

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 ouvrages de soutènement
en parois composites

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 ouvrages de soutènement
en parois composites**

Guide technique

Décembre 2003



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

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

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

O. Combarieu (LRPC de Rouen)
R. Dagba (SETRA puis LROP)
M. Delannoy (LRPC de Nancy)
E. Delahaye (CDOA Nord)
L. Delattre (LCPC), animateur
S. Fauchet (LREP)
J.-P. Gigan (LREP)
G. Haïun (SETRA)
A. Lelièvre (LRPC de Rouen)
B. Mahut (LCPC), animateur
D. Malaterre (LRPC de Toulouse)
C. Maurel (SETRA)
M. Michel (LRPC de Lille)
C. Mieussens (LRPC de Toulouse)
N. Odent (SETRA), représentant du maître d'ouvrage
L. Philippoteaux (LRPC de Strasbourg)
M. Pioline (LRPC de Rouen), rédacteur du présent fascicule
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.-L. Ledoux (LRPC de Bordeaux)
J.-P. Magnan (LCPC)
M. Stenne (INTRAFOR)
J.-L. Touquet (SPIE-FONDATION)

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 : 23 Euros HT

En couverture : Paroi Berlinoise.

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 : 2-7208-0341-3

Sommaire

■ *Présentation générale commune à tous les fascicules* 5



RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX PAROIS COMPOSITES

1. Introduction	11
2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi	11
2.1 <i>Principe de fonctionnement</i>	11
2.2 <i>Domaine d'emploi</i>	13
3. Description de l'ouvrage	14
3.1 <i>Structure</i>	14
3.1.1 Description générale	14
3.1.2 Paroi Berlinoise	14
3.1.3 Paroi Micro-berloise	17
3.1.4 Paroi Parisienne	17
3.1.5 Paroi Lutétienne	17
3.1.6 Paroi Rennaise	17
3.2 <i>Zone d'influence</i>	19
3.2.1 Les terrains associés	19
3.2.2 La nappe	20
3.3 <i>Équipements</i>	20
3.3.1 Nature des équipements	20
3.3.2 Fixation	20
3.4 <i>Drainage</i>	20
3.5 <i>Dispositifs de suivi</i>	21
4. Origine des défauts et désordres	21
4.1 <i>Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage</i>	21
4.2 <i>Mauvaise exécution</i>	22
4.3 <i>Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques</i>	22
4.4 <i>Défaut d'entretien</i>	23

5. Inspection détaillée	23
5.1 Organisation et déroulement	23
5.2 Relevé des défauts et désordres	25
5.3 Facteurs de risque de désordres	25
5.4 Prédiagnostic	26
5.5 Cotation IQOA	30
6. Diagnostic	30
6.1 Démarche générale	30
6.2 Du prédiagnostic au diagnostic	30
6.3 Techniques d'investigation	34
6.3.1 Suivi des déformations d'ensemble	34
6.3.2 Géométrie et nature des parements en béton armé	35
6.3.3 Géométrie des poteaux	35
6.3.4 Grands glissements	35
6.3.5 Sols	36
6.3.6 Nappe	37
6.4 Recalcul de l'ouvrage	37
7. Entretien et réparation	38
7.1 Entretien courant	38
7.2 Entretien spécialisé	38
7.3 Réparations	38
7.4 Ajout d'appuis supplémentaires	39
7.5 Ajout d'une butée supplémentaire	39
8. Bibliographie	39
ANNEXE I CATALOGUE DES DÉFAUTS ET DÉSDORDRES APPARENTS	43
ANNEXE II LES CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA	49
■ Annexes communes à tous les fascicules	53
ANNEXE A ÉLÉMENTS D'UN CAHIER DES CHARGES TYPE D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE (IDP) D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	55
ANNEXE B MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	59
ANNEXE C FICHE DE SYNTHÈSE IQOA	65

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

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

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

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

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

1. Description générale de chaque fascicule

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Au CHAPITRE 8 : une bibliographie.

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

2. Principe de la méthodologie de diagnostic

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

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

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

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

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

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

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

3. Cotation IQOA

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

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

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

RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX PAROIS COMPOSITES



1. Introduction

Le présent document s'applique aux parois composites dites Berlinoises ainsi qu'aux soutènements dont le mode d'exécution dérive de ce procédé original : parois « Parisienne », « Lutétienne », « Rennaise », « Micro-Berlinoise ».

Le procédé initial, largement utilisé lors de la reconstruction de Berlin, d'où son nom, constitue une alternative à la tranchée blindée traditionnelle. Il associe, de façon générale, des poteaux verticaux, des éléments de blindage installés entre les poteaux au fur et à mesure de l'excavation et éventuellement des tirants ou butons, si la stabilité le nécessite.

Ce document s'adresse aux gestionnaires et aux personnels chargés de l'inspection détaillée, du suivi et du diagnostic de ces ouvrages. Après un rappel des principes de fonctionnement de la structure, de son domaine d'emploi, de ses éléments constitutifs et des principales causes des défauts et désordres pouvant l'affecter, le document propose une méthodologie de diagnostic de l'état des ouvrages. Ce diagnostic est mené de façon progressive, en partant de l'analyse des désordres observés sur l'ouvrage et des facteurs de risque de désordres auxquels il est exposé et en faisant appel à des moyens d'investigation complémentaires le cas échéant. En annexe II figure une présentation des critères permettant d'aboutir à une cotation IQOA de l'ouvrage.

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

2.1 Principe de fonctionnement

Les ouvrages de ce type associent :

- des éléments verticaux, plus ou moins rigides et espacés, généralement scellés dans des forages sous le niveau général de terrassement,

- des panneaux réalisés entre les éléments verticaux au fur et à mesure des phases d'excavation.

La stabilité de l'ouvrage est assurée par la fiche des éléments verticaux auxquels sont souvent associés des dispositifs d'appui (tirants, clous ou butons) mis en place à l'avancement (Fig. 1).

Remarque : Les parois clouées proprement dites font l'objet d'un fascicule intitulé : « Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des parois clouées ».

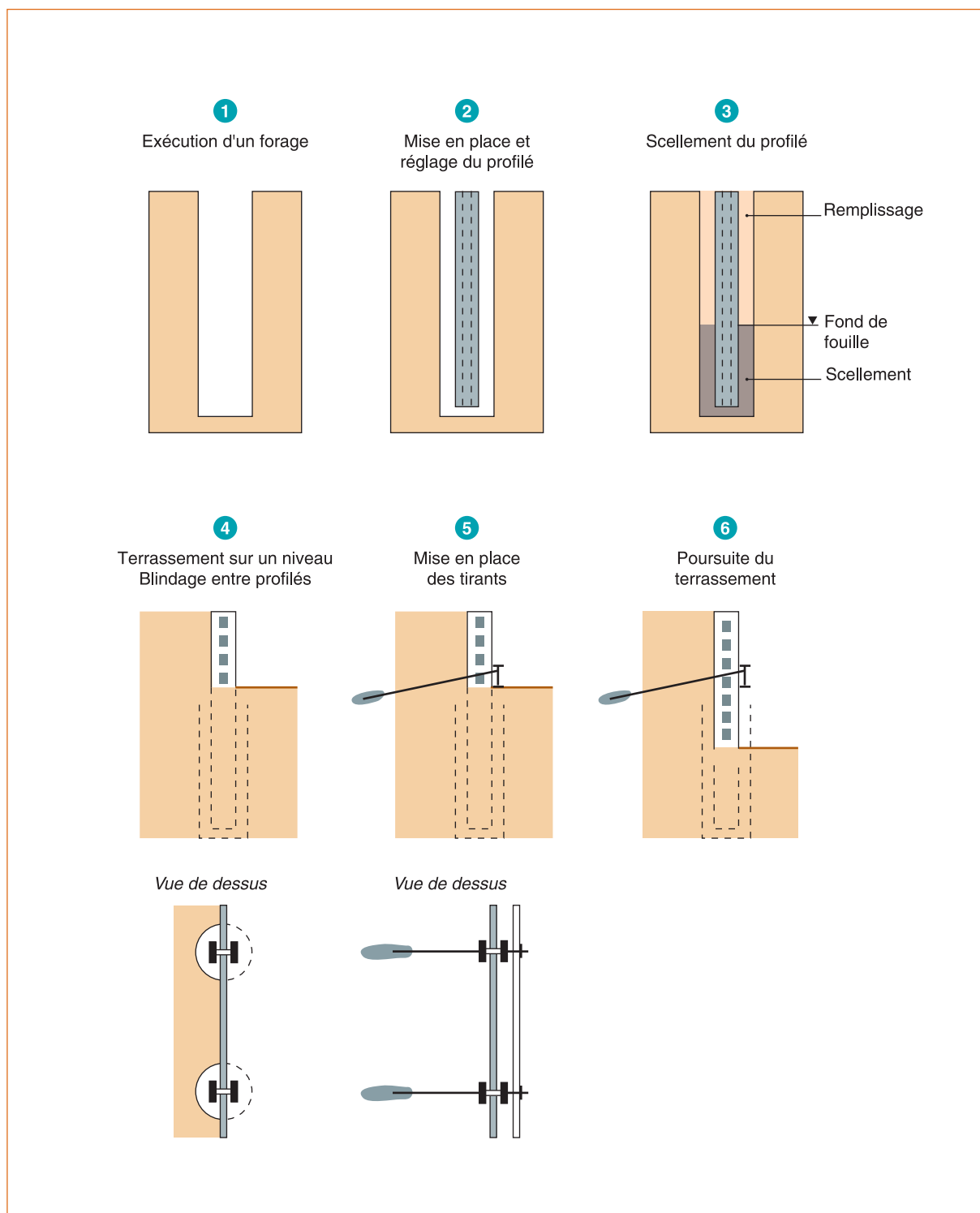


FIGURE 1 - Schéma d'exécution d'une paroi « Berlinoise ».

Lors des phases d'excavation, la stabilité locale de la fouille, dans sa partie non revêtue, est assurée par la mobilisation d'un effet de voûte entre les éléments les plus rigides :

- en plan, entre les éléments verticaux ;
- en élévation, entre le sommet et le pied de la nouvelle partie excavée.

La mobilisation de tels arcs de décharge entre les éléments résistants est analogue à celle mise en jeu dans un massif cloué.

En phase définitive, les panneaux sont soumis à des efforts de poussée des terres et les reportent vers les éléments verticaux. Le comportement d'ensemble s'apparente alors davantage à celui d'écrans continus.

2.2 *Domaine d'emploi*

Les parois Berlinoises et dérivées, qui présentent l'intérêt d'être économiques par rapport aux écrans continus (palplanches ou parois moulées), sont utilisées en soutènement de déblai moyennant les deux conditions suivantes :

- absence de nappe phréatique, ou mise en œuvre d'un rabattement préalable ;
- cohésion du sol suffisante à court terme pour prévenir en phase travaux le risque d'éboulements ou de hors-profils importants entre deux éléments de soutènement verticaux.

Ces conditions sont analogues à celles requises pour les clouages, dont le domaine d'emploi est assez proche. Toutefois, le risque associé et la sensibilité aux variations de caractéristiques de sols sont inférieurs compte tenu de :

- la réalisation préalable des éléments verticaux, qui permettent la mobilisation dans le terrain non revêtu de voûtes non seulement verticales (entre le fond de fouille et la partie du blindage déjà réalisée), mais encore horizontales (entre les poteaux) ;
- l'existence d'une fiche sous le niveau de fond de fouille, qui élimine le risque de rupture par glissement vertical du soutènement.

De façon générale, les poteaux peuvent, en partie ou en totalité, être intégrés aux fondations des superstructures.

On trouvera une limitation d'emploi dans la souplesse relative des poteaux, ainsi que dans la déformabilité du matériau de remplissage des forages, pouvant être à l'origine de déformations excessives du massif soutenu lors de phases d'excavation. Ces limitations peuvent également résulter de contraintes d'exécution des poteaux : présence de gros éléments, problèmes de verticalité pour des poteaux de grande longueur, par exemple.

De nombreux développements technologiques ont vu le jour depuis l'origine du procédé, permettant une meilleure prise en compte de difficultés techniques ou architecturales. Les variantes du procédé sont décrits au chapitre 3, où l'on mentionne leurs domaines d'utilisation privilégiés.

Comme leur nom le suggère, ces ouvrages ont un domaine d'emploi privilégié en site urbain (tranchées couvertes, trémies). En aménagement routier courant, de tels ouvrages sont mis en œuvre en élargissement de plate-forme en déblai, ou lors de la réalisation de trémies. La figure 2 montre, ce qui n'est pas toujours le cas, un exemple de paroi Berlinoise dont la structure reste visible après travaux.

L'emploi de parois composites est également fréquent pour la réparation de glissement de talus, en alternative à des palplanches, car elles présentent l'avantage sans adaptation particulière de ne pas faire obstacle à l'écoulement des eaux souterraines.

FIGURE 2 - *Vue générale d'une paroi Berlinoise à Saint-Ouen.*



3. Description de l'ouvrage

3.1 Structure

3.1.1 Description générale

Les différents types de parois composites, analogues dans leur fonctionnement, diffèrent par la technologie de leurs éléments constitutifs.

Le tableau I ci-contre présente les caractéristiques spécifiques aux ouvrages les plus fréquemment rencontrés et indique sommairement leurs domaines d'emploi.

3.1.2 Paroi Berlinoise

◆ Les éléments verticaux

La réalisation de ces éléments comporte les phases suivantes :

exécution d'un forage au moyen d'outils adaptés aux sols rencontrés (tarière, forage à sec, forage sous boue, etc.). L'entraxe est généralement compris entre 1 et 3 m, le diamètre ne dépassant généralement pas 1 m. Les poteaux peuvent être également mis en œuvre par battage ou vibro-fonçage. Dans ce cas, les opérations citées ci-après sont sans objet ;

pose d'un profilé métallique en respectant une tolérance de verticalité suffisante (de 0,5 % à 1 %) (Fig. 3). Au-delà d'une certaine longueur (de l'ordre de 15 m), il est nécessaire de rabouter les profilés par entures sur le chantier. Le poids des éléments, plus important, complique alors la pose et nécessite de gros moyens de manutention. D'autre part peuvent se poser des problèmes de rigidité avec pour conséquence la nécessité de mettre en œuvre un nombre plus important de points d'ancrage ;

mise en place d'un béton, d'un mortier ou d'un coulis de scellement, soit sur toute la hauteur, soit sur la seule partie en fiche. Dans ce dernier cas, le remplissage sur la hauteur dégagée lors de l'excavation doit se faire avec un matériau sur lequel les poteaux peuvent mobiliser un appui important.

En cas de problème de tenue des parois de forage, il peut être envisagé de réaliser le bétonnage, puis de mettre en place le profilé métallique aussitôt après. Ce mode d'exécution rend cependant plus difficile le respect des tolérances de verticalité.

TABLEAU I

LES DIFFÉRENTS TYPES DE PAROIS COMPOSITES ET LEURS CARACTÉRISTIQUES USUELLES

	Paroi Berlinoise	Paroi Micro-berloise	Paroi Parisienne	Paroi Lutétienne	Paroi Rennaise
Structure des poteaux	Profilés métalliques	Profilés métalliques	Poteaux béton armé préfabriqués	Pieux béton armé réalisés en place	Pieux béton armé réalisés en place
Forage	$\phi > 600$ mm	$\phi < 250$ mm	$\phi > 600$ mm	$\phi > 400$ mm	$\phi > 400$ mm
Vibro-fonçage ou battage	oui	oui	oui	non	non
Parement	Béton projeté ou coffré, plaques préfabriquées en béton, métal	Idem Berlinoise	Béton projeté ou coffré, plaques préfabriquées en béton	Béton projeté ou coffré	Rien ou béton projeté
Éléments de stabilité	- autostable*, - tirants, - butons	Idem Berlinoise	Idem Berlinoise	Idem Berlinoise	Idem Berlinoise
Domaine d'emploi	Ouvrages provisoires ou définitifs, hauteur des poteaux < 15 m**	Idem Berlinoise, petits ouvrages**	Idem Berlinoise**	Idem Berlinoise mais possibilité de profondeurs plus importantes**	Idem Berlinoise, sol présentant une cohésion à long terme**
Inconvénient	Mal adaptée aux fouilles de très grandes profondeurs	Réservée aux fouilles de faibles profondeurs	Idem Berlinoise	Pas d'inconvénient majeur	Limitation liée à la nature du sol

* Les ouvrages définitifs comportent le plus souvent des éléments de stabilité.

** Pour des hauteurs de soutènement > 15 m, des dispositions constructives spécifiques doivent être envisagées pour garantir la verticalité dans les tolérances habituelles.



FIGURE 3 - Forage et mise en place des profilés métalliques.

◆ Le parement

Cas du béton projeté

La hauteur des passes d'exécution, à moduler en fonction de la tenue des terrains et éventuellement des circulations d'eau, varie généralement entre 1 et 3 m.

Au fur et à mesure du terrassement, à chaque passe, une ou deux nappes de treillis soudé sont posées entre les profilés puis sont réalisés les panneaux en béton projeté ou coffré, généralement sur une épaisseur de l'ordre de 20 à 30 cm (Fig. 4).

Ce premier parement peut lui-même être recouvert par un parement de finition en béton projeté taloché, ou en béton banché. Pour une meilleure étanchéité au niveau du raccordement des panneaux avec les profilés métalliques, il est possible de mettre en place, à l'intérieur des âmes de ces derniers, des cordons de bentonite.

En présence de venues d'eau imprévues, il peut être nécessaire de projeter un gel de silicate sur le parement de l'excavation, au moment de la mise en œuvre du béton projeté.

Le dispositif de drainage, constitué au minimum de barbacanes associées à des nappes drainantes, est indispensable et à adapter au contexte hydrogéologique.

Cas du béton coffré

Le parement en béton coffré n'est envisageable que dans les terrains nettement cohésifs pour lesquels les risques d'éboulement sont faibles. Les éléments de coffrage, qui s'appuient sur les poteaux, peuvent être enlevés après un délai de prise de trois à quatre jours.

Cas des éléments en béton préfabriqués

Ce type de technique a déjà été mise en œuvre dans des terrains limono-argileux présentant une bonne cohésion. Le terrassement du parement de la fouille nécessite un soin particulier de façon à ne pas décompresser le sol. En toute hypothèse, il est préférable de ne retenir cette solution qu'à une certaine distance d'ouvrages ou d'immeubles sensibles.

◆ Les appuis

Les appuis peuvent être de types divers :

- tirants d'ancrage actifs ou passifs,
- clous,
- butons.

Les efforts d'appui sont répartis sur les poteaux au moyen de liernes, continues ou non.

On pourra se reporter utilement aux fascicules relatifs aux palplanches et aux poutres et voiles ancrés, qui décrivent plus en détail les technologies des tirants actifs et passifs.

Les règles de l'art relatives aux tirants d'ancrage sont actuellement codifiées dans le document TA 95 (norme NF P 94-321).

Les règles de l'art concernant le clouage font l'objet des recommandations Clouterre.

3.1.3 Paroi Micro-berlinoise

Il s'agit d'une paroi Berlinoise dont les éléments verticaux sont constitués par des micro- pieux. Les forages ont le plus souvent un entraxe voisin de 1 m, et sont réalisés avec un atelier léger permettant une foration en un diamètre maximum de 250 mm.

Les armatures, de type profilés métalliques ou tubulaires, sont mises en œuvre et scellées selon les mêmes techniques que celles utilisées pour les berlinoises.

3.1.4 Paroi Parisienne

Les éléments verticaux sont constitués, non plus par des profilés métalliques, mais par des poteaux en béton armé préfabriqués mis en place dans un forage rempli d'un coulis bentonite-ciment. Dans certains sols, il est également possible de les vibrofoncer ou de les battre.

La tolérance de verticalité est analogue à celle requise pour les Berlinoises : 0,5 à 1 %.

Les poteaux peuvent être rainurés ou équipés d'armatures en attente sur lesquelles s'ancrent les panneaux. Des réservations sont généralement prévues pour des tirants.

L'intérêt de cette variante est de conférer à l'ouvrage une plus grande rigidité que celle qui lui est donnée par de simples profilés métalliques. Par ailleurs, l'ouvrage est moins sujet à la corrosion que dans le cas d'emploi de simples profilés métalliques.

Le parement est le plus souvent constitué de béton projeté.

Les difficultés de cette technique résident dans les problèmes de manutention limitant le poids et la longueur des poteaux. D'autre part, le positionnement des attentes doit être très précis.

Un exemple de ce type d'ouvrage est donné en figure 5.

3.1.5 Paroi Lutétienne

Il s'agit d'une évolution du procédé de la paroi Parisienne dans laquelle les poteaux préfabriqués en béton armé sont remplacés par des pieux exécutés en place dans des forages. Il n'y a donc pas les mêmes limitations géométriques que dans le cas précédent, les opérations de manutention s'en trouvant facilitées. Le parement est le plus souvent constitué de béton projeté.

Le domaine d'emploi est donc étendu au cas d'ouvrages nécessitant des pieux de grandes dimensions (fouilles profondes ou sols difficiles) avec les difficultés déjà citées concernant le positionnement d'aciers en attente.

La figure 6 montre un tel ouvrage en site urbain.

3.1.6 Paroi Rennaise

Ce soutènement constitue une variante de la paroi Lutétienne, pour les terrains de forte cohésion.

Il ne comporte que des pieux forés, distants les uns des autres.

Un cas extrême est constitué par un rideau de pieux sécants, solution qui peut être envisagée en présence d'une nappe phréatique.

La mise en œuvre d'un parement de finition en béton coulé en place ou rapporté reste évidemment possible.

FIGURE 4 - *Paroi Berlinoise en cours d'exécution.*



FIGURE 5 - *Paroi parisienne à Champ-sur-Marne.*

FIGURE 6 - *Paroi lutétienne.*



3.2 Zone d'influence

3.2.1 Les terrains associés

Plusieurs éléments du massif de sol sont directement associés à la structure. Ces éléments de massif sont constitués (Fig. 7a et b) :

par le coin de poussée du sol associé à l'écran, d'extension limitée à environ la moitié de la hauteur de celui-ci ;

plus généralement par une zone de terrain, en équilibre pseudo-élastique, confinée entre le prisme de poussée et le talus d'éboulement naturel du terrain ;

dans le cas des parois ancrées, il y a lieu de considérer l'équilibre global du prisme de terre englobant la paroi et la zone de scellement des tirants. Ce volume est directement lié à la position de la zone de scellement de l'ancrage par rapport à la paroi ;

devant l'écran, le terrain associé est celui qui participe à l'équilibre général des poteaux en tenant compte éventuellement de l'effet de groupe. Dans le cas de poteaux d'entraxe inférieur à trois diamètres, cas le plus défavorable, la distance à considérer sera de trois à cinq fois la fiche des poteaux sous le niveau du fond de terrassement.

Si le soutènement est construit dans un site potentiellement instable, la zone d'influence est celle du massif instable.

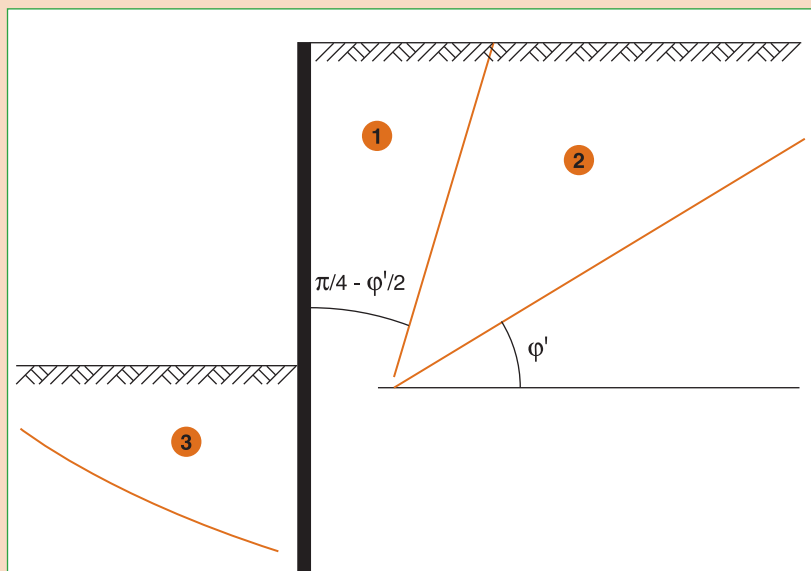


FIGURE 7

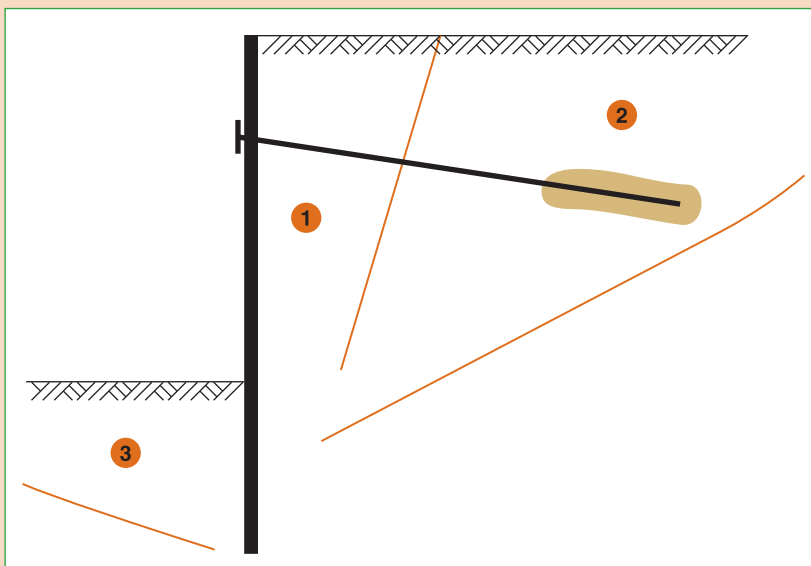
Parties du terrain associées à l'écran

a. Cas d'une paroi autostable

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.

3.2.2 La nappe

Les parois composites sont généralement construites en l'absence de nappe. Sauf exception, la présence d'eau n'est donc pas à considérer dans l'évaluation de la zone d'influence de l'ouvrage. Dans le cas contraire, elle sera à considérer suivant des modalités voisines de celles prises en compte pour les ouvrages en palplanches ou en paroi moulée (*cf.* les fascicules considérés).

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 rattachés.

Suivant leur mode de fixation à l'ouvrage, ils peuvent lui transmettre des efforts plus ou moins importants.

3.3.2 Fixation

Pendant très longtemps il n'y a pas eu de règle précise pour l'implantation et le mode de fixation de ces équipements sur les ouvrages. Leur utilisation relève maintenant d'un ensemble de normes, de textes d'homologation et de guides traitant de la conception et de la mise en œuvre.

On peut trouver divers types de fixation :

- soit directement à la paroi, par l'intermédiaire d'un profilé métallique lié à une poutre de couronnement en béton. Notons qu'une telle conception convient mieux pour des équipements légers ;

- soit à l'arrière du soutènement, bien désolidarisé de l'écran ; 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 sur une longrine directement posée sur la plate-forme et indépendante de la paroi ;

- soit sur une dalle de frottement coiffant la paroi, mais non fixée directement 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

Bien que l'emploi de parois composites soit en principe réservé, de préférence, à des terrains hors nappe, il reste nécessaire d'être très vigilant vis-à-vis des risques d'accumulation d'eau derrière l'écran. L'ouvrage peut, en effet, intercepter des circulations d'eau en provenance de remblais ou des couches géologiques très faiblement aquifères, mal identifiées lors des études géotechniques ou des travaux, si ceux-ci ont été réalisés en période favorable.

Ce type d'ouvrage comporte donc généralement un système de drainage parmi les suivants :

- barbacanes, judicieusement réparties sur la surface du parement, éventuellement associées à un tapis géosynthétique disposé en bandes verticales ou obliques, sur le parement de la fouille ;

- drains subhorizontaux, équipés de tubes crépinés, bien adaptés dans les terrains hétérogènes et de faible perméabilité. Ces drains peuvent être équipés de chaussettes géotextiles filtres, évitant une érosion interne des terrains ;

- tranchées périphériques captant les eaux superficielles, dérivées vers un exutoire situé, si possible, en dehors de la zone d'influence de l'ouvrage.

Dans ce dernier cas, on doit tout particulièrement veiller à ce que le dispositif, s'il était mal conçu ou mal entretenu, n'ait pas l'effet inverse de celui recherché en amenant les eaux vers l'ouvrage.

3.5 Dispositifs de suivi

Les systèmes de mesure couramment mis en place concernent :

les tirants, pour lesquels il est recommandé la pose de moyens de contrôle de la tension (cf. Recommandations TA 95) ;

les déplacements du parement, soit par visée optique (cf. paragraphe 6.3), soit par mesures inclinométriques.

4. Origine des défauts et désordres

4.1 Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage

- Choix de structure inadapté au regard des conditions d'exécution (nappe ou sols sans cohésion à court terme).
- Sous-estimation des charges d'exploitation.
- Sous-dimensionnement du parement, des poteaux ou des tirants par une mauvaise appréciation des caractéristiques du sol. La figure 8 montre un exemple de paroi Berlinoise apparue instable en cours de chantier et qui a dû être confortée par des butons.
- Efforts parasites non pris en compte (efforts verticaux induits dans les poteaux par les tirants, par exemple, interaction avec d'autres structures).
- Mauvaise conception des liaisons panneaux-poteaux et tirants-poteaux.
- Dispositif de drainage mal conçu ou oublié.
- Mauvaise prise en compte de la corrosion.



FIGURE 8 - Paroi Berlinoise instable, confortée en cours de travaux.

4.2 Mauvaise exécution

- Fourniture de produits non conformes sur le plan géométrique ou mécanique.
- Défauts d'exécution des poteaux :
 - mauvais phasage d'exécution,
 - défaut d'implantation ou de verticalité des poteaux,
 - mauvaise qualité ou défaut de mise en œuvre du béton (inclusion de sol ou de boue, délavage ou rupture du béton),
 - défaut d'enrobage des armatures ou des profilés métalliques,
 - matériau de scellement des poteaux dans les forages, ou de garnissage des forages (sur la hauteur excavée) insuffisamment rigide, ou mal mis en œuvre,
 - dégarnissage à l'arrière des poteaux lors des phases d'excavation (Fig. 9).
- Défauts d'exécution du parement :
 - éboulements du terrain avant la réalisation du parement,
 - confinement insuffisant du terrain, dans le cas où des éléments préfabriqués sont utilisés,
 - non respect des épaisseurs de béton projeté, résultant en particulier de défauts d'alignement ou de verticalité des poteaux,
 - nappes d'armatures mal positionnées ou non maintenues lors de la projection du béton,
 - absence de recouvrement des nappes de treillis soudé,
 - mauvaise mise en œuvre du béton projeté.
- Mauvaise liaison entre parement et poteaux :
 - défaut de positionnement des armatures en attente de poteaux.
- Défauts d'exécution des tirants :
 - scellement mal réalisé,
 - liaison mal exécutée entre tirants et liernes ou tirants et poteaux (défaut de blocage des armatures des tirants),
 - défaut dans la protection des tirants.
- Défauts d'exécution du dispositif de drainage :
 - oubli ou choix d'un tapis géosynthétique aux caractéristiques inadaptées,
 - non exécution ou nombre insuffisant de barbacanes ou de drains subhorizontaux,
 - absence de filtres sur la partie crépinée des barbacanes,
 - non raccordement des dispositifs drainants à un exutoire.

4.3 Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques

- Surcharges excessives à proximité de la tête de la paroi (écrans acoustiques, rapporté en tête d'ouvrage, par exemple).
- Excavation en pied de l'ouvrage (tranchée, ou élargissement de la voirie).
- Chocs de véhicules (Fig. 10).
- Érosion interne.
- Ambiance agressive : effet des sels de déverglaçage ou de la présence de sols pollués.
- Corrosion de l'acier ou dégradation du béton en raison de l'agressivité du milieu, d'un mauvais choix de matériau, ou d'une protection inefficace.



FIGURE 9 - Hors-profil importants lors de l'excavation.



FIGURE 10 - Tête de tirant détériorée par un choc de camion.

4.4 Défaut d'entretien

- Mauvaise réfection de l'étanchéité des têtes après intervention (visite périodique, mesure de la tension).
- Défaut d'entretien des dispositifs de drainage et d'assainissement.
- Défaut d'entretien des systèmes de protection contre la corrosion (poteaux métalliques, capots des têtes d'ancrage).
- Défaut d'entretien du parement.
- Défaut d'entretien des barbacanes.

5. Inspection détaillée

5.1 Organisation et déroulement

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

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

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

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

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

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

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

- de disposer de fonds de plans pour les relevés des défauts et désordres ;

- de faire le point sur les parties de l'ouvrage accessibles ou non (têtes de 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 examiner en particulier les pièces suivantes :

- les constats faits pendant l'exécution des travaux et notamment les difficultés d'exécution reconnues (mise en œuvre des palplanches, exécution des tirants, 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, mesure 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 procès-verbal détaillé, selon le modèle joint en annexe B.

Ce procès-verbal fournit un prédiagnostic de l'état de la paroi qui s'appuie sur le relevé des défauts et désordres 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 (étais, par exemple) ;

- les investigations complémentaires (sondages, mesures, analyses de matériaux, etc.) ou recalculs éventuels nécessaires à l'établissement d'un diagnostic de l'état de la structure et à l'étude des solutions de remise à niveau de l'ouvrage (entretien spécialisé, réparation, renforcement) ;

- s'il y a lieu, les propositions d'un suivi spécifique, d'une surveillance renforcée ou d'une haute surveillance.

Dans le cas où un diagnostic fiable peut être directement établi sans 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 le bon état des dispositifs de suivi éventuellement existant sur l'ouvrage, de procéder aux mesures simples correspondantes et de programmer les relevés des mesures nécessitant des moyens et matériels plus importants.

5.3 Facteurs de risque de désordres

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

Les facteurs de risque sont pour l'essentiel les suivants :

Facteurs de risque de désordres liés à l'environnement

■ Le site

- ouvrage implanté sur pente, en limite de stabilité ;
- structure géologique défavorable ;
- ouvrage en zone sismique ;
- zone inondable ;
- ouvrage situé en zone de ravinement.

■ Le sol

- sols agressifs (composition chimique, hétérogénéité, conductivité, pH, présence de sels solubles, de matières organiques ou de micro-organismes) ;
- sols évolutifs (tassements, déformation, évolution de la résistance) ;
- sols ayant pu conduire à des difficultés de mise en œuvre et à l'utilisation de moyens spécifiques pour la réalisation des poteaux ainsi que pour le forage et le scellement des tirants (blocs, éboulis, poche de dissolution).

■ **L'eau**

eaux agressives (eaux douces, eaux saumâtres, eaux séléniteuses, eaux magnésiennes) ;
présence d'une nappe ou de niveaux aquifères (phénomène aggravé lorsque la nappe présente des fluctuations significatives) (Fig. 11) ;
drainage insuffisant ou inexistant.

■ **L'atmosphère**

atmosphère marine, pollution industrielle.

■ **Les conditions climatiques**

gel

■ **Les conditions d'exploitation des ouvrages et du site**

utilisation importante de sels de déverglacement ;
présence de courants vagabonds (proximité de lignes SNCF notamment) ;
sollicitations (surcharges en tête, chocs, etc.) ;
ouverture de fouilles en pied d'ouvrage ;
constructions rapprochées d'autres infrastructures en interaction avec le sous-sol (écrans anti-bruit, par exemple) ;
présence de conduite d'assainissement dont les fuites peuvent entraîner des poussées hydrostatiques trop fortes,
présence d'arbustes ou d'arbres à proximité immédiate de la tête ou du pied de l'ouvrage.

Facteurs de risque liés aux caractéristiques de l'ouvrage

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

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

■ **Protection insuffisante des poteaux métalliques, enrobage insuffisant des aciers** (Fig. 12).

■ **Difficultés reconnues lors de l'exécution de l'ouvrage** (scellement des tirants, réalisation des poteaux).

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

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

5.4 Prédiagnostic

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



FIGURE 11 - Drains subhorizontaux.
Écoulement en parement.



FIGURE 12 - Poteaux préfabriqués.
Aciers apparents.

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

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

Pour les plus conséquentes, les hypothèses pouvant être formulées au stade du prédiagnostic sont les suivantes (liste non-exhaustive, Fig. 13) :

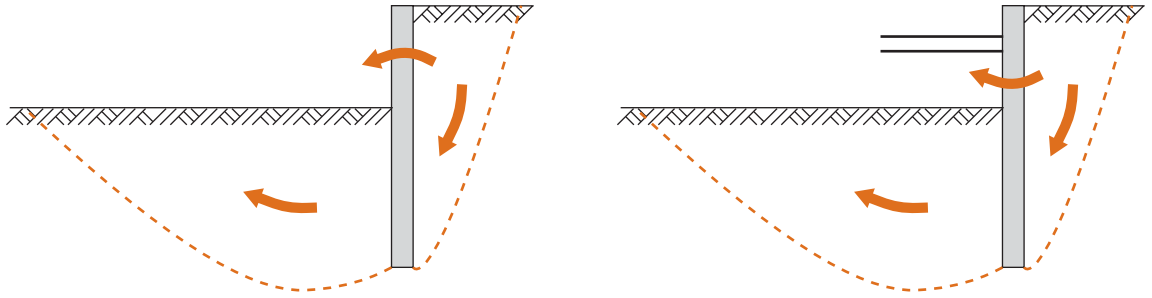
Cas communs à l'ensemble des parois composites

- Insuffisance de fiche et/ou insuffisance de butée/contre-butée.
- Sous-dimensionnement du parement.
- Sous-dimensionnement des poteaux.
- Rigidité en plan insuffisante.
- Grand glissement.

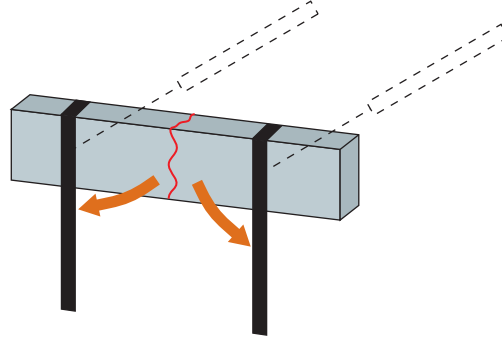
Cas des parois composites ancrées

- Rupture ou risque de rupture de tirants.
- Défaillance du massif d'ancrage.

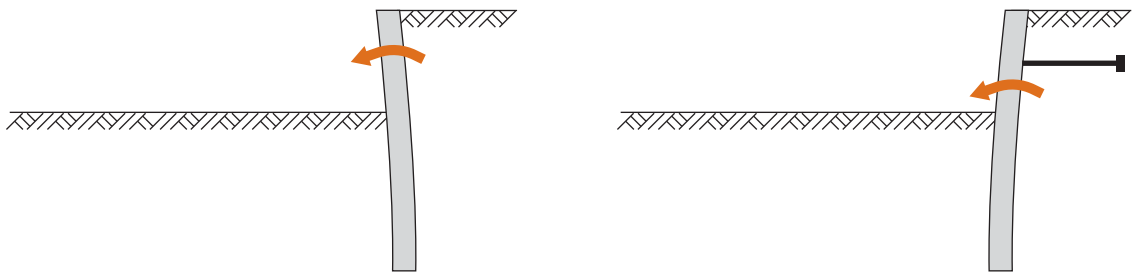
Insuffisance de la fiche et/ou insuffisance de butée



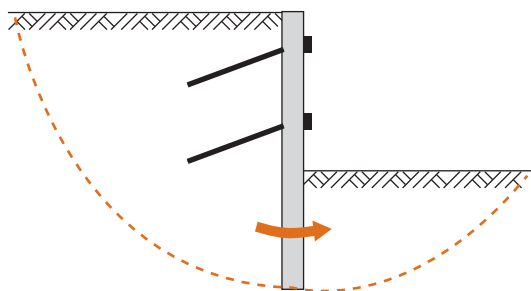
Insuffisance de rigidité en plan



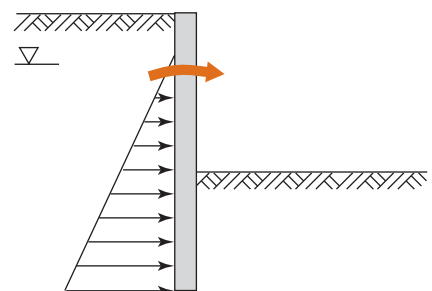
Sous-dimensionnement des poteaux



Grand glissement



Défaillance du système de drainage



Rupture de tirant

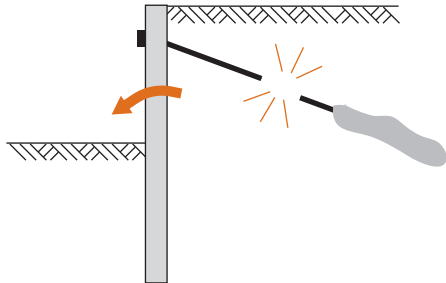
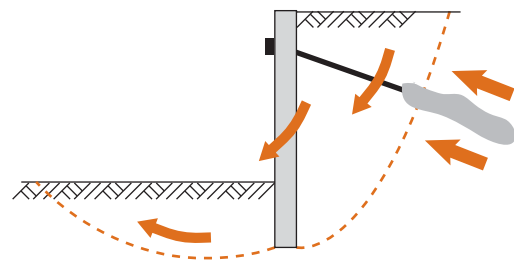
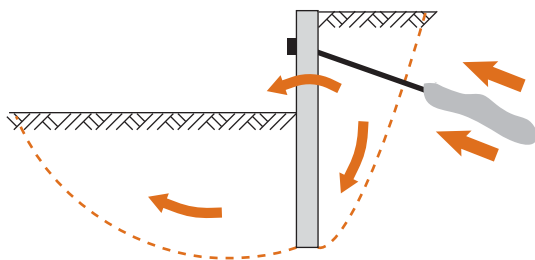


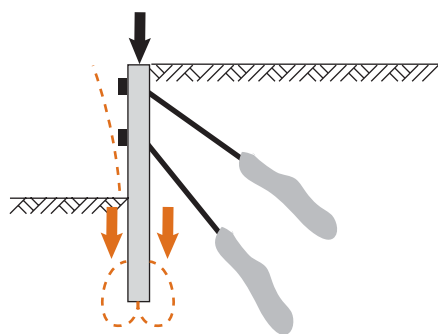
FIGURE 13

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

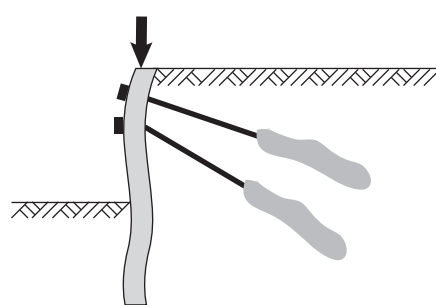
Défaillance du massif d'ancrage ou du scellement et du terrain associé



Insuffisance de capacité portante



Flambement



Cas des ouvrages avec efforts verticaux en tête

Capacité portante du sol insuffisante.

Flambement.

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

C'est le cas par exemple de l'insuffisance de fiche due à un affouillement généralisé ou encore d'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 sur le niveau de service et la stabilité de l'ouvrage.

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

La démarche qui permet, à partir de l'inspection détaillée, d'aboutir à un diagnostic de l'ouvrage est décrite par le synoptique présenté sur la figure 14.

Une fois le diagnostic établi, la classe IQOA de la paroi 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.

6.2 Du prédiagnostic au diagnostic

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

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

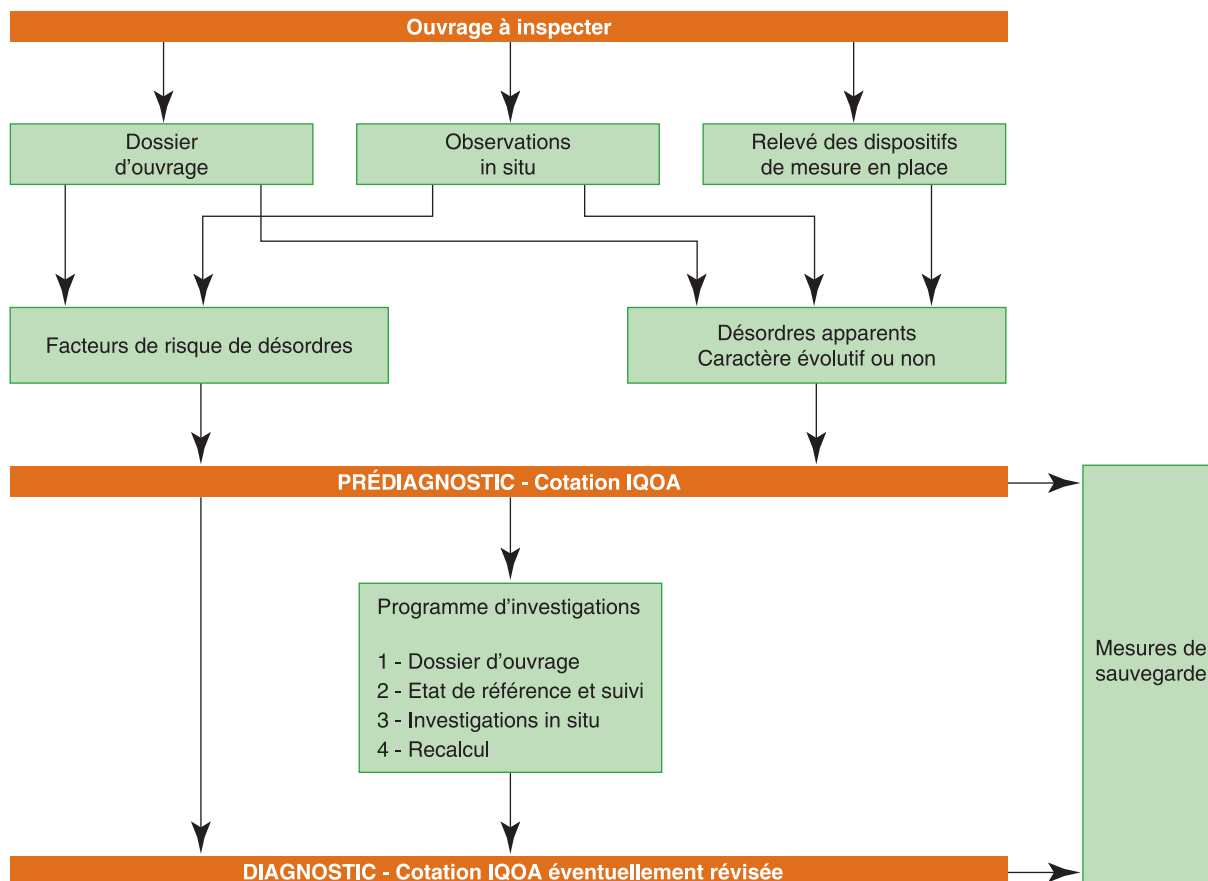


FIGURE 14 - Démarche de diagnostic.

codification des défauts et désordres faisant référence à la numérotation qui figure dans le catalogue de l'annexe I. Sont ensuite présentés, dans chaque cas, les moyens à mettre en œuvre pour aboutir au diagnostic, dans l'ordre *a priori* graduel d'intervention. Dans la pratique, il faudra souvent envisager plusieurs hypothèses. La mise en œuvre des moyens d'investigation et de surveillance devra alors faire l'objet d'une démarche globale pour examiner au mieux l'ensemble des hypothèses envisagées.

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

Cette démarche de diagnostic comporte le plus souvent plusieurs étapes :

- Recherche dans le dossier d'ouvrage des éléments pertinents par rapport à l'hypothèse envisagée en prédiagnostic.
- Relevé de mesures sur l'ouvrage. Dans ce contexte, la surveillance topométrique périodique des déformations 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 II**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
CAS COMMUNS À L'ENSEMBLE DES PAROIS COMPOSITES			
Insuffisance de fiche des poteaux	Défauts et désordres de type : S1 / S3 / S4 / Z1 / Z2 / Z3 / Z8 / Z10	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 . canalisations en tête	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 (sondages et essais géophysiques) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (pose de piézomètres) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul
Insuffisance de dimensionnement du parement (épaisseur-aciers)	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S6 / Z2 / Z3 / Z7	Facteurs de risque de désordres éventuels : . ouvrages de grande hauteur . présence d'une nappe . évolution des sollicitations . présence de canalisations en tête	1 - Dossier OA : . caractéristiques géométriques . vérification sommaire du dimensionnement, hypothèses de calcul 2 - État de référence et suivi de la déformée . suivi de fissuration 3 - Investigations <i>in situ</i> : . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (pose de piézomètre) 4 - Recalcul
Insuffisance de dimensionnement des poteaux (épaisseurs-aciers)	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S6 / Z1 / Z2 / Z7	Facteurs de risque de désordres éventuels : . ouvrages de grande hauteur . présence d'une nappe . évolution des sollicitations . présence de canalisations en tête . construction rapprochée d'autres infrastructures	1 - Dossier OA : . caractéristiques géométriques, vérification sommaire du dimensionnement, hypothèses de calcul 2 - État de référence et suivi de la déformée . suivi de fissuration 3 - Investigations <i>in situ</i> : . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (pose de piézomètre) 4 - Recalcul
Rigidité en plan insuffisante	Défauts et désordres de type : S5 / S6 / S7	Facteurs de risque de désordres éventuels : . ouvrages de grande hauteur . présence d'une nappe . évolution des sollicitations . présence de canalisations en tête	1 - Dossier OA : . analyse des dispositifs de rigidification horizontale 2 - État de référence et suivi de la déformée . suivi de fissuration 3 - Investigations <i>in situ</i> : . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (pose de piézomètre) 4 - Recalcul des liernes

TABLEAU II (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
---------------	-------------------------------	--	----------------------------

CAS COMMUNS À L'ENSEMBLE DES PAROIS COMPOSITES (suite)

Grand glissement	Défauts et désordres de type : S2 / S3 / S4 / Z1 / Z2 / Z4 / Z6 / Z8 / Z10 / Z12	Facteurs de risque de désordres éventuels : . ouvrage implanté sur pente . présence d'une nappe . sols évolutifs . structure géologique défavorable	1 - Dossier OA : . vérification sommaire du calcul de stabilité 2 - État de référence et suivi : . déplacements de l'ouvrage (suivi inclinométrique et topométrique) . suivi de la nappe (suivi piézométrique) . déformations du terrain (fissures, bourrelets, etc.) 3 - Investigations <i>in situ</i> : . hypothèses géotechniques (sondages et essais) 4 - Recalcul : . stabilité au grand glissement
-------------------------	---	---	---

CAS DES PAROIS COMPOSITES ANCRÉES

Rupture des tirants	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S6 / Z1 / Z2 / Z8 / Z10	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens . site aquatique (marnage)	1 - Dossier OA : . configuration des tirants (nuance d'acier, usinage, assemblage, etc.) et modalités de mise en œuvre . contexte géotechnique . facteurs de risque 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 : . validation de la rupture (pesage des tirants, mesures ultra-sons, fouilles) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . caractérisation physico-chimique du site . suivi de la nappe (piézométrique) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul : pronostic sur l'évolution
Risque de rupture des tirants	Absence de défauts et désordres apparents Défauts et désordres de type : S10 / S11	Facteurs de risque de désordres identifiés* : . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens . site aquatique (marnage) Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens . site aquatique (marnage)	1 - Dossier OA . configuration des tirants (nuance d'acier, usinage, assemblage, etc.) et modalités de mise en œuvre . contexte géotechnique . 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 : . pesage des tirants ; fouilles . hypothèses géotechniques . caractérisation physico-chimique du site . nature et état de la protection anticorrosion . suivi de la nappe (piézométrique) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul

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

TABLEAU II (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
---------------	-------------------------------	--	----------------------------

CAS DES PAROIS COMPOSITES ANCRÉES (suite)

Rupture ou fluage du massif de scellement	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / Z1 / Z2 / Z4 / Z6 / Z8 / Z10	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols argileux . nappe	1 - Dossier OA : contexte géotechnique . vérification sommaire du dimensionnement de l'OA . difficultés rencontrées à l'exécution des tirants 2 - État de référence et suivi : . déplacements de la structure . déformation, fissuration du terrain . déformations du terrain (fissures, bourrelets, etc.) 3 - Investigations : . pesage . fouille . caractéristiques des sols (hypothèses géotechniques) 4 - Recalcul
--	--	---	---

CAS DES OUVRAGES SOUMIS À DES EFFORTS VERTICAUX EN TÊTE

Insuffisance de capacité portante par : . surestimation des caractéristiques du sol, . fiche ou section des poteaux insuffisantes . 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 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

6.3.1 Suivi des déformations d'ensemble

Les déformations de l'ouvrage dans le temps peuvent être suivies en utilisant des tachéomètres laser. Après avoir effectué un relevé initial en X, Y, Z de la géométrie de l'ouvrage, on revient à intervalles de temps réguliers reprendre la position de points connus. Ces points peuvent être simplement « marqués » de façon indélébile sur l'ouvrage ou l'on peut fixer aux endroits à surveiller des prismes optiques (les résultats ainsi obtenus sont plus précis - précision du millimètre, voir du 1/10e de millimètre). Cette méthode est simple de mise en œuvre, et permet de connaître les déplacements de l'ouvrage dans l'espace.

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

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

6.3.2 Géométrie et nature des parements en béton armé

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

Si l'on veut contrôler la position et le type des armatures, il est possible d'utiliser une méthode de type Pachomètre. Il est dans tous les cas nécessaire d'ouvrir une fenêtre dans le parement pour contrôler les résultats de ce type de mesure.

Si le parement présente des fissures, on peut poser quelques fissuromètres pour apprécier l'influence des variations climatiques et identifier une éventuelle anomalie susceptible de nécessiter un renforcement du parement.

En cas de dépôts de calcite importants, ou coulures de rouille le long de ces fissures, on peut nettoyer ces fissures pour observer leur reconstitution.

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

6.3.3 Géométrie des poteaux

La détermination de la longueur des poteaux peut être envisagée par la méthode non destructive utilisée pour les contrôles de pieux : de type impédance. L'interprétation peut être rendue assez difficile du fait des perturbations apportées par la constitution des pieux ou du parement.

Plus traditionnellement, on pourra procéder par sondages destructifs ou par carottage, sous réserve que ces opérations ne risquent pas d'endommager des éléments de rigidification (tirants, par exemple).

Une méthode actuellement utilisée pour déterminer la fiche de palplanches, et qui peut être reprise pour des éléments verticaux isolés, consiste à introduire dans un tube foré devant un poteau un capteur tridirectionnel constitué de trois géophones, puis à frapper avec une masse le haut du poteau. En déplaçant le capteur dans le tube, il est possible de déterminer la longueur du poteau avec une précision de 0,50 m.

6.3.4 Grands glissements

La détection de pathologies d'une paroi en relation avec un grand glissement nécessite la mise en œuvre des méthodes d'analyse propres à ce type de manifestation. L'analyse inclura un suivi topographique, ainsi que des mesures inclinométriques pour déterminer la géométrie du glissement.

Pour ces dernières, la méthode consiste à introduire dans un tube une sonde inclinométrique et à mesurer l'angle que fait, à une profondeur donnée, l'axe de l'élément du tube guide avec la verticale (la résolution est de l'ordre de 10^{-4} radian).

La détermination de la déformée du tube à un instant donné se fait par intégration à partir d'une zone fixe en partie basse du tube (Fig. 15).

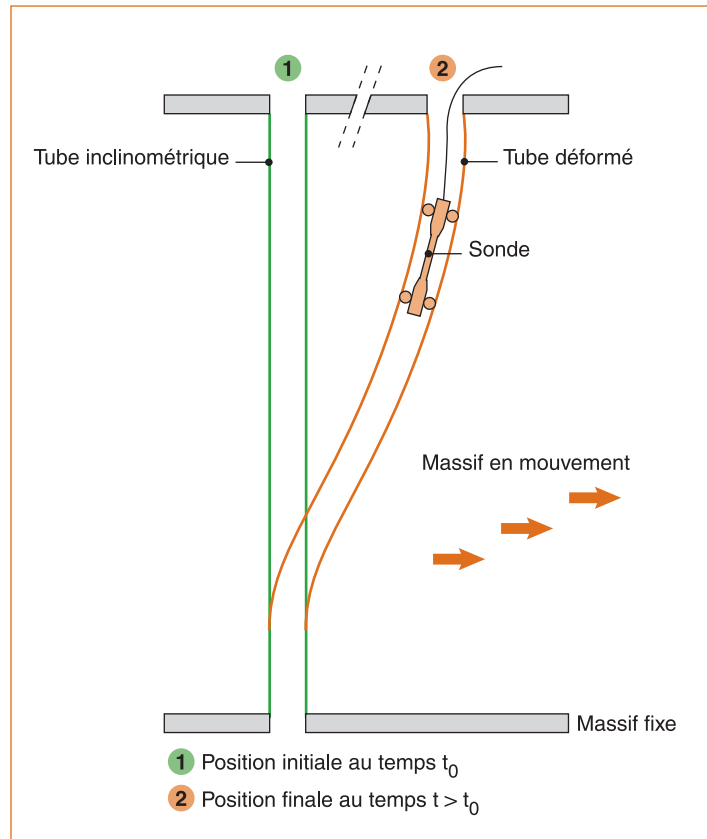


FIGURE 15 - Schéma de principe de la mesure par tube inclinométrique dans un massif de sol en mouvement.

6.3.5 Sols

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

Les coefficients de poussée/butée sont déterminés à partir d'essais de cisaillement en laboratoire sur carottes de sol. Ces essais, réalisés à la boîte de cisaillement ou à l'appareil triaxial, permettent de mesurer les paramètres c (cohésion du sol) et φ (angle de frottement interne du sol).

La capacité portante des poteaux et les coefficients de réaction latérale sont évalués, le plus souvent, à partir de l'essai pressiométrique. Il s'agit d'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 module de réaction.

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).

6.3.6 Nappe

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

Dans le cas où les terrains sont perméables, les piézomètres sont en général constitués d'un tube en PVC (diamètre 50 mm environ) mis en place dans un forage (Fig. 16). La partie du tube située au niveau de mesure est crépinée, et un bouchon d'argile posé dans le forage, au-dessus de la partie crépinée, vient empêcher les arrivées d'eau par le haut. La tête du tube est fermée par un bouchon, et maintenue par un scellement. Pour les mesures de la charge hydraulique, on vient simplement mesurer le niveau atteint dans le tube au moyen d'une sonde.

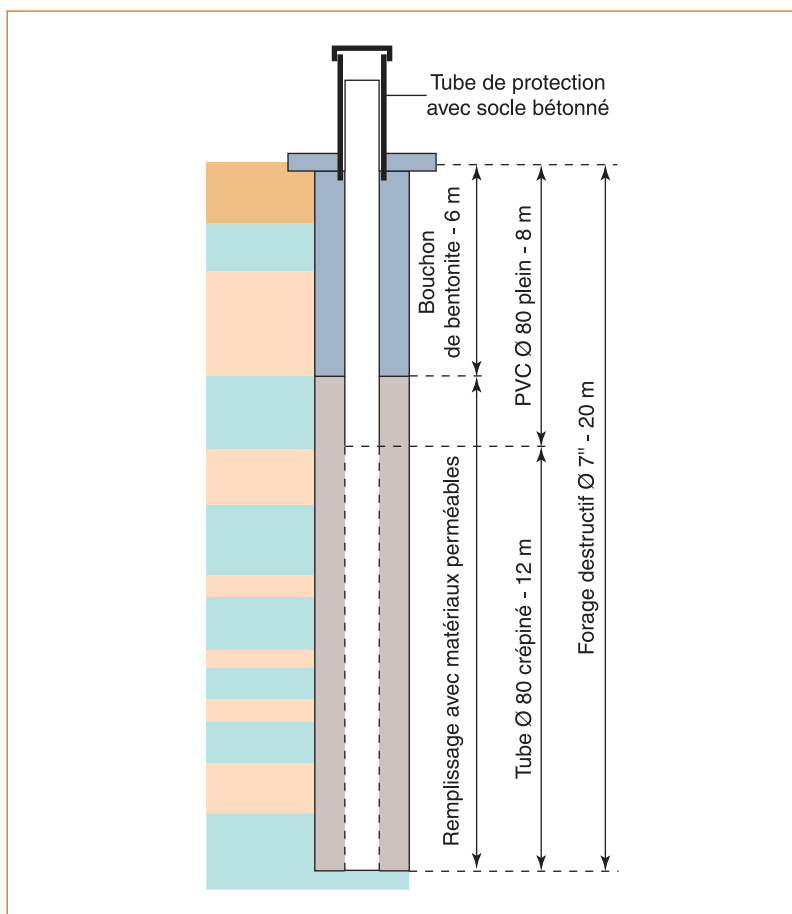


FIGURE 16 - Exemple de piézomètre (tube ouvert).

Il peut s'avérer nécessaire de prévoir des piézomètres crépinés dans des horizons sièges 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 piézomètre ci-dessus à niveau d'eau libre est inefficace. On doit alors mettre en place des sondes de pression interstitielle de technologie et de pose plus délicates.

6.4 Recalcul de l'ouvrage

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

7. Entretien et réparation*

7.1 Entretien courant

L'entretien courant des parois composites comporte les opérations suivantes :

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

7.2 Entretien spécialisé

L'entretien spécialisé porte sur le béton du parement et sur les têtes d'ancrage des tirants. Pour les têtes de tirants, l'étanchéité doit être assurée dans les meilleures conditions possibles. On devra, le cas échéant, envisager le démontage des capots et l'injection de graisse ou résine adaptée, éventuellement le remplacement des capots. La vérification de l'état de fonctionnement des appareils de mesurage de la tension fait partie de l'entretien.

7.3 Réparations

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

Les principales réparations se classent comme suit :

◆ Réparations du parement

- traitement des fissures (> 0,5 mm) ;
- pose (exceptionnelle) d'armatures complémentaires dans des saignées profondes réalisées à la lance hydraulique à haute pression, ou pose de bandes de tissu de fibre de carbone ;
- attaque à la lance hydraulique à haute pression et projection d'un mortier performant.

◆ Réparations du système de drainage

- réalisation de barbacanes ou drains supplémentaires ;
- amélioration du système d'assainissement ou de drainage de la paroi.

◆ Réparations des poteaux

- renforcement de la capacité portante par adjonction de micropieux ;
- réparation du fût par forages, mise en place d'acier HA scellés au coulis.

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

◆ **Réparations des joints entre panneaux**

Incorporation de coulis ou de colonnes de béton mis en œuvre côté terrain ; réparation depuis le parement après purge et nettoyage des interstices.

7.4 Ajout d'appuis supplémentaires

Ajout de tirants ou de clous.

7.5 Ajout d'une butée supplémentaire

Ajout de colonnes jointives si la structure du parement le permet.

8. Bibliographie**Normes**

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

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

NF A 05-251, Corrosion par les sols. Évaluation de la corrosivité. Ouvrages en acier enterrés (palplanches et pieux), mars **1990**.

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

NFA 37-101, Produits sidérurgiques. Profilés à froid obtenus sur machines à galets (A 37-101) (annulé le 17/10/1977), août **1965**.

NF A 37-101, Profilés formés à froid d'usage courant en acier (A 37-101), octobre **1977**.

NF A 40-001, Définition et classification des produits sidérurgiques proprement dits par formes et dimensions (annulé le 10/03/1982), mai **1969**.

NF A 40-001, Définition et classification des produits sidérurgiques proprement dits par formes et dimensions (annulé le 20/10/1984), mars **1982**.

NF A 40-001, Définition et classification des produits sidérurgiques proprement dits par formes et dimensions (annulé le 20/12/1992), octobre **1984**.

PR NF EN 10162, Profilés à froid. Conditions techniques de livraison. Tolérances dimensionnelles et transversales. Projet de norme européenne EN 10162 (A 37-101).

NF A 45-205, Produits sidérurgiques laminés à chaud. Poutrelles IPE. Poutrelles à ailes parallèles (A 45-205) (annulé le 23/09/1983), août **1962**.

- NF A 45-205**, Poutrelles IPE. Poutrelles à ailes parallèles (A 45-205), septembre **1983**.
- NF A 45-206**, Poutrelles IPE laminées à chaud. Tolérances de laminage (A 45-206) (annulé le 29/09/1975), septembre **1965**.
- NF A 45-206**, Poutrelles IPE laminées à chaud. Tolérances de laminage (A 45-206) (annulé le 16/12/1976), octobre **1975**.
- NF A 45-206**, Poutrelles IPE laminées à chaud. Tolérances de laminage (A 45-206) (annulé le 17/11/1983), décembre **1976**.
- NF A 45-206**, Poutrelles IPE laminées à chaud. Tolérances de laminage (A 45-206) (annulé le 20/12/1993), novembre **1983**.
- NF A 45-209**, Produits sidérurgiques. Poutrelles IPN. Dimensions (A 45-209) (annulé le 23/09/1983), mars **1966**.
- NF A 45-209**, Produits sidérurgiques. Poutrelles IPN. Dimensions (A 45-209), septembre **1983**.
- NF A 45-211**, Produits sidérurgiques. Poutrelles à larges ailes à faces parallèles. Tolérances de laminage (A 45-211) (annulé le 29/09/1975), septembre **1965**.
- NF A 45-211**, Produits sidérurgiques. Poutrelles à larges ailes à faces parallèles. Tolérances de laminage (A 45-211) (annulé le 16/12/1976), octobre **1975**.
- NF A 45-211**, Produits sidérurgiques. Poutrelles à larges ailes à faces parallèles. Tolérances de laminage (A 45-211) (annulé le 17/11/1983), décembre **1976**.
- NF A 45-211**, Produits sidérurgiques. Poutrelles à larges ailes à faces parallèles. Tolérances de laminage (A 45-211) (annulé le 20/12/1993), novembre **1983**.
- NF EN 10025**, Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés. Conditions techniques de livraison (A 35-501) (annulé le 05/12/1993), octobre **1990**.
- NF EN 10025**, Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés. Conditions techniques de livraison (A 35-501), décembre **1993**.
- NF EN 10034**, Poutrelles I et H en aciers de construction. Tolérances de forme et de dimensions (A 45-211), décembre **1993**.
- NF EN 1536**, Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Pieux forés (P94-310), octobre **1999**.
- NF EN 1537**, Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Tirants d'ancrage (P94-321), avril **2000**.
- NF EN 14199**, Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Micropieux (P94-313).
- NF P 95-102**, Ouvrages d'Art. Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonneries. Béton projeté. Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés (annulé le 20/04/2002), juin **1992**.
- NF P 95-102**, Ouvrages d'Art. Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonneries. Béton projeté. Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés, avril **2002**.

Textes réglementaires

Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion, Fascicule 56 du CCTG.

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

Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint par post-tension, Fascicule 65A du CCTG.

Exécution des ouvrages de génie civil à ossature en acier. Cahier des clauses techniques générales, Fascicule 66 du CCTG.

Exécution des travaux de fondation des ouvrages de génie civil. Cahier des clauses Techniques générales - Travaux, Fascicule 68 du CCTG.

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

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

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

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

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

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

Documents guides

IQOA - Murs de soutènement, Guide Méthodologique, Bagnex : SETRA, 27 p.

BALAY J., *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.

Recommandations TA 95 concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage, *Recommandations du Comité Français de Mécanique des Sols*, Paris, Eyrolles, **1995**, 151 p.

Tirants d'ancrage - Recommandations et règles de l'Art, Document du SETRA/CTOA non publié, projet de septembre 198 ?, Bagnex : SETRA.

HAÏÛN, G., DELAHAYE E., *Eléments 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.

DELAHAYE E., HAÏÛN G., MILLAN A.L., *Les ouvrages de soutènement - Guide de conception générale*, SETRA - F9849, **1998**, 154 p.

Logiciels

Logiciel PALT de calcul de rideaux de palplanches alternés, CETMEF.

Logiciel DENEbola-LCPC de calcul des rideaux et parois par la méthode du coefficient de réaction, Bièvres : GRAITEC et Paris : PFE.

Logiciel RIDO de calcul des rideaux et parois par la méthode du coefficient de réaction, Villeurbanne/ RFL.

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 apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN PARTIE SUPÉRIEURE DU SOUTÈNEMENT		
Z1	Fissuration du terrain parallèle au mur	Nature du matériau du massif soutenu (effet de la sécheresse) Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval 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 mur vers l'aval Entraînement de fines Rupture d'un ouvrage enterré dans le terrain soutenu Rupture d'une canalisation implantée 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 implantée dans le massif soutenu	Importance de l'effondrement
Z4	Bourrelets 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	Inclinaisons anormales d'arbres ou poteaux		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	Aménagement ou nouvelle exploitation du site	Matériaux polluants ou dangereux, surcharges supérieures à celle des hypothèses de construction
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT		
Z8	Fissuration du terrain parallèle au mur	Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse) Déversement vers l'aval de l'ensemble de l'ouvrage	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z9	Tassement du terrain en pied de mur	Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse) Accumulation non prévue de matériaux	Phénomène localisé ou étendu

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT (suite)		
Z10	Bourrelets de terrain	Mouvement en pied de paroi 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	Érosion, ravinement du sol Excavations en pied d'ouvrage	Instabilité du terrain superficiel aggravée par un défaut du système d'évacuation des eaux dans la zone d'influence de l'ouvrage Ouverture de fouille en pied de l'ouvrage	Phénomène local ou étendu Risque de défaut de butée
Z12	Inclinaisons anormales d'arbres, poteaux		(cf. Z6)
Z13	Présence de végétation nuisible	Absence ou manque d'entretien	Végétation arbustive de forte dimension

Équipements

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

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

Drainage et assainissement

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DRAINAGE INTERNE AU SOUTÈNEMENT		
D1	Ruissellement d'eau, efflorescences, concrétions, en particulier aux joints	Infiltration des eaux de ruissellement Accumulation d'eau derrière le parement Défaut d'étanchéité des joints ou béton poreux	Caractère plus ou moins étendu
D2	Entraînement de fines du matériau soutenu (présence de coulure au niveau des joints ou des débouchés de barbacanes)	Filtre inadapté à la granulométrie des sols Mauvaise mise en oeuvre du remblai Défaut d'étanchéité des joints de paroi. Le cas échéant, défaut de conception ou de réalisation du système drainant en arrière du mur	
D3	Colmatage ou absence 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 mur) Colmatage volontaire, vandalisme	
	ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE DU SOUTÈNEMENT		
D4	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux (dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.) Stagnation d'eau	Absence ou défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Défaut d'entretien Tassements, ruptures	
	ASSAINISSEMENT EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT		
D5	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux (dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.) Stagnation d'eau	Absence ou défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Défaut d'entretien Tassements, ruptures	

Structure

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENT/DÉFORMATIONS DE L'ÉCRAN		
S1	Inclinaison anormale vers l'aval	Affouillement ou dégarnissage Insuffisance de fiche pour les ouvrages non ancrés Ouverture de fouilles en pied Sous-dimensionnement de la paroi Défaillance des ancrages Mauvaise exécution Non respect du projet	Importance relative de la rotation
S2	Inclinaison anormale vers l'amont	Glissement d'ensemble du mur	
S3	Déplacement en pied (concerne généralement les parois maintenues en tête)	Insuffisance de fiche	
S4	Déplacement vertical (cas des poteaux supportant des charges verticales de structure, ou parasites)	Capacité portante du sol insuffisante Développement d'efforts parasites Mauvaise exécution des poteaux	Compatibilité du déplacement vertical avec les déformations admissibles de l'ouvrage soutenu
S5	Flèche excessive (ventre) (cas des parois ancrées)	Mauvais positionnement de la tête de tirant Sous-dimensionnement (poussée excessive, rigidité insuffisante de la paroi, mauvais espacement des nappes de tirants, ou des poteaux, ferrailage insuffisant, etc.) Défaut de drainage Rupture d'un ancrage	
	DÉFAUTS DU PAREMENT		
S6	Fissures d'ouverture supérieure ou égale à 0,4 mm, fractures, coulures	Sous-dimensionnement Retrait Reprise de bétonnage Mouvements différentiels	Longueur d'ouverture Proximité d'un ancrage Présence d'eau Fuite de matériaux
S6bis	Fissures de type faïençage	Gonflement interne	Proximité d'un ancrage Présence d'eau
S7	Altération du béton, épaufrures Armatures apparentes	Enrobage insuffisant Décollement d'un ragréage Mauvaise exécution Chocs Gel Gonflement interne, réaction sulfatique	
	ÉTANCHÉITÉ DE LA PAROI		
S8	Percolation d'eau au niveau des fissures ou des joints	Mauvaise mise en oeuvre Absence ou mauvais fonctionnement du dispositif de drainage	Transport de matériaux Forte variation du niveau de la nappe arrière Proximité d'un ancrage

N°	Défauts et désordres observables	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	TIRANTS PRÉCONTRAINTS		
S10	Défaut de protection des têtes d'ancrage (absence ou défaut d'étanchéité ou corrosion du capot de protection, absence ou fissuration du cachetage, etc.)	Mauvaise conception	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'ITSEO).

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 présentent 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)

fissuration, tassements et bourrelets des terrains liés à des déplacements de la structure,
effondrement des terrains soutenus du fait de l'entraînement de matériaux à travers les joints
du parement,
glissement d'ensemble.

CLASSE 2

érosion et ravinement du sol.

CLASSE 1

présence de végétation nuisible.

■ Équipements (classe 1 à 2E)

cotation selon les modalités de la méthode IQOA.

■ Drainage et assainissement (classe 1 à 2E)

CLASSE 2E

écoulement de fines du matériau soutenu,
défaut du système d'assainissement entraînant 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,
stagnations d'eau.

CLASSE 1

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

■ Structure (classe 1 à 3U)

CLASSE 3U

défaillance généralisée des tirants d'anrage,
tout mouvement à caractère évolutif lié à un défaut d'appui (sol en fiche ou tirant),
glissement d'ensemble,
mouvement vertical entraînant des efforts parasites dans les tirants ou dans la structure portée
le cas échéant,
inclinaison anormale susceptible d'évoluer défavorablement à moyen ou long terme,
sous-dimensionnement des poteaux,
défauts de liaison entre éléments (poteaux / panneaux de parement / liernes) à proximité
d'un ancrage.

CLASSE 2E

défaut de protection des têtes de tirants actifs,
fuite de matériau (en général 2E, mais pouvant être classé en 3, voire 3U, en fonction de la
sensibilité des structures portées par le massif soutenu),
inclinaison anormale mais stabilisée,
déplacement vertical compatible avec les déformations admissibles,
défauts ponctuels de liaison entre éléments,
percolation d'eau sans fuite de matériau,
enrouillement,
désordres mineurs.

CLASSE 1

défauts mineurs.

Annexe A **55**

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

1. Reconnaissance	.56
2. Préparation de l'intervention	.56
3. Intervention <i>in situ</i>	.57
4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée	.58
5. Rédaction de la note de synthèse	.58
6. Réunion de synthèse	.58

Annexe B **59**

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

Annexe C **65**

Fiche de synthèse IQOA

ANNEXE A

Éléments d'un cahier des charges type d'une inspection détailée 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 J10500341
Conception et réalisation : LCPC-IST, Marie-Christine Pautré
Dessins : LCPC-IST, Philippe Caquelard
Crédits photographiques : SEFI - Réseau des LPC - Services Gestionnaires
Flashage-Impression : Bialec, Nancy
Dépôt légal : 4e trimestre 2003 - N° 59544



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.