux Faux aplomb	Mauvais guidage Mauvaise implantation	Longueur d'ouverture Proximité d'un ancrage Présence d'eau Fuite de matériaux
S7	Armatures apparentes	Enrobage insuffisant Altération du béton Décollement d'un ragréage Mauvaise exécution (déviations de cages)	
	ALTÉRATION DU BÉTON DE LA PAROI		
S8	Inclusions de matériau pollué Béton ségrégué	Mauvaise exécution (boue inadaptée, rupture de bétonnage) Pénétration d'agents agressifs Pathologie du matériau béton	Fuite d'eau Proximité d'un ancrage Surface concernée plus ou moins généralisée

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ÉTANCHÉITÉ DU SOUTÈNEMENT		
S9	Percolation d'eau au niveau des joints ou de la paroi	Déviation entre panneaux Mauvais type de joint Béton poreux Inclusion Défaut du joint d'étanchéité	Transport de matériaux Débit plus ou moins important de l'eau de percolation Forte variation du niveau de la nappe arrière
	TIRANTS PRÉCONTRAINTS		
S10	Défaut de protection des têtes d'ancrage (absence ou défaut d'étanchéité ou corrosion du capot de protection, absence de cachetage, etc.)	Mauvaise conception Défaut d'exécution de la protection	Importance de la corrosion Infiltration d'eau Nombre de tirants concernés Type de tirants
S11	Corrosion des têtes d'ancrage	Agressivité du milieu ambiant Inefficacité du cachetage	Importance de la corrosion Nombre de tirants concernés

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,
- effondrement des terrains soutenus du fait de l'entraînement de matériaux à travers la paroi (joints ou panneau),
- affouillement et excavation du terrain en pied d'ouvrage.

CLASSE 2

- Présence de surcharges non prévues - accumulation non prévue de matériaux de constructions récentes, stockées ou construites dans la zone d'influence de l'ouvrage,
- érosion et ravinement du sol,
- stagnation d'eau.

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

- entraînement des fines du matériau de remblai,
- défaut du système d'assainissement pouvant entraîner des ruissellements d'eau chargée en agents agressifs (sels de déverglaçage),
- colmatage du système de drainage interne dû à une altération.

CLASSE 2

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

CLASSE 1

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

■ Structure (classe 1 à 3U)

CLASSE 3U

- défaillance généralisée des systèmes d'appui (tirants) par corrosion ou rupture,
- tout mouvement à caractère évolutif lié à un défaut d'appui (sol en fiche ou défaut de scellement du tirant),
- glissement d'ensemble,
- mouvement vertical entraînant des efforts parasites dans les tirants ou dans la structure portée le cas échéant.

CLASSE 3

- inclinaison anormale susceptible d'évoluer défavorablement à moyen ou long terme,
- sous-dimensionnement significatif de la paroi (épaisseur de la paroi et ferrailage),
- défaillance locale au niveau d'une tête de tirant (corrosion liée à une absence de capot, mouvement de plaque, chaise ou clavette) ou défaut de la paroi à ce niveau.

CLASSE 2E

- défaut de protection des têtes de tirants actifs,
- fuite de matériau (cotation en fonction des risques de désordres compte tenu de ce qui est soutenu).

CLASSE 2

- inclinaison anormale mais stabilisée,
- déplacement vertical stabilisé compatible avec les déformations admissibles,
- défauts au niveau des joints entre panneaux,
- défauts ponctuels d'éléments (éclatement, béton ségrégué, fers apparents, déviation locale de panneaux),
- défauts de protection des tirants passifs,
- percolation d'eau sans fuite de matériau,
- désordres mineurs.

CLASSE 1

- défauts mineurs.

Annexe A **57**

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

1. Reconnaissance	58
2. Préparation de l'intervention	58
3. Intervention <i>in situ</i>	59
4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée	60
5. Rédaction de la note de synthèse	60
6. Réunion de synthèse	60

Annexe B **61**

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

Annexe C **67**

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, télescomètre, 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 œuvre

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		

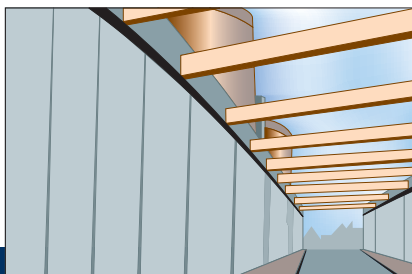
DRAINAGE / ASSAINISSEMENT		
	CDOA	
	CLASSE	S
- Interne		
- En partie supérieure		
- En contrebas		
CLASSE DU DRAINAGE		

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 51123114
Conception et réalisation : LCPC-IST, Marie-Christine Pautré
Dessins : LCPC-IST, Philippe Caquelard
Crédits photographiques : Réseau des LPC - SETRA - Entreprise Solétanche-Bachy
Flashage-Impression : Bialec (Nancy), FRANCE
Dépôt légal : 3e trimestre 2003 - N° 58965



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.