

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 remblai renforcé
par des éléments métalliques

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 murs en remblai renforcé
par des éléments métalliques**

Guide technique

Juillet 2003



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

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

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

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

Le groupe de travail remercie :

- B. Daude et J.-M. Paraiseau (SANEF - Autoroute A4)
- B. Godart (LCPC)
- A. Gorce (Société Terre Armée)
- J.-M. Jailloux (Société Profractal)
- J.-P. Magnan (LCPC)
- G. Peltier (CDOA de Seine-Saint-Denis)
- J.-P. Persy (LRPC de Strasbourg)

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 : 29 Euros HT

En couverture : Mur en remblai renforcé - Procédé « Terre Armée ».

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 : 2-7208-3119-X

Sommaire

■ *Présentation générale commune à tous les fascicules* 5



RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX MURS EN REMBLAI RENFORCÉ PAR DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES

1. Introduction 11

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi 12

<i>2.1 Principe de fonctionnement</i>	12
2.1.1 Fonctionnement interne	12
2.1.2 Fonctionnement externe	13
<i>2.2 Domaine d'emploi</i>	14

3. Description de l'ouvrage 15

<i>3.1 Structure</i>	15
3.1.1 Description générale	15
3.1.2 Le remblai	16
3.1.3 Les armatures et leurs accessoires d'attache	18
3.1.4 Le parement	20
<i>3.2 Zone d'influence</i>	23
3.2.1. Les terrains associés	23
3.2.2. La nappe	23
<i>3.3 Équipements</i>	24
3.3.1 Nature des équipements	24
3.3.2 Mode de liaison	24
<i>3.4 Drainage et assainissement</i>	25
<i>3.5 Dispositifs de suivi</i>	26

4. Origine des défauts et désordres 29

<i>4.1 Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage</i>	29
<i>4.2 Mauvaise exécution</i>	30
<i>4.3 Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques</i>	31
<i>4.4 Défaut d'entretien</i>	32

5. Inspection détaillée	32
5.1 <i>Organisation et déroulement</i>	33
5.1.1 Inspection détaillée extérieure	33
5.1.2 Les sondages	34
5.2 <i>Relevé des défauts et désordres</i>	35
5.3 <i>Facteurs de risque de désordres</i>	36
5.4 <i>Prédiagnostic</i>	39
5.5 <i>Cotation IQOA</i>	41
6. Diagnostic	41
6.1 <i>Démarche générale</i>	41
6.2 <i>Du prédiagnostic au diagnostic</i>	44
6.3 <i>Techniques d'investigation</i>	48
6.3.1 Suivi des déformations	48
6.3.2 Altération des parements	50
6.3.3 Altération des armatures	53
6.3.4 Le sol du massif	54
6.3.5 Les sols environnants et de la zone d'influence	54
6.3.6 La nappe	54
6.3.7 Grands glissements	55
6.4 <i>Recalcul de l'ouvrage</i>	56
7. Entretien et réparation	56
7.1 <i>Entretien courant</i>	56
7.2 <i>Entretien spécialisé</i>	57
7.3 <i>Réparations</i>	57
8. Bibliographie	61
ANNEXE I CATALOGUE DES DÉFAUTS ET DÉSORDRES APPARENTS	63
ANNEXE II LES CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA	73
ANNEXE III LES TECHNIQUES, PRODUITS ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES RELATIFS AUX OUVRAGES EN « TERRE ARMÉE »	77
ANNEXE IV CONDITIONS POUR LA PRÉPARATION, LE SUIVI D'EXÉCUTION ET LA RECONSTITUTION DE PETITES ET GRANDES FOUILLES	83
■ Annexes communes à tous les fascicules	89
ANNEXE A ÉLÉMENTS D'UN CAHIER DES CHARGES TYPE D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE (IDP) D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	91
ANNEXE B MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	95
ANNEXE C FICHE DE SYNTHÈSE IQOA	101

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le paragraphe 6.1 décrit la démarche générale de diagnostic.

Le paragraphe 6.2 est spécifique à chaque type d'ouvrages traité. Il explicite sous forme de tableaux comment, pour chaque hypothèse de pathologie formulée au stade du prédiagnostic, aboutir à un diagnostic final à partir d'un programme d'investigations. Ces tableaux rappellent

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

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

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

Au CHAPITRE 8 : une bibliographie.

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

2. Principe de la méthodologie de diagnostic

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

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

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

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

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

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

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

3. Cotation IQOA

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

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

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

RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX MURS EN REMBLAI RENFORCÉ PAR DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES



1. Introduction

Le présent guide s'applique aux ouvrages de soutènement en remblai renforcé par des éléments métalliques (type 10 de la classification IQOA). Il ne s'applique pas aux murs de même type qui ont fait l'objet d'une réparation ayant modifié leur mode de fonctionnement : renforcement par clouage ou par tirants d'ancrage précontraints par exemple. On pourra néanmoins utiliser ce guide, ainsi que ceux présentant des analogies avec le mode de réparation : guide relatif aux « parois clouées » dans le cas d'un renforcement par clouage par exemple, pour mener l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic de ces ouvrages particuliers.

Ce guide pourra par ailleurs apporter une aide pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des murs en remblai renforcé par des éléments métalliques qui entrent dans la constitution de culées, porteuses ou mixtes, sachant pour autant que les spécificités liées à la fonction porteuse de ces ouvrages n'y sont pas reprises.

Le premier ouvrage de soutènement en remblai renforcé par éléments métalliques a vu le jour en 1965-1966, avec la réalisation du premier mur en « Terre Armée » à Pragnières (Pyrénées). Depuis, cette technique s'est considérablement développée, mais aussi diversifiée avec notamment l'utilisation, plus récemment, d'éléments de renforcement géosynthétiques (type 11 de la classification IQOA).

Ces ouvrages ont été réalisés, pour la plupart, avec le procédé « Terre Armée » qui a connu depuis 1965 plusieurs évolutions technologiques, notamment pour ce qui concerne les armatures et les éléments de parement (« Terrasset », « Terratrel », « Mur Vert », etc.). D'autres procédés sont également apparus et n'ont fait l'objet à ce jour que de quelques réalisations en France : « Terre Renforcée VSol », « Terramesh », etc.

Ce guide concerne essentiellement l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des ouvrages en « Terre Armée » qui constituent en grande majorité les ouvrages en remblai renforcé par éléments métalliques. À cet égard, il fait référence, à de multiples reprises, au « guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement des ouvrages en terre armée » du SETRA, qui lui est complémentaire. Il s'applique pour autant aux ouvrages construits selon d'autres procédés, l'utilisateur devant y apporter les adaptations nécessaires quant aux différences portant sur les éléments de renforcement et/ou de parement.

Ce document s'adresse aux gestionnaires et au personnel chargés de l'inspection détaillée, du suivi et du diagnostic de ces ouvrages. Après un rappel de leur principe de fonctionnement et

domaine d'emploi, de leur description et des principales origines des défauts et désordres pouvant les affecter, il propose une méthodologie de diagnostic de leur état. 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 ils sont exposés, puis en faisant appel à des moyens d'investigations complémentaires le cas échéant.

Note : L'attention du lecteur est attirée sur la particularité de ces ouvrages pour lesquels une simple inspection détaillée est, en règle générale, insuffisante pour appréhender leur état, lié en grande partie au niveau de corrosion affectant les éléments de renforcement métalliques.

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

Les ouvrages de soutènement en remblai renforcé par des éléments métalliques sont constitués d'un massif de remblai mis en place par couches successives compactées, entre lesquelles sont disposés des éléments de renforcement (ou armatures) métalliques, reliés à un parement le plus souvent constitué d'éléments préfabriqués en métal, en béton ou en béton armé ou, plus récemment, en panneaux de treillis soudés (1990). Dans le cas des ouvrages en « Terre Armée », les armatures sont boulonnées au parement par l'intermédiaire de pattes d'attaches appelées amorces.

2.1 Principe de fonctionnement

2.1.1 Fonctionnement interne

Le remblai renforcé constitue un **matériau composite**, formé par l'association d'un matériau de remblai sélectionné et d'armatures métalliques, ces dernières étant constituées soit de bandes métalliques (procédé « Terre Armée » et ses dérivés), soit de panneaux de treillis soudés (procédé « Terre Renforcée VSol »), soit encore de nappes de grillage métallique (procédé « Terramesh ») ou autres, qui sont placées horizontalement et sollicitées pour supporter des efforts de traction transmis par le sol.

Comme le béton armé, il présente l'avantage de pouvoir améliorer, avec économie, les propriétés mécaniques d'un matériau de base, en l'occurrence le sol, en n'armant celui-ci que dans les directions où il est le plus sollicité.

Le fonctionnement interne de ces ouvrages repose essentiellement sur l'existence d'un frottement entre le sol et les armatures : le remblai transmet par frottement aux armatures les efforts qui se développent dans la masse, les armatures se mettent en traction et tout se passe comme si le remblai possédait, dans les directions où sont placées les armatures, une cohésion dont la valeur est directement proportionnelle à la résistance à la traction des lits d'armatures.

Ce fonctionnement nécessite que le matériau de remblai utilisé présente de bonnes caractéristiques mécaniques (angle de frottement interne élevé et de valeur constante dans le temps).

Par ailleurs, dans un ouvrage en remblai renforcé, un parement est nécessairement prévu sur la face externe, à la fois pour confiner le matériau de remblai, mais aussi pour protéger les éléments de renforcement et conférer un aspect esthétique à l'ouvrage.

De multiples expérimentations sur des ouvrages réalisés selon le procédé « Terre Armée » ont permis d'expliquer le mécanisme de fonctionnement interne en précisant la répartition des efforts de traction le long des armatures.

On constate que (Fig. 1) :

- le lieu géométrique des points de traction maximale dans les lits d'armatures passe par le pied du parement et présente une partie quasi-verticale dans la moitié supérieure du mur. La distance séparant cette ligne des tractions maximales du parement est environ égale à $0,3 H$ (H étant la hauteur de l'ouvrage) dans le cas d'armatures peu extensibles et souples (cas général des armatures métalliques) ;

- la ligne des tractions maximales sépare donc deux zones dans le massif :

- une première zone située près du parement, dans laquelle les contraintes de cisaillement (ou de traction) sont dirigées vers le parement, où le remblai a tendance à entraîner les armatures : c'est la **zone active** ;

- une seconde zone dans laquelle les contraintes de cisaillement (ou de traction) exercées par le sol sur les armatures sont dirigées vers l'intérieur du massif, où le remblai a tendance à retenir les armatures : c'est la **zone résistante**.

Ce mode de fonctionnement est à la base des méthodes de dimensionnement interne des ouvrages en remblai renforcé. On doit vérifier, d'une part, que les efforts de traction maximaux sont compatibles avec les résistances à la traction des lits d'armatures et, d'autre part, que la surface frottante des armatures dans la zone résistante est suffisante pour permettre d'équilibrer les tractions maximales correspondantes.

Dans le cas du procédé « Terre Armée », comme dans celui de la « Terre Renforcée VSol », le mode de construction des ouvrages est standardisé. Ainsi la position de la ligne des tractions maximales varie peu et peut être définie de façon schématisée (Fig. 1). Leur dimensionnement repose alors sur la méthode dite de « l'équilibre local » (cf. norme NF P 94-220).

Les autres procédés, qui ne sont pas standardisés, présentent le même mode de fonctionnement interne. Toutefois, la position de la ligne des tractions maximales, qui n'est autre que la surface de rupture potentielle dans le massif, dépend de nombreux paramètres tels que l'espacement vertical entre les lits d'armatures, leur résistance à la traction par mètre de longueur de mur et leur extensibilité. Elle n'est donc pas, par construction, précisément connue. Le dimensionnement repose alors sur une étude de stabilité semblable à celle utilisée pour les murs en remblai renforcé par des éléments géosynthétiques (type 11 de la classification IQOA-Murs), en considérant les surfaces de calcul potentiellement les plus défavorables.

2.1.2 Fonctionnement externe

Le fonctionnement externe des murs en remblai renforcé ne diffère pas de celui des ouvrages de soutènement les plus classiques, du type murs poids ou murs en béton armé (Fig. 2). La justification porte sur la portance du sol de fondation et sur la résistance au glissement du mur à son interface avec le sol de fondation.

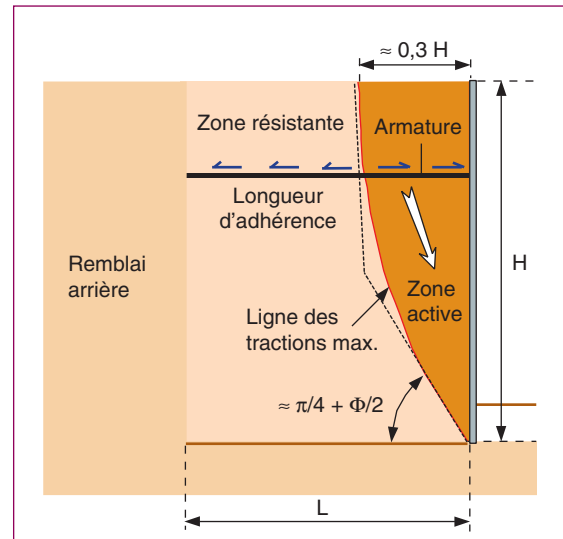


FIGURE 1 - Stabilité interne.

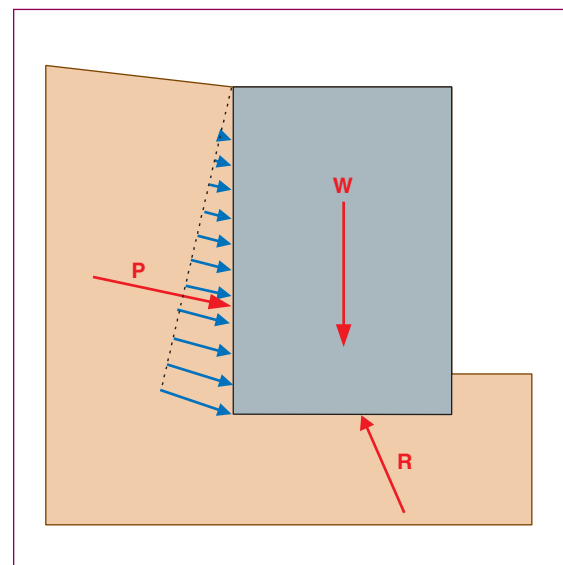


FIGURE 2 - Stabilité externe.

2.2 *Domaine d'emploi*

Ces ouvrages sont essentiellement employés pour la réalisation de constructions dites en remblai (ou en élévation), en site terrestre. On peut également les rencontrer en sites fluviaux ou maritimes, mais avec quelques spécificités de conception et de réalisation.

Leur exécution impose de disposer d'une emprise assez importante derrière le parement, ce qui les rend parfois mal adaptés dans certaines situations. En contrepartie, la très faible emprise généralement nécessaire à l'aval du parement peut rendre leur utilisation particulièrement avantageuse dans certains cas (présence d'une construction, d'une voie de circulation, d'un versant, etc.), comme par exemple pour soutenir les remblais d'accès à un ouvrage d'art dans une emprise très limitée (Fig. 3).

Ils peuvent aussi être employés comme culée mixte : mur en remblai renforcé associé à une culée généralement constituée de poteaux disposés, en règle générale, à l'extérieur du mur* ou encore, comme culées porteuses (Fig. 4).



FIGURE 3 - Mur de soutènement d'une rampe d'accès à un ouvrage d'art.



FIGURE 4 - Culée porteuse associée à des murs de différents procédés.

* Certaines culées mixtes sont constituées de poteaux situés à l'intérieur du massif et isolés de celui-ci par chemisage.

Ces ouvrages se caractérisent par leur souplesse, qui leur confère le plus souvent une bonne aptitude à accepter des tassements généraux et différentiels parfois importants. De ce fait, ils sont bien adaptés pour des sols de fondation de qualités moyennes à médiocres (éventuellement associés à un renforcement du sol de fondation par inclusions souples ou rigides, comme par exemple des colonnes ballastées ou des colonnes de sol-ciment réalisées par jet), là où des solutions d'ouvrages beaucoup plus rigides justifieraient le recours à des fondations profondes. Leur déformabilité « locale » reste néanmoins limitée par la rigidité du parement (parement en béton notamment), mais certaines dispositions de construction (construction par phases horizontales de murs décalés, réalisation de joints de coupure si le procédé le permet, etc.) peuvent être envisagées lorsque les tassements attendus sont importants ou hétérogènes.

Ces ouvrages sont également très couramment utilisés en site montagneux et sur versants, en raison, certes, de leurs conditions d'exécution qui ne nécessitent pas généralement de moyens particuliers autres que ceux inhérents aux travaux de terrassement, mais aussi en raison de leur souplesse, qui leur permet d'accepter d'éventuels mouvements (versants meubles, voire peu stables), et de leur technologie qui, en offrant de larges possibilités quant à la géométrie de l'ouvrage (disposition en gradins, par exemple) permet souvent d'apporter une réponse satisfaisante aux problèmes de stabilité et aux considérations d'emprise ou d'ordre architectural.

La hauteur maximale dépend assez largement du procédé concerné. La plupart des procédés sont utilisés pour des ouvrages dont la hauteur est comprise entre 4 m et 8 à 10 m environ. Cependant, certains d'entre eux ont permis la réalisation d'ouvrages de plus grande hauteur, pouvant dépasser une vingtaine de mètres environ, d'un seul tenant ou en gradins.

3. Description de l'ouvrage

3.1 Structure

3.1.1 Description générale

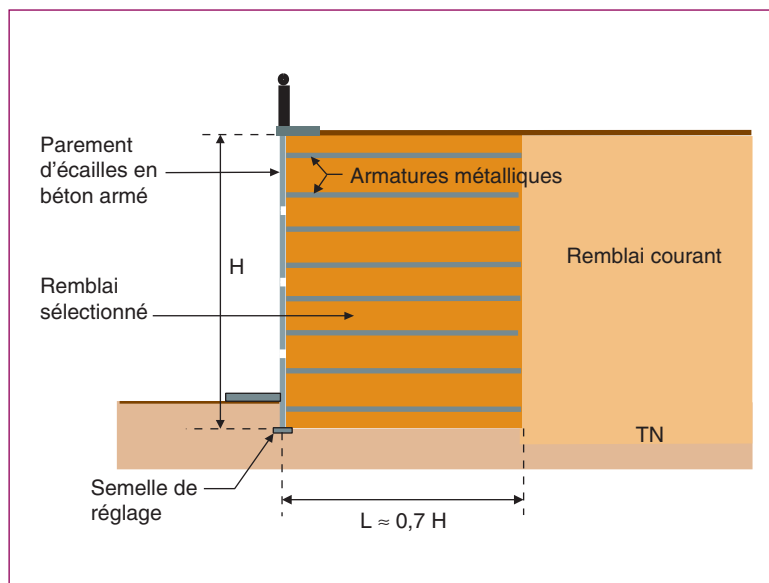
La construction de l'ouvrage, assimilable à celle d'un remblai classique, s'effectue par couches successives. À partir de la réalisation préalable d'une longrine de fondation constituant l'appui de la première rangée d'éléments de parement, elle comprend les étapes suivantes :

- montage vertical ou subvertical à l'angle requis d'un niveau d'éléments de parement,
- remblaiement d'une couche de remblai et compactage,
- pose, le plus souvent horizontale*, d'un lit d'éléments de renforcement et fixation au parement.

Les murs en remblai renforcé présentent le plus souvent, en coupe transversale, une section rectangulaire (même longueur des éléments de renforcement sur toute la hauteur de l'ouvrage), avec une longueur des éléments d'environ **0,6** à **0,7** fois la hauteur **H** du mur (Fig. 5). Dans certains cas particuliers (ouvrage sur versant et/ou sur terrain rocheux, par exemple), la longueur des éléments de renforcement en partie basse de l'ouvrage peut être réduite (avec un minimum de **0,4 H**), pour limiter l'importance des terrassements. Le parement est le plus souvent monté verticalement sur toute sa hauteur, mais il peut également être réalisé en gradins, voire dans certains cas particuliers, incliné.

* Voir pratique particulière au paragraphe 3.1.4.

FIGURE 5 -
Coupe transversale courante.



3.1.2 Le remblai

Les matériaux de remblai peuvent être soit des sols naturels, soit des matériaux d'origine industrielle, soit dans certains cas particuliers des matériaux allégés (argiles ou schistes expansés). Pour une utilisation à caractère expérimental, on a eu aussi recours à des matériaux traités (craie traitée à la chaux ou au ciment, par exemple). Ils ne contiennent en principe ni terre végétale, ni matière putrescible, ni déchets domestiques.

La qualité des matériaux de remblai utilisables pour la réalisation de murs en remblai renforcé, qu'ils soient d'origine naturelle ou industrielle, doit répondre à des critères bien déterminés :

- D'une part, des critères géotechniques (mécaniques) liés au frottement sol/armatures et à la mise en œuvre des matériaux de remblai.

Pour des raisons pratiques, on substitue en partie au critère de frottement des critères granulométriques, où interviennent les passants à 80 μm et à 15 μm . La démarche pratique est rappelée dans le tableau I, extrait du guide SETRA/LCPC, *Les ouvrages en terre armée - Recommandations et règles de l'art*, 1979.

- D'autre part, des critères chimiques et électrochimiques (résistivité, pH, teneurs limitées en sels solubles, en sulfures totaux, etc.) conditionnent la durabilité des armatures (Tableau II).

Il est à noter toutefois que des matériaux de remblai dont les caractéristiques ne respectaient pas les critères des tableaux I et II ont été utilisés dans certains ouvrages, le plus souvent pour des considérations d'ordre économique.

Ce « non respect » des exigences de la technique, qui ne concerne que quelques ouvrages au regard de l'ensemble, a pu être à l'origine de nombreux désordres, la plupart n'ayant été identifiés que fortuitement ou malheureusement lors de sinistres.

Dans la liste (non exhaustive) ci-après sont reprises à titre d'information quelques utilisations de matériaux ne respectant pas les critères rappelés ci-avant, dont certaines ont pu entraîner des pathologies graves :

- sables très acides, de $\text{pH} < 5$ (sables d'un pH de 2,5 à 4, par exemple) ;
- matériaux évolutifs (gonflants, charrées, par exemple) ;
- matériaux agressifs (crassier de hauts fourneaux, schistes rouges de terrils houillers, sables de fonderie, scories de centrales thermiques ou d'incinération, etc.) ;

➤ craies altérées comportant une proportion non négligeable de marne, entraînant une susceptibilité du massif à l'eau (modification des caractéristiques du frottement sol/armatures).

Des traitements sans substitution du matériau d'origine ont pu être réalisés au cas par cas, mais l'utilisation de ces traitements demeure marginale et leur efficacité limitée. Le retour d'expérience quant à la durabilité des éléments de renforcement dans de telles conditions reste peu important (traitement des sables acides par injection du massif au lait de chaux, par exemple).

TABLEAU I
CRITÈRES GRANULOMÉTRIQUES POUR LE CHOIX D'UN MATÉRIAU DE REMBLAI

	≤ 15 %	Critère mécanique satisfait - matériau utilisable				
	> 15 %	Passant à 15 µm	10 %	Critère mécanique satisfait - matériau utilisable		
			10 % à 20 %	Armatures à haute adhérence	Angle de frottement interne ≥ 25° *	Critère mécanique satisfait - matériau utilisable
Passant à 80 µm	> 15 %	Passant à 15 µm	10 % à 20 %		Angle de frottement interne < 25° *	Matériau inutilisable
				Armatures lisses	Angle de frottement sol-armature ≥ 22° *	Critère mécanique satisfait - matériau utilisable
				Angle de frottement sol-armature < 22° *	Matériau inutilisable	
			> 20 %	Matériau inutilisable		

* La mesure de l'angle de frottement interne se fait par cisaillement direct à la boîte sur échantillon saturés et consolidés. L'essai diffère de l'essai classique par le mode de préparation des éprouvette (cf. mode opératoire décrit dans le guide SETRA/LCPC de 1979).

TABLEAU II
CRITÈRES CHIMIQUES ET ÉLECTROCHIMIQUES DU MATÉRIAU DE REMBLAI

Critères	Ouvrages hors d'eau	Ouvrages en eau (douce)
Résistivité	> 1000 Ω.cm	> 3000 Ω.cm
pH	5 < pH < 10	5 < pH < 10
Teneurs en sels solubles : 1. Cl ⁻ 2. SO ₄ ⁻	≤ 200 mg/kg ≤ 1000 mg/kg	≤ 100 mg/kg ≤ 500 mg/kg
Teneur en sulfures totaux	< 300 mg/kg	< 100 mg/kg
Matières organiques (seuil exprimé en carbone)	< 100 p.p.m	< 100 p.p.m

3.1.3 Les armatures et leurs accessoires d'attache

Dans ce qui suit, il n'est traité que du cas classique d'un massif rectiligne à simple parement.

Pour toutes autres dispositions entraînant des sujétions particulières dans l'agencement des armatures (angle aigu, courbe, double parement, etc.), on se référera au guide SETRA/LCPC *Les ouvrages en terre armée - Recommandations et règles de l'art*, septembre 1979.

◆ Les armatures du procédé « Terre Armée » (cf. détails dans l'annexe III)

Armatures en alliage d'aluminium

Les ouvrages comportant des armatures en alliage d'aluminium (AG4 MC selon la désignation de l'époque) sont assez peu nombreux puisqu'il n'en a été construit qu'une dizaine environ de 1968 à 1975, dont six seulement en France. Cet alliage, composant des lanières mais aussi de la boulonnerie et des amorces, et qui avait semblé bien adapté aux ouvrages en site maritime, a été en effet rapidement abandonné à la suite de l'effondrement d'un mur de quai en 1974.

Armatures en acier inoxydable

L'acier inoxydable de type austénitique à 17 % de chrome (dénommé Z8C17), bien qu'utilisé pendant une courte période (entre 1973 et 1975), a cependant donné lieu, quant à lui, à d'assez nombreuses réalisations en France (environ cinquante lots d'ouvrages). Les armatures étaient de largeur 60, 80 ou 120 mm et d'épaisseur 1,5 mm. Pour des questions de facilité d'usinage, les écrous constitutifs des boulons permettant l'accrochage des armatures aux écailles étaient le plus souvent constitués d'acier inoxydable resulfuré (F17S ou F18.10) beaucoup plus sensible à la corrosion que l'acier constitutif des armatures (destruction totale des écrous observée).

Ce type d'acier a été abandonné suite à un incident sur un chantier mettant en évidence un comportement anormal vis-à-vis de la corrosion et difficilement explicable à l'époque. En 1985, l'effondrement d'un ouvrage en région parisienne, dont les armatures en acier inoxydable ont été trouvées fortement endommagées par une corrosion très particulière (se caractérisant par des piqûres et cratères, pouvant être reliés entre eux dans l'épaisseur du métal par des perforations), a conduit à lancer une campagne d'inspection des ouvrages du même type puis, à quelques exceptions près, à réparer l'ensemble de ces ouvrages.

Soulignons qu'à l'époque il n'a pas été possible d'établir de façon rigoureuse des relations de cause à effet entre cette corrosion et la nature des matériaux de remblais.

Armatures en acier doux galvanisé

Les armatures en acier doux non galvanisé, ou acier ordinaire, ne sont utilisées et ne l'ont été, en principe depuis 1965, que pour des ouvrages en site maritime ou pour des ouvrages provisoires. La très grande majorité des ouvrages en Terre Armée existants possèdent des armatures galvanisées en acier doux de qualité E 24.1 apte à la galvanisation.

Plusieurs modèles d'armatures de ce dernier type ont été employés. À l'origine, et jusqu'en 1976, ces armatures étaient lisses, d'épaisseur 3 mm, nues puis ensuite revêtues d'une couche de zinc de 25 à 40 micromètres par face (galvanisation à chaud en continu des tôles avant découpage : procédé SENDZIMIR). À partir de 1977-1978, des armatures à haute adhérence ont commencé à faire leur apparition et à être mises en œuvre (Fig. 6). Ces armatures ont une épaisseur courante de 5 mm, un revêtement de zinc d'environ 70 micromètres par face (galvanisation au trempé) et possèdent des crénelures permettant d'augmenter le frottement sol/armatures. Les armatures de 3 mm ont toutefois continué d'être employées essentiellement pour les ouvrages à parement métallique (peu nombreux). Actuellement, on utilise davantage

les armatures en E 36.3 (ou Fe 510 c ou S355JO) de 5 mm d'épaisseur, à haute adhérence, dotées pour certaines d'une section renforcée en extrémité côté parement (HAR). Notons qu'il est tenu compte d'une épaisseur d'acier sacrifiée à la corrosion dans la justification de la résistance des armatures.

Soulignons également que, depuis l'origine, la pose des boulons se fait **écrou vers le haut**. Cette disposition a été, pour les armatures et la boulonnerie en acier inoxydable et en alliage d'aluminium, la cause de désordres consécutifs à la destruction de l'écrou et à la chute de la vis de son logement dans l'assemblage amorce/lanière. En effet, à cet endroit, le remblai comporte la plupart du temps des vides (décompactage lié aux infiltrations, insuffisance de compactage, tassement).

À notre connaissance, la pose inverse n'a pour autant pas été adoptée.

Note : Une synthèse des techniques, produits et dispositions constructives concernant notamment les armatures des ouvrages en « Terre Armée », est rappelée en annexe III.

◆ Les armatures des autres procédés

Panneaux de treillis soudé en acier galvanisé : procédé « Terre Renforcée VSol » (Fig. 7).

Nappes de grillage métallique : procédé « Terramesh ».



FIGURE 6 - Armature du procédé « Terre Armée » boulonnée.



FIGURE 7 - Panneau de treillis soudé du procédé « VSol ».

3.1.4 Le parement

◆ Le parement métallique du procédé « Terre Armée » (cf. détails dans l'annexe III)

Dans le premier type de parement utilisé de façon industrielle, l'élément de base est une peau métallique à section semi-elliptique très déformable (Fig. 8).

FIGURE 8 - Parement métallique du procédé « Terre Armée ».



À l'origine, ces éléments ont été essentiellement fabriqués pour les ouvrages provisoires à partir de tôles d'« acier noir » et, pour les ouvrages permanents, à partir d'acier galvanisé.

Ils se présentent en longueur de 10 m pour une hauteur utile de 25 à 50 cm, le plus souvent de 33,3 cm (distance correspondant à l'espacement entre deux lits d'armatures), et pour une épaisseur de 3 mm. Ils comportent un retour en épingle formant un couvre-joint horizontal continu. Simultanément, il a été fait appel pour de rares cas à d'autres matériaux tels que l'acier inoxydable et l'alliage d'aluminium.

Le raccordement entre deux éléments est obtenu par un couvre-joint vertical de même nature, simplement appliqué sur la face interne, qui empêche le sol de s'échapper et assure, par sa forme et son éventuel percement d'orifices, la dilatation du parement dans le sens longitudinal par glissement des éléments sur ce couvre-joint. Il assure également le drainage.

Il a été fabriqué, en plus des éléments standard de 10 m de longueur, des éléments plus courts pour le raccordement aux extrémités, ainsi que des éléments d'angles obtenus par soudure d'éléments standards à l'ouverture désirée.

Les armatures sont directement boulonnées sur le plan inférieur des éléments de parement.

◆ Le parement en béton du procédé « Terre Armée » (cf. détails dans l'annexe III)

Le parement métallique a été remplacé, à partir de 1970-1972 par un parement en béton, constitué d'éléments préfabriqués appelés écailles, de forme cruciforme toujours utilisées à ce jour (Fig. 9), puis à partir de 1992, d'écailles de forme rectangulaire (procédé « Terraset »).

L'écaille standard est cruciforme, de dimensions extérieures 1,50 m × 1,50 m (des engravures visibles en section transversale assurent la pose et le maintien des joints d'étanchéité vis-à-vis du remblai). Son épaisseur, d'abord fixée à 14 cm pour les premiers ouvrages, a été portée à 18, 22 et 26 cm. Elle peut être en béton, armé ou non, et comporte quatre amorces, voire six à dix, noyées dans le béton individuellement ou de façon continue (en forme de U), et constituées du même métal que les armatures utilisées.

L'épaisseur des écailles est liée à la hauteur du mur, ainsi qu'à leur emplacement dans l'ouvrage (écailles plus épaisses à la base). De même, sur les six premiers mètres de hauteur à partir du haut du mur, les écailles ne sont généralement pas ferraillées.

Les armatures sont en général placées horizontalement et perpendiculairement au parement (de façon biaise en cas de besoin) avant d'être boulonnées sur les amorces.

Dans certains cas, où les conditions du site imposent une bonne évacuation des eaux, les lits peuvent être placés avec une légère pente vers l'arrière du massif (< 4 %). Cette disposition limite également l'accélération de la corrosion par stagnation d'eau au contact sol/armatures.

Des goujons verticaux métalliques d'abord en « acier noir », puis galvanisé et enfin en PVC (après 1990), permettent la liaison entre les écailles : ils assurent un rôle de guidage au montage, accessoirement un pseudo chaînage, et une bonne déformabilité horizontale. Des joints horizontaux et verticaux compressibles, remplacés de plus en plus par des plots d'appuis en caoutchouc, sont placés entre les écailles et donnent au parement une certaine étanchéité et déformabilité d'ensemble sans contacts parasites.



FIGURE 9 - Parement en béton du procédé « Terre Armée » constitué d'écailles cruciformes.

En plus des écailles standard, il existe des éléments spéciaux qui permettent de donner au parement une géométrie quelconque :

- des demi-écailles de 0,75 m de hauteur, utilisées à la base et au sommet du parement,
- des écailles spéciales dont la hauteur varie par marche de 20 cm, afin de donner à la ligne supérieure du parement une forme quelconque,
- des éléments d'angle, permettant des changements de direction du parement,
- des éléments présentant des armatures en attente de manière à réaliser une longrine de répartition, dans le cas de garde-corps, BHO, etc. à proximité du parement.

Note : À titre informatif, nous rappelons ci-après quelques dispositions de conception et de construction anciennes ou récentes, qui ne respectent pas les principes fondamentaux rappelés ci-avant :

- amorce continue en forme de U en une seule épaisseur (cas des armatures en acier inoxydable ou en alliage d'aluminium),
- absence de goujons métalliques dans le cas de simple habillage.

Enfin, lorsque des tassements différentiels importants sont attendus, on peut trouver dans le parement des coupures verticales munies de dallettes de fermetures (masques) formant couvre-joints côté remblai. Ces coupures peuvent être trouvées soit aux points les plus sensibles (entre le retour d'une culée et un mur, par exemple), soit à intervalles réguliers, de l'ordre de 10 à 20 mètres.

Depuis quelques années, le procédé avec écailles rectangulaires (dit « Terraset »), qui est utilisé dans la constitution du parement des murs en « Terre Armée », a fait l'objet de deux développements particuliers que sont :

- Terraset nervuré non armé : panneaux de 9 cm d'épaisseur avec deux nervures verticales au droit des amorces (peu d'ouvrages ont été ainsi réalisés, le principe n'est plus utilisé),
- Terraset lisse : panneaux de 14 cm armés ou non armés.

Il convient de citer également d'autres ouvrages en « Terre Armée » dont le parement diffère de ceux décrits précédemment :

- éléments modulaires en béton, qui permettent une végétalisation du parement (« Mur Vert », « Terravert », « Terraflor », etc.) ;
- panneaux de treillis soudé (Fig. 10), galvanisé ou non, qui permettent de conférer un aspect minéral ou végétal au parement (« Terratrel ») ;
- à titre anecdotique, écailles dites « garde corps », en prolongement du parement.

Note : Une synthèse des techniques, produits et dispositions constructives, concernant notamment les éléments de parement des ouvrages en « Terre Armée », est rappelée en annexe III.

FIGURE 10 - Parement en treillis soudé du procédé « Terratrel ».



◆ Le parement des autres procédés

On retrouve dans la constitution du parement des murs en remblai renforcé, pour les procédés autre que celui de « Terre Armée », des écailles en béton de forme rectangulaire (procédé « Terre Renforcée VSol ») ou des éléments de nature différente s'apparentant à des gabions (procédé « Terramesh »).

3.2 Zone d'influence

3.2.1 Les terrains associés

La délimitation de la zone d'influence est essentielle pour définir le travail d'inspection d'un mur en remblai renforcé.

Comme pour les autres murs construits en remblai, le prisme de poussée du terrain situé à l'arrière du mur correspond au massif en « équilibre limite », dont la stabilité n'est assurée que grâce au mur en remblai renforcé.

La figure 11 rappelle la définition du prisme de poussée. La distance D est de l'ordre de $H/2$, mais elle augmente avec l'angle β du talus et lorsque le sol présente de faibles caractéristiques mécaniques (valeur faible de Φ).

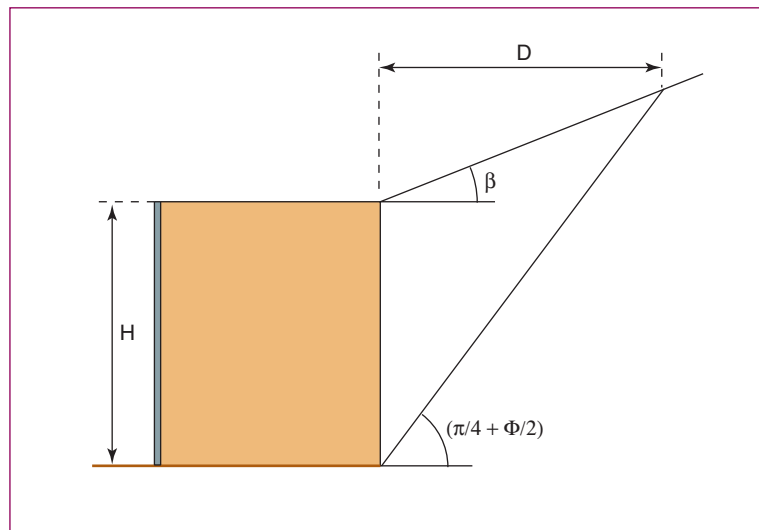


FIGURE 11 - Position du prisme de poussée.

Par ailleurs, cette notion de distance d'influence suppose que le terrain naturel est stable à l'amont et en aval du mur et qu'il n'a pas fait l'objet de renforcements particuliers (clouage, mise en place de drains subhorizontaux). L'examen de la stabilité globale du site constituera un complément obligatoire à l'inspection.

De façon conventionnelle, on définit la zone d'influence comme s'étendant de part et d'autre du mur sur une distance égale à trois fois sa hauteur libre.

Si l'ouvrage est construit en site potentiellement instable, la zone d'influence est étendue à l'ensemble du massif instable.

3.2.2 La nappe

Les ouvrages en remblai renforcé peuvent être le siège d'une nappe, lorsqu'ils sont implantés sur un versant et que l'excavation nécessaire à leur exécution a été réalisée sous le niveau de la nappe ou en communication avec celle-ci par le biais d'une source, par exemple.

Dans une telle situation (cf. Fig. 13), un massif drainant est généralement réalisé derrière l'ouvrage pour rabattre localement la nappe, et des dispositifs de collecte (derrière l'ouvrage) et d'évacuation des eaux (sous l'ouvrage) permettent d'assurer l'écoulement des eaux de la

nappe le long de la pente sans que celles-ci ne viennent saturer le remblai constitutif de l'ouvrage (risque de diminution du frottement sol/armatures et d'entraînement des matériaux fins du remblai).

Certains ouvrages peuvent aussi être fondés en site aquatique et soumis aux fluctuations du niveau d'eau (en cas de crues et de décrues d'un cours d'eau, par exemple, ou encore d'un marnage), ainsi qu'aux agressions liées à la présence de l'eau sur ses composants.

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 verticale, les écrans anti-bruit et autres éléments rapportés. Suivant leur mode de liaison à l'ouvrage, ils peuvent lui transmettre des efforts plus ou moins importants.

3.3.2 Mode de liaison

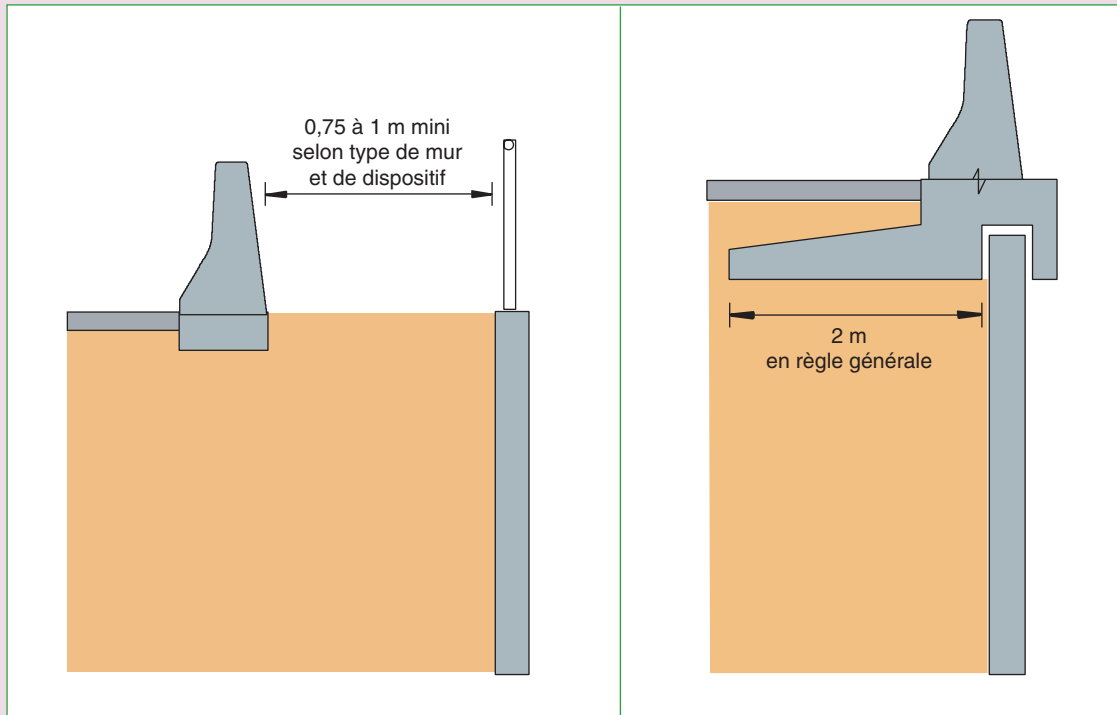
Concernant les dispositifs de retenue en tête de murs, il n'y a pas eu, pendant très longtemps, de règle précise pour leur implantation et leur mode de liaison aux ouvrages. Leur utilisation est maintenant mieux réglementée par un ensemble de textes d'homologation des produits et de guides traitant de leur conception, de leur calcul et de leur mise en oeuvre. Concernant les dispositifs en tête des ouvrages en remblai renforcé, on peut trouver les modes de liaison suivants :

- Soit à l'arrière du parement, bien désolidarisé de celui-ci : il peut s'agir de barrières de type BHO directement battues dans le sol ou ancrées dans une longrine en béton armé, ou de GBA directement posée sur la plate-forme et indépendante du parement (Fig. 12a). Dans cette configuration, les chocs de véhicules sur la barrière provoquent généralement peu de désordres à la structure.
- Soit sur une dalle de frottement reposant sur l'ouvrage et indépendante du parement : c'est le cas par exemple des barrières BN1, BN2, BN4 et GBA fixées sur une dalle, d'une largeur de 2 m en règle générale, noyée en partie dans le massif de sol à l'arrière du parement (Fig. 12b). Ces dispositifs permettent de transmettre à la structure de l'ouvrage des efforts limités.

D'autres équipements peuvent interférer avec l'ouvrage :

- massifs de candélabres,
- massifs de portiques de signalisation,
- écrans anti-bruit,
- divers réseaux de concessionnaires,
- structures diverses enterrées.

FIGURE 12
Barrières GBA en tête d'ouvrage



a. Posée sur la plate-forme à l'arrière du parement.

b. Sur dalle de frottement.

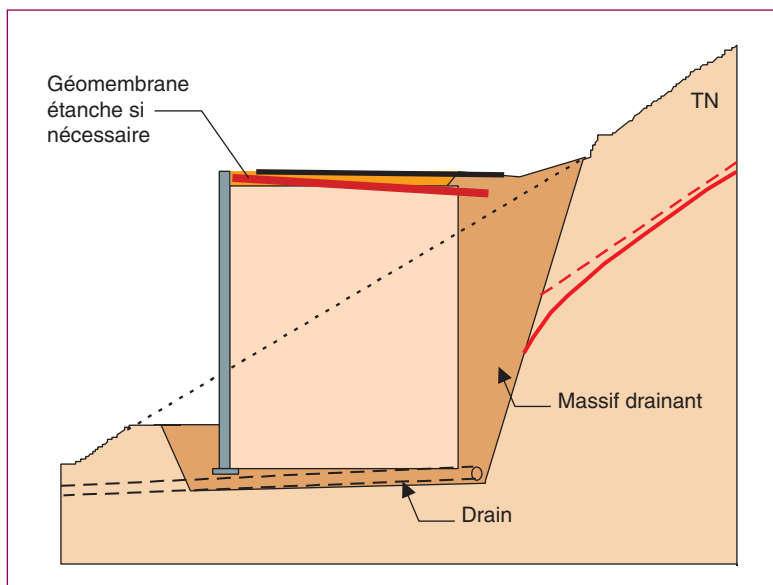
3.4 Drainage et assainissement

Les ouvrages en remblai renforcé sont généralement conçus sans dispositif de drainage interne, dans la mesure où le matériau de remblai constitutif de l'ouvrage est lui-même drainant le plus souvent.

Dans le cas d'ouvrages implantés sur un versant, un dispositif de drainage externe (Fig. 13) peut être réalisé à l'arrière du massif pour permettre de rabattre localement la nappe ou les arrivées d'eau locales (cf. paragraphe 3.2.2).

Lorsque l'ouvrage supporte une voie routière, des dispositifs de collecte et d'évacuation sont prévus pour éviter l'infiltration des eaux de surface dans le remblai constitutif de l'ouvrage. Par ailleurs, une géomembrane étanche peut être interposée entre la chaussée et le remblai (disposition proposée après 1990). Ces dispositifs ont pour objectif d'éviter non seulement les circulations d'eau dans le massif (risque d'entraînement des matériaux fins de remblai), mais aussi et surtout la pénétration d'agents agressifs, tels que les chlorures (sels de déverglaçage, par exemple) ou de déversements accidentels de substances dangereuses, qui favorisent le développement de la corrosion des armatures et des dispositifs d'attaches au parement, voire la destruction rapide de la protection puis du métal de base.

FIGURE 13 - Drainage d'un ouvrage sur pente.



3.5 Dispositifs de suivi

Dès l'origine, et plus particulièrement sur les ouvrages expérimentaux, ont été installés certains dispositifs de mesure, tels que :

- des cordes vibrantes ou des jauges de déformation sur les armatures pour les mesures de tension,
- des capteurs de pression totale sous et à divers niveaux des massifs.

Puis ont été mis en place les dispositifs de suivi qui suivent.

◆ Témoins de durabilité (cf. détails dans l'annexe III)

Les témoins de durabilité sont des échantillons d'armatures de 60 cm à 1 m de longueur du même type et du même métal que ceux utilisés dans l'ouvrage (Fig. 14). Ils sont placés dans le remblai au moment de la construction et peuvent être extraits durant la vie de l'ouvrage pour en suivre l'évolution des phénomènes de corrosion.

Ces témoins sont implantés dans des écailles spécifiques, réparties sur l'ensemble du parement et dont le nombre total varie d'un ouvrage à l'autre.



FIGURE 14 - Témoins de durabilité du procédé « Terre Armée ».

C'est en 1979 qu'ont été mis en place les premiers témoins de durabilité sur les ouvrages en « Terre Armée » (ouvrages importants uniquement). Cette disposition a été étendue à tous les ouvrages neufs à partir de 1986. Les témoins de durabilité étant tous postérieurs à 1979, ils ne concernent que des ouvrages munis d'armatures en acier nu ou en acier galvanisé.

En règle générale, les témoins de durabilité sont disposés soit en partie basse de l'ouvrage, soit, dans le cas où celui-ci est de grande hauteur, à chaque niveau de changement de section d'armatures. Le dossier d'ouvrage doit comprendre un plan de repérage de ces témoins.

Ils peuvent être plus ou moins représentatifs du niveau de corrosion qui affecte les armatures de l'ouvrage, en fonction de leur emplacement. À titre d'exemple, les témoins placés sous une dalle de transition ou en partie basse sont mieux protégés d'une éventuelle évolution de l'agressivité du remblai, et les résultats issus de leur extraction doivent être considérés avec une certaine prudence. *A contrario*, les témoins disposés en partie haute, et donc plus exposés aux infiltrations d'agents agressifs (sels de déverglaçage notamment), ou dans l'épaisseur des couches de chaussée, présentent en règle générale une corrosion plus avancée.

En l'état actuel des choses, il faut admettre que le nombre de témoins disposés dans les ouvrages est souvent très limité, voire nul dans certains cas ; c'est pourquoi il convient d'examiner avec soin les possibilités offertes par celui-ci, afin d'en optimiser l'exploitation et de garantir un suivi efficace de l'ouvrage.

Lorsque le réservoir de témoins de durabilité est épuisé, l'ouvrage se retrouve dans une situation semblable à celle de ceux qui n'en n'ont jamais comportés. D'autres moyens de sondages permettent alors d'examiner l'état des armatures (cf. chapitre 6).

À titre indicatif, le tableau III rappelle les pratiques courantes de planification d'extraction des témoins. Celles-ci sont issues du document du SETRA *Les ouvrages en terre armée - guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement*. Dans le cas d'ouvrages connexes à une voie électrifiée, pour lesquels la présence de courants vagabonds pourrait avoir pour effet d'accélérer la corrosion des armatures, nous proposons de rapprocher les premières extractions de manière à analyser les phénomènes de corrosion au cours des premières années de la vie de l'ouvrage. À noter qu'ils comportent des témoins de durabilité spécifiques, appelés témoins de mesure de « potentiel », dont le descriptif est précisé en figure 15.

TABLEAU III
RECOMMANDATIONS POUR L'EXTRACTION DES TÉMOINS DE DURABILITÉ

	Ouvrage routier (courant et sensible)				Ouvrage ferroviaire (courant et sensible)			
Date d'apparition :	1979				1979			
Date de généralisation :	1986				1986			
Première extraction de témoins *	< 10 ans				< 5 ans			
Fréquence de contrôle par extraction * **	≤ 15 ans				≤ 10 ans pour la seconde extraction puis ≤ 15 ans			
Durée de service (NF P 94-220-0)	≤ 5 ans	≤ 30 ans	≤ 70 ans	100 ans	≤ 5 ans	≤ 30 ans	≤ 70 ans	≤ 100 ans
Nombre de contrôles dans la vie de l'ouvrage	0 ***	2	5	7	1	3	5	7

* Sur la base de deux témoins par extraction.

** En cas d'évolution anormale de la corrosion des armatures, cette fréquence pourra être augmentée ou des fouilles pourront être réalisées (cf. chapitre 6).

*** Sauf dans le cas de métaux particulièrement sensible à la corrosion : acier inoxydable, alliage d'aluminium, etc.

◆ **Témoins de corrosion par l'effet des courants vagabonds (dits témoins de mesure de « potentiel »)**

Mis en place à l'initiative de la SNCF sur des ouvrages proches de voies ferrées électrifiées, ils se distinguent des précédents par l'association d'une armature témoin et d'une électrode posées proches l'une de l'autre (Fig. 15).

Des mesures de potentiel doivent être réalisées régulièrement entre les deux éléments et l'examen de l'état du témoin se fait en cas de dérive de ces mesures (apparition d'un courant de corrosion galvanique).

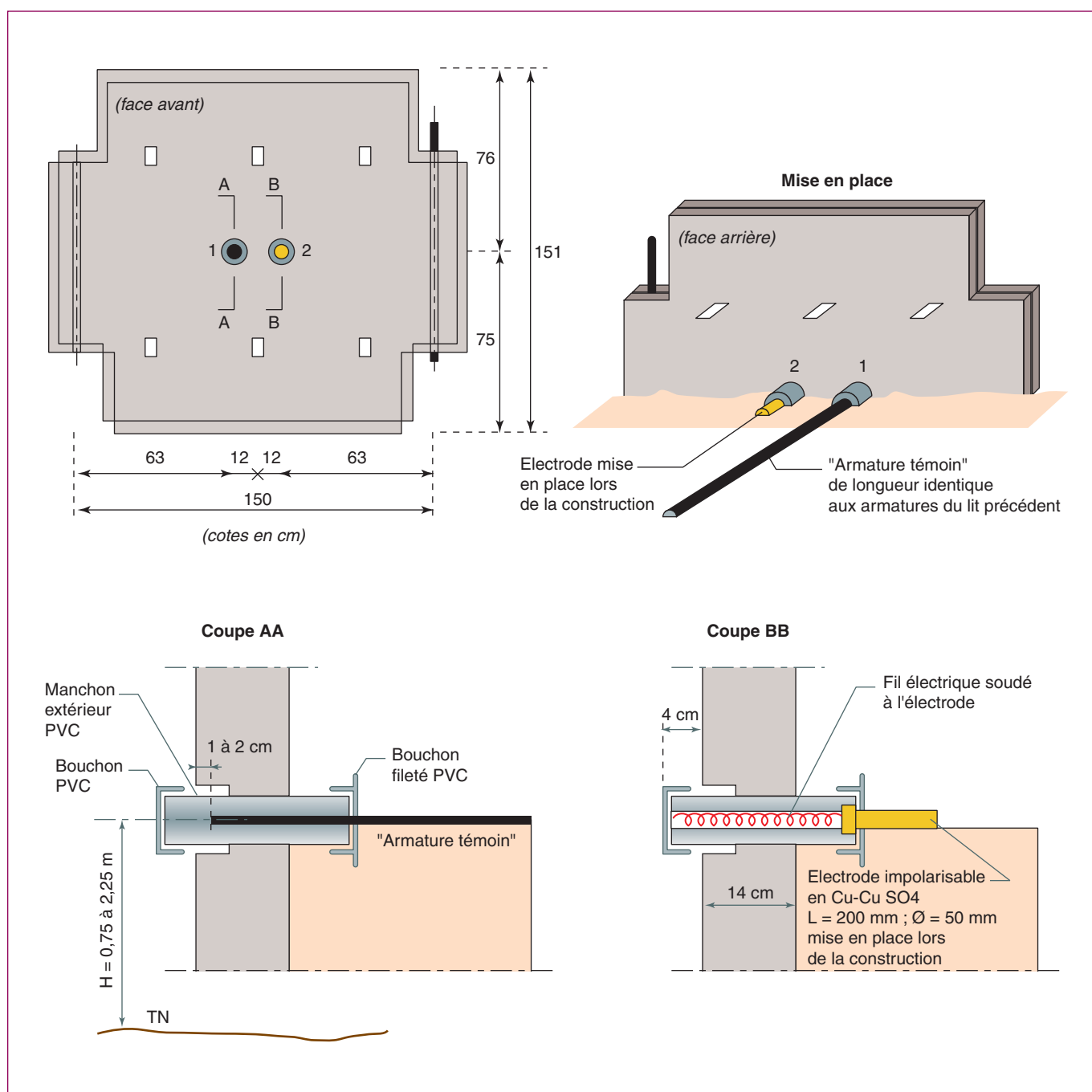


FIGURE 15 - Témoins de mesure de potentiel.

◆ **Repères topométriques pour « planimétrie » et « nivellement »**

Mis en œuvre depuis 1975 dans la région Nord à l'initiative du LRPC de Lille, la technique consiste, après avoir équipé dès l'origine de la construction les surfaces à investiguer de repères topométriques spéciaux, selon plusieurs profils verticaux et niveaux horizontaux, à réaliser un levé de la géométrie du parement, selon un maillage prédéfini.

Les levés peuvent être effectués par topographie, planimétrie laser ou encore par photoprofils laser (techniques dérivées des reconnaissances en tunnel) (*cf.* paragraphe 6.3).

La répétition de ces levés à intervalles de temps planifiés permet de détecter toutes déformations ou déplacements du massif.

4. Origine des défauts et désordres

D'une manière générale, les défauts et désordres observés sur les ouvrages résultent de la concomitance de plusieurs origines.

Dans ce qui suit, nous avons cherché à individualiser les causes de façon exhaustive (voire, pour certaines, hypothétiques) et avons ainsi établi une classification par grandes familles.

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

- Sous-estimation des efforts appliqués à l'ouvrage : actions de poussée, liées à l'exploitation, etc.
- Sous-dimensionnement de la résistance à la traction des armatures, ou de la résistance de l'attache des armatures au parement.
- Surestimation du coefficient de frottement sol/armatures, pouvant induire une longueur insuffisante des armatures.
- Connaissance insuffisante du sol de fondation, et notamment insuffisance de capacité portante ou de résistance au glissement sur la base, problèmes de tassements généraux ou de tassements différentiels (Fig. 16a et 16b), risques d'instabilité générale.
- Utilisation de matériau de remblai évolutif ou inadapté.
- Choix défectueux (incompatibilité) du couple sol/armatures.
- Appréciation insuffisante des risques de corrosion des armatures.
- Absence ou insuffisance de drainage des eaux de surface, pouvant induire une modification du frottement sol/armatures par saturation du remblai, un écoulement des matériaux de remblai, voire un développement de la corrosion des armatures par pénétration d'agents agressifs (sels de déverglaçage).
- Insuffisance de la fiche pouvant conduire à un écoulement des matériaux de remblai en pied sous la longrine de fondation, ou à sa sensibilité au gel.
- Non prise en compte des effets du gel (risque de déformations, voire de ruptures d'armatures).
- Mise en œuvre d'une dalle de frottement support de barrières en tête de mur sans interposition de joint, pouvant entraîner la fissuration des écailles.

Pour les culées :

- Contact entre parement et pile-culée dans le cas d'une culée mixte,
- Incidence de la mise en œuvre de grave traitée en forte épaisseur sous le sommier (culée porteuse), entraînant le risque de rupture des écailles lors de mouvements de celui-ci.
- Armatures noyées dans le béton du sommier (culée porteuse).

FIGURE 16

*Mouvements d'écailles
dus à un tassement différentiel*



a. sans fracturation du parement.



b. avec fracturation du parement.

4.2 Mauvaise exécution

- Défauts d'alignement dus à l'absence de cales lors de la pose des écailles.
- Défauts de verticalité et/ou d'horizontalité d'une ou plusieurs écailles (ou rangées d'écailles).
- Défauts d'horizontalité et (ou) de rectitude d'un ou plusieurs lits d'armatures.
- Défauts de longueur d'armatures (par coupures inconsidérées, par exemple).
- Défauts de compactage du remblai (excès ou insuffisance) à proximité du parement ou sur l'ensemble du massif.

- Utilisation de remblai sensible à l'eau ou présentant une teneur en eau trop importante lors de la mise en œuvre.
- Défauts de drainage.
- Absence ou manque d'armature ou de boulonnerie.
- Défauts de fabrication (ou de préfabrication) des composants (éléments de parement, armatures, etc.).

4.3 Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques

- Chocs de véhicules.
- Surcharge excessive à proximité du parement en partie supérieure, ou en pied contre le parement.
- Épandage de sels de déverglaçage en l'absence de dispositif d'assainissement et de drainage.
- Rupture de conduite d'eau ou phénomène de décrue rapide pouvant entraîner la vidange du massif par entraînement des fines, voire une poussée hydrostatique à l'arrière du parement.
- Fuite du remblai consécutive à la détérioration des joints (certains cas ont pu être observés avec des joints en mousse).
- Ambiance agressive (environnement marin, industriel, etc.).
- Effets du gel.
- Réactions de gonflement interne du béton des écaïlles : réaction alcali-granulats, réaction sulfatique, etc. (Fig. 17).
- Affouillement en pied d'ouvrage (en site aquatique).
- Structures rapportées (portique de signalisation, par exemple) après la construction du mur et interférant avec celui-ci.



**FIGURE 17 - Dégradation du béton
d'une écaïlle par réaction sulfatique externe.**

4.4 Défaut d'entretien

- Défaut d'entretien des dispositifs de drainage et d'assainissement de la voie portée.
- Accumulation ou développement de végétation arbustive au niveau des joints entre éléments de parement (Fig. 18).

FIGURE 18 - Défaut d'entretien.



5. Inspection détaillée

La pérennité des murs en remblai renforcé par éléments métalliques est liée à celle des matériaux constitutifs des armatures. Même noyés dans un remblai sélectionné chimiquement et électrochimiquement, les matériaux subissent des phénomènes de corrosion. Ceux-ci peuvent être accentués par les pollutions telles que celles apportées par les sels de déverglaçage. En conséquence, l'état des armatures doit être contrôlé régulièrement tout au long de la vie de l'ouvrage.

À cet effet, il convient de distinguer, pour les murs en remblai renforcé par éléments métalliques, deux types d'inspection détaillée :

- l'inspection détaillée extérieure, qui porte essentiellement sur le relevé des défauts et désordres du parement, pour ce qui concerne la partie structurelle de l'ouvrage,
- l'inspection détaillée avec sondages, qui nécessite en plus la réalisation de sondages (extraction de témoins de durabilité, exécution d'une petite fouille, etc.) permettant un examen des armatures.

Il est à noter que l'inspection détaillée extérieure peut s'accompagner dans certains cas d'un relevé géométrique du parement, lorsque celui-ci est déjà équipé, par exemple, de repères topométriques.

L'inspection détaillée avec sondages est nécessaire pour les ouvrages n'ayant jamais fait l'objet d'un examen de leurs armatures depuis leur construction ou depuis plus de 15 ans. Elle est recommandée pour l'ensemble des ouvrages avant la fin de leur garantie décennale.

Les inspections détaillées avec sondages sont à réaliser selon une fréquence déterminée à partir des résultats des sondages précédents, en application de la méthode proposée dans l'annexe A1 du document du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement*.

Entre ces inspections, on procédera à des inspections détaillées périodiques extérieures selon une périodicité précisée dans le fascicule 02 de l'*Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art* (ITSEOA).

5.1 Organisation et déroulement

5.1.1 Inspection détaillée extérieure

L'inspection détaillée 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 (Fig. 19).



FIGURE 19 - Équipe d'inspection en action.

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

Les dispositions relatives à la préparation, aux moyens d'accès et 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 et les moyens à mettre en œuvre : passerelle, nacelle élévatrice, bateau, plongeurs, démontage d'éléments du parement, moyens particuliers nécessaires au relevé des dispositifs de mesures 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 (*cf.* paragraphe 5.3). 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 (compactage du remblai, etc.),

➤ les rapports d'inspections détaillées antérieures et notamment celui de l'inspection détaillée initiale qui doit, en principe, comporter le relevé géométrique d'origine du parement (plan et profils) ;

et, depuis la dernière inspection détaillée :

- les procès-verbaux du contrôle annuel ;
- les éléments concernant les principales opérations d'entretien spécialisé et réparations effectuées ;
- les rapports de mesures ou d'investigations spécifiques (nivellement, sondages, prélèvement d'échantillons d'armatures, essai statique d'extraction d'armatures, etc.).

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

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

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

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

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

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

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

5.1.2 Les sondages

Les sondages réalisés dans le cadre de l'inspection détaillée avec sondages ne concernent que l'examen des armatures.

Les méthodes de sondages à mettre en œuvre sont différentes selon que les ouvrages sont munis ou non de témoins de durabilité. Les essais et analyses à réaliser lors de ces sondages s'appuient sur des techniques particulières et le respect scrupuleux de modes opératoires précisés aux chapitres A2 et A3 du document du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement*.

Pour les ouvrages équipés de témoins de durabilité, un certain nombre d'entre eux seront prélevés à chaque échéance de façon à couvrir toute la vie de l'ouvrage.

Pour les ouvrages dépourvus de témoins de durabilité, le seul moyen d'apprécier l'état des armatures et de leurs dispositifs d'attaches au parement consiste à procéder à l'ouverture de fouilles dans le remblai contre le parement, puis au prélèvement d'armatures et de remblai.

Les conditions pour la préparation, le suivi d'exécution et la reconstitution de petites et grandes fouilles sont par ailleurs précisées dans l'annexe IV du présent guide.

Armatures

Les caractérisations à effectuer sont :

- examen visuel avant et après élimination des produits de corrosion ;
- détermination de l'épaisseur résiduelle du métal de base et le cas échéant de l'épaisseur résiduelle de zinc, dans le cas d'armatures en acier galvanisé ;
- mesure de résistance résiduelle.

L'objet de l'examen visuel des éléments métalliques est de caractériser la nature et l'homogénéité des phénomènes de corrosion.

Dans tous les cas, il convient de procéder au remplacement des éléments d'armatures prélevés.

Remblai

Le prélèvement de matériau de remblai doit être de 10 kg au moins par nature de remblai rencontré.

Les caractérisations à effectuer sont :

- résistivité ;
- pH ;
- teneur en chlorures ;
- teneur en sulfates ;
- éventuellement teneur en sulfures totaux.

Dans certains cas particuliers, lorsque les conditions d'accès ou d'exploitation rendent difficiles voire impossibles l'exécution d'une petite fouille, on pourra procéder par exemple à un ou plusieurs carottages du parement de manière à accéder aux armatures.

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 (intérieurs et extérieurs à l'ouvrage). En outre, il convient de vérifier à l'occasion de cette inspection le bon état des dispositifs de suivi éventuels de l'ouvrage, de procéder aux mesures simples correspondantes et de programmer, si nécessaire, les relevés des mesures nécessitant des moyens et matériels plus importants.

Dans le cas d'une inspection détaillée avec sondages, on appliquera la méthode précisée dans l'annexe A1 du document du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement* qui permet pour chaque armature examinée d'établir un relevé des désordres et anomalies.

5.3 Facteurs de risque de désordres

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

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

Facteurs de risque de désordres liés à l'environnement

■ Le site

Références	Désignations	Incidence	
		Hors du massif	Dans le massif
Si1	Ouvrage en zone sismique	◆	◆
Si2	Ouvrage implanté sur pente en limite de stabilité ou dans un site géotechniquement instable	◆	◆
Si3	Présence de cavités souterraines, de karsts, de comblements par remblais, d'affaissements miniers dans le sol de fondation	◆	◆

■ Le sol*

Références	Désignations	Incidence	
		Hors du massif	Dans le massif
So1	Sols agressifs naturels ou artificiels (composition chimique, hétérogénéité, conductivité, pH, présence de sels solubles, de sulfures, de matières organiques ou de micro-organismes)	◆	◆
So2	Sols évolutifs naturels ou industriels inadaptés	◆	◆
So3	Sols ayant conduit à des difficultés de mise en œuvre (pulvérulents, blocs)		◆
So4	Sols comportant des terriers d'animaux		◆

* Il s'agit du sol constitutif du remblai renforcé.

■ L'eau

Références	Désignations	Incidence	
		Hors du massif	Dans le massif
E1	Site aquatique : risque affouillement (Fig. 20)	◆	◆
E2	Eaux agressives (douces, saumâtres, séléniteuses, magnésiennes)		◆
E3	Présence d'une nappe (si fluctuante, caractère aggravant)		◆
E4	Zone de ravinement	◆	◆
E5	Drainage insuffisant ou inexistant		◆
E6	Zone inondable	◆	◆



FIGURE 20 - Ouvrage en site aquatique.

■ L'atmosphère

Références	Désignations	Incidence	
		Hors du massif	Dans le massif
A1	Pollutions ou agressions industrielles (incendie, déversements accidentels de polluants)	◆	◆
A2	Climats humides et chauds	◆	
A3	Atmosphère marine, exposition aux embruns, aux actions de la marée, des vagues	◆	◆

■ Les conditions d'exploitation des ouvrages et du site

Références	Désignations	Incidence	
		Hors du massif	Dans le massif
Ex1	Environnement industriel ou accidentogène (chocs, accidents, tirs de mines, etc.)	◆	◆
Ex2	Utilisation de sels de déverglaçage		◆
Ex3	Présence de courants vagabonds (notamment à proximité de voies SNCF)		◆
Ex4	Sollicitations non prévues à l'origine : . surcharge en tête (stockage, passage de convois exceptionnels) . stockage de matériaux contre le parement	◆ ◆	
Ex5	Ouvertures de fouilles en pied (ou en tête) mal reconstituées	◆	◆
Ex6	Construction rapprochée d'autres infrastructures, en interaction avec le sous-sol	◆	◆
Ex7	Insertion d'éléments étrangers au massif technique : . canalisations . massifs de candélabres ou de portiques (Fig. 21) . ancrages de glissières . enfouissement de réservoirs		◆ ◆ ◆ ◆
Ex8	Présence de conduites d'assainissement pouvant entraîner, par défaut du drainage ou de l'étanchéité, des poussées hydrostatiques trop fortes	◆	◆
Ex9	Plantations inconsidérées ou pousses sauvages d'arbustes et d'arbres à proximité immédiate de la tête ou du pied de l'ouvrage	◆	◆
Ex10	Dépassement de la durée de service prévue à l'origine		◆

FIGURE 21 - Massif de portique de signalisation rapporté.



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

Références	Désignations
Fr1	Ouvrage de grande hauteur (Fig. 22)
Fr2	Ouvrage à fonction porteuse en plus de celle de soutènement : culée mixte ou porteuse (Fig. 22)
Fr3*	Époque de construction de l'ouvrage (avant 1976)
Fr4*	Présence d'armatures en acier inoxydable ou en alliage d'aluminium
Fr5	Absence de recul ou de retours d'expériences par rapport au procédé utilisé
Fr6	Ouvrage ayant présenté à son exécution des difficultés reconnues ou nécessité des solutions confortatives

* En raison de l'emploi avant 1976 d'armatures de 3 mm d'épaisseur présentant une galvanisation réduite (épaisseur de 30 μm au lieu de 70 μm à l'heure actuelle), et de l'utilisation d'armatures en acier inoxydable (épaisseur de 1,5 mm) ou en alliage d'aluminium, les risques de corrosion affectant ces armatures sont plus importants.

FIGURE 22 - Culée mixte de grande hauteur.



Les 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 ou sur site. 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 pour la gestion de l'ouvrage.

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

5.4 *Prédiagnostic*

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

Dans certains cas, le relevé des défauts et désordres permet d'aboutir directement au diagnostic (cas de causes évidentes) : déformations dues à un choc, tassements différentiels, etc.

Cependant, le plus souvent, lorsque des problèmes structurels sont en cause, le relevé des défauts et désordres et l'identification des facteurs de risque de désordres ne conduisent, 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. 23) :

- Insuffisance de l'adhérence sol/armatures.
- Insuffisance de résistance par altération des matériaux (armatures, attaches, boulonnerie, éléments de parement).
- Tassement propre du massif.
- Insuffisance de la résistance du sol de fondation (capacité portante, résistance au glissement sur la base).
- Tassements généraux ou différentiels du sol de fondation.
- Grand glissement.

D'autres prédiagnostics moins courants car plus difficiles à établir sont à garder présents à l'esprit. Citons par exemple la destruction physico-chimique du béton de parement (par l'action du gel, par les eaux sulfatées, par les réactions de gonflements internes, etc.).

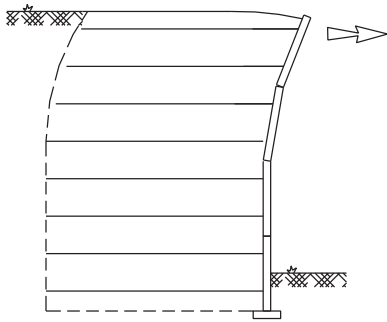
Dans le cas où le prédiagnostic fait craindre un risque imminent pour la sécurité des usagers et des tiers, des mesures de sauvegarde immédiates doivent être prises sans attendre l'aboutissement de la démarche de diagnostic (*cf.* fascicule 03 de l'ITSEOA).

C'est le cas, par exemple, d'un affouillement généralisé ou encore d'une rupture présumée des armatures.

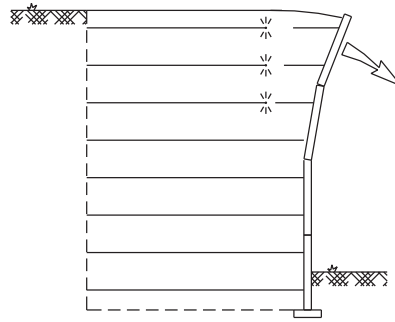
Ces mesures peuvent, par exemple, consister à mettre en place devant le parement de l'ouvrage un remblai de butée en matériaux à forte cohésion (traités), voire un véritable ouvrage de soutènement (mur poids ou mur en béton armé préfabriqué), ou encore l'association des deux en cas de limitation d'emprise, etc.) (Fig. 24).

FIGURE 23

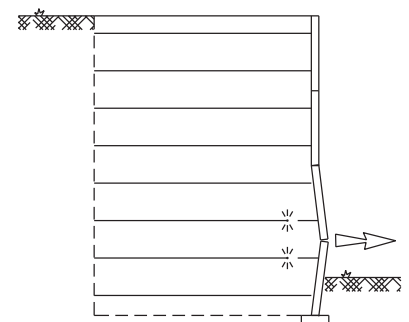
Modes de ruine des murs en remblai renforcé par éléments métalliques



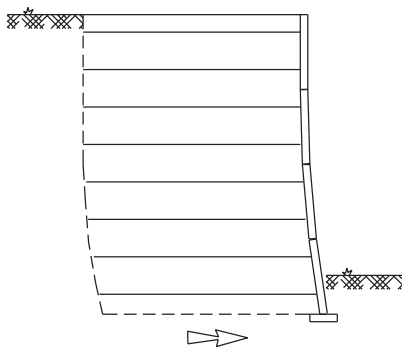
a. Insuffisance de l'adhérence sol/armature.



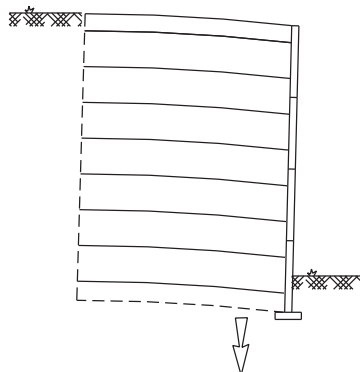
b. Insuffisance de résistance des armatures supérieures.



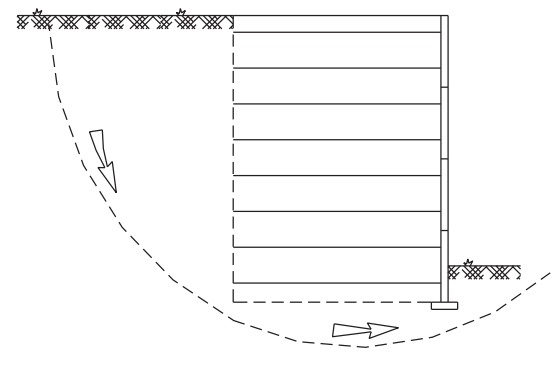
c. Insuffisance de résistance des armatures inférieures.



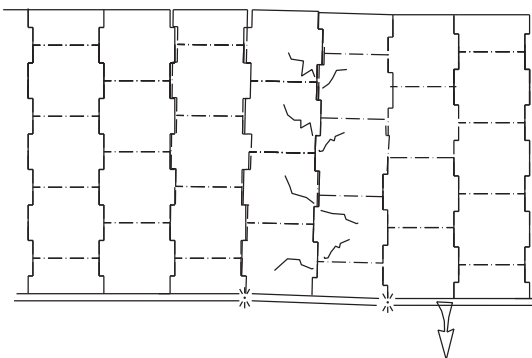
d. Insuffisance de résistance du sol de fondation (glissement sur la base).



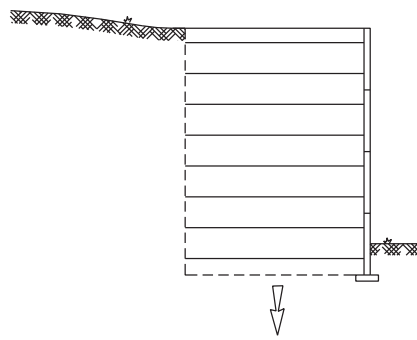
e. Insuffisance de résistance du sol de fondation (défaut de capacité portante).



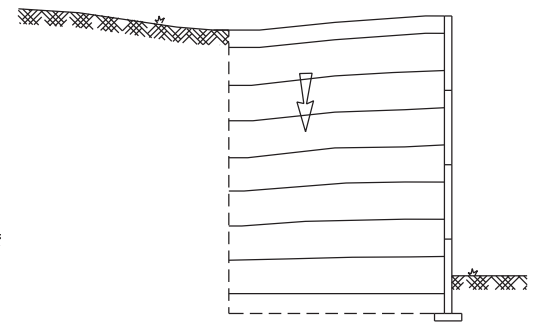
f. Grand glissement.



g. Tassement différentiel (localisé) du sol de fondation.



h. Tassement général du sol de fabrication.

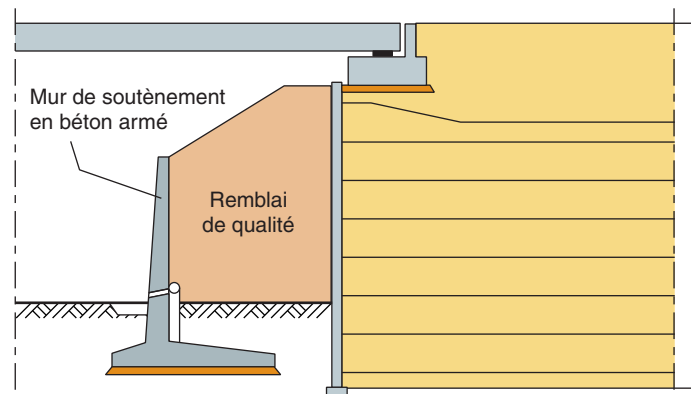


i. Tassement propre du remblai renforcé.



FIGURE 24

Renforcement (provisoire) par mur de soutènement et remblai de butée.



5.5 Cotation IQOA

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

6. Diagnostic

6.1 Démarche générale

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

La démarche qui permet, à partir de l'inspection détaillée avec sondages, d'aboutir à un diagnostic de l'ouvrage est décrite par le synoptique présenté ci-après (Fig. 25).

Une fois le diagnostic établi, la note IQOA définitive du mur pourra être définie. Les résultats de la surveillance et des investigations réalisées permettront également de proposer la nature et la périodicité des prochaines actions de surveillance de l'ouvrage.

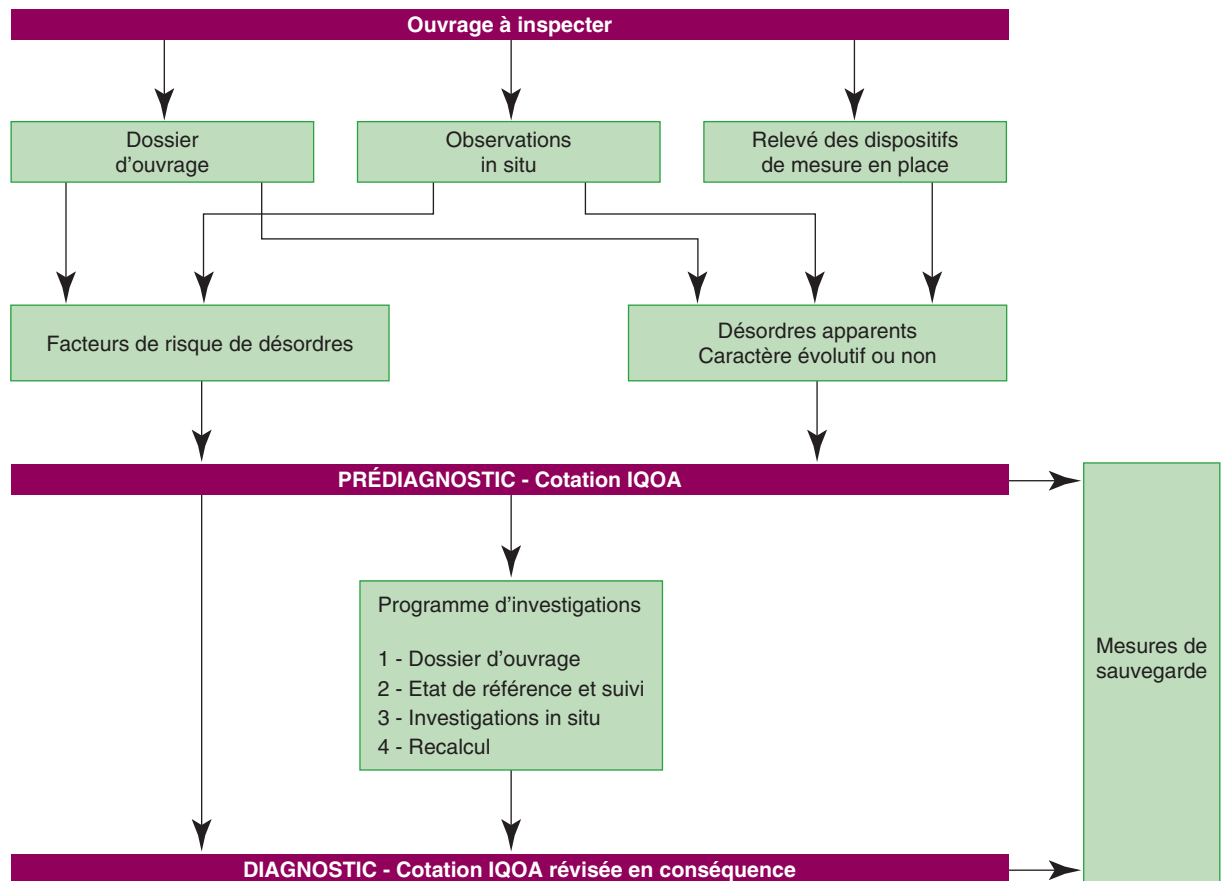


FIGURE 25 - Démarche de diagnostic.

Dans le cas des ouvrages en remblai renforcé par éléments métalliques, rappelons que les résultats d'une inspection détaillée extérieure ne suffisent généralement pas pour établir le diagnostic. En effet, l'absence de défauts et de désordres apparents sur ce type d'ouvrage ne signifie pas que les armatures sont en bon état, et par conséquent que l'ouvrage est en bon état (Fig. 26).



FIGURE 26 - Rupture brutale d'un ouvrage sans signes précurseurs.

À cet égard, l'inspection détaillée avec sondages, telle que définie ci-avant (cf. paragraphe 5.1), doit permettre d'apporter une première appréciation quant à l'état des armatures.

L'annexe A4 du document du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement* précise la méthode permettant d'effectuer un prédiagnostic de l'état de corrosion d'un ouvrage (constitué d'armatures en acier galvanisé) **basé sur les mesures d'épaisseur résiduelle** de témoins de durabilité ou de tronçons d'armatures prélevés dans une fouille, **lorsqu'il n'est pas possible de connaître avec suffisamment de précision la résistance initiale de ces éléments.**

L'interprétation des mesures d'épaisseur résiduelle nécessite de connaître l'épaisseur initiale des éléments testés. Dans le cas de témoins de durabilité, celle-ci peut être connue aisément à partir de son poids, indiqué dans le dossier d'ouvrage. Dans le cas de tronçons d'armatures, il existe toujours une incertitude sur l'épaisseur initiale liée aux tolérances (0,4 mm), mais elle est toutefois bien moins importante que sur la résistance initiale.

Les pertes d'épaisseur, obtenues par différence entre épaisseur initiale connue ou estimée et épaisseurs résiduelles mesurées, sont comparées aux pertes d'épaisseur attendues compte tenu de la nature de l'armature, de l'âge de l'ouvrage et de son environnement (hors d'eau ou en eau douce).

Dans chacun des deux graphes (Fig. 27), les deux droites qui ont été tracées déterminent trois zones :

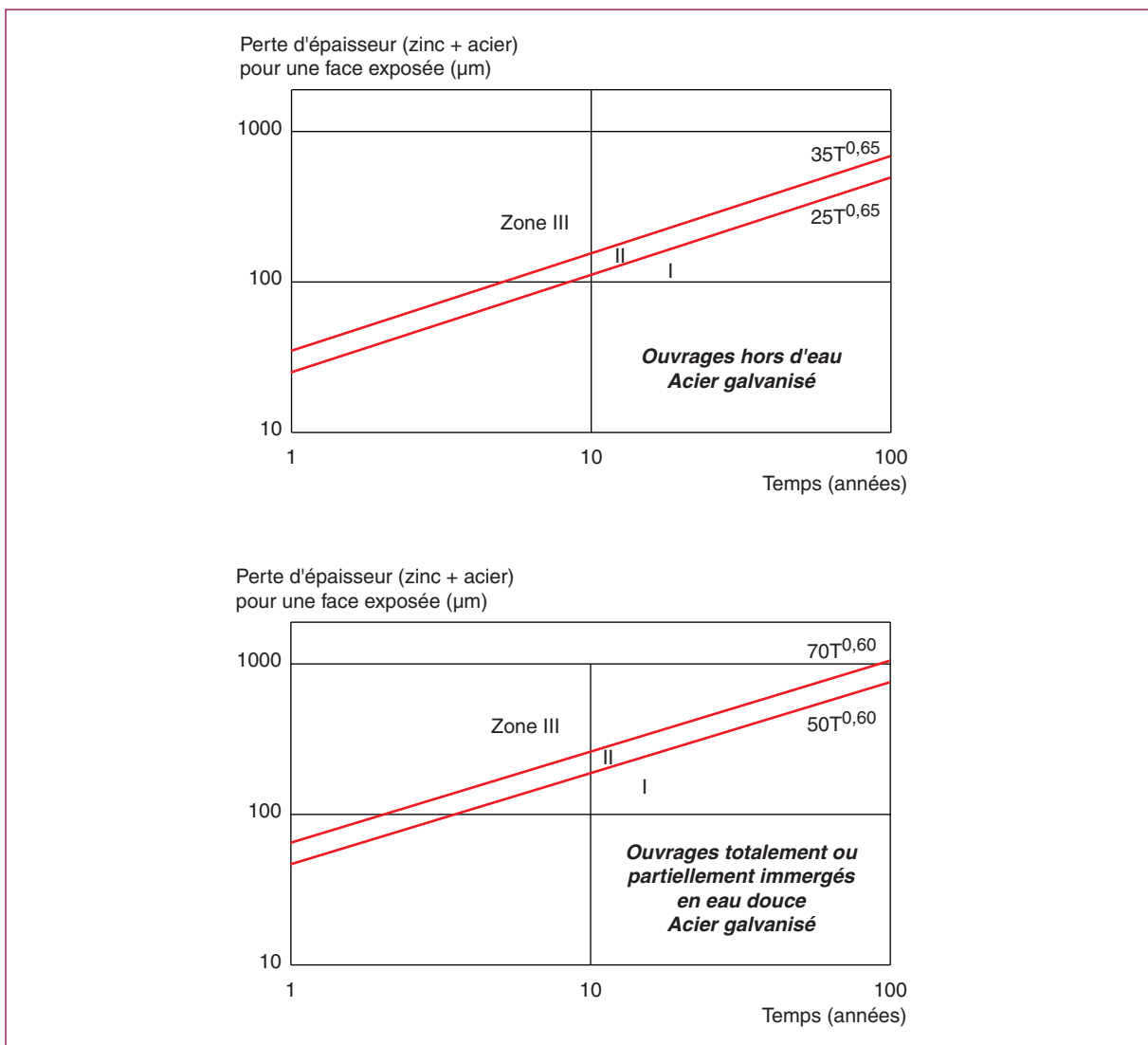


FIGURE 27 - Évolution de la perte d'épaisseur d'armatures en acier galvanisé.

Zone I : La corrosion peut être considérée comme normale, c'est-à-dire conforme aux modèles d'évolution retenus pour des remblais satisfaisant les recommandations de 1979. La prochaine inspection détaillée avec sondages peut avoir lieu 15 ans plus tard.

Zone II : La corrosion est plus importante que ne le prévoient les modèles d'évolution retenus pour des remblais conformes aux recommandations en vigueur, mais reste inférieure à celle prise en compte pour la justification des ouvrages (épaisseurs sacrifiées à la corrosion). Dans ces conditions, la situation est peu inquiétante ; la prochaine inspection détaillée avec sondages peut avoir lieu 10 ans plus tard.

Zone III : La corrosion est anormalement importante. Il convient d'en rechercher les causes, notamment à partir des analyses de remblai, si des prélèvements ont pu être effectués au voisinage des éléments corrodés. La prochaine inspection détaillée avec sondages devra comprendre l'ouverture d'une grande fouille et avoir lieu dans 5 ans au plus. Si toutefois les phénomènes de corrosion observés sont particulièrement importants par rapport aux prévisions, l'ouverture d'une grande fouille doit intervenir immédiatement.

Des investigations complémentaires et une surveillance particulière peuvent s'avérer nécessaires selon une fréquence adaptée à la nature des désordres et à leur vitesse probable d'évolution.

6.2 Du prédiagnostic au diagnostic

Ce paragraphe présente, sous forme de tableaux, 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 IV).

Dans les tableaux, chaque hypothèse émise en prédiagnostic est traitée volontairement de façon isolée et indépendante. Pour chaque hypothèse sont d'abord rappelés les défauts et désordres apparents et/ou les facteurs de risque de désordres qui en sont généralement à l'origine, la codification des défauts et désordres faisant référence à la numérotation qui figure dans le catalogue de l'annexe I. Sont ensuite présentés, dans chaque cas, les moyens à mettre en œuvre pour aboutir au diagnostic, dans l'ordre *a priori* graduel d'intervention. Dans la pratique, il faudra souvent envisager plusieurs hypothèses. La mise en œuvre des moyens d'investigation et de surveillance devra alors faire l'objet d'une démarche globale pour examiner au mieux l'ensemble des hypothèses envisagées. Il a enfin été rajouté une colonne qui précise le « mode d'investigation » : petite ou grande fouille, sondage de sol intérieur ou extérieur à l'ouvrage, etc.

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

Cela concerne les murs en remblai renforcé par des éléments métalliques, pour lesquels le prédiagnostic repose nécessairement sur l'analyse des résultats des sondages réalisés antérieurement ou simultanément à l'inspection détaillée extérieure, qui doivent permettre d'apprécier l'état et les caractéristiques des armatures et du remblai.

Lorsque l'ouvrage ne comporte pas de témoins de durabilité, on se limite, lors de l'inspection détaillée avec sondages, à l'exécution de petites fouilles peu profondes (sans mise en œuvre de blindage) contre le parement, permettant d'observer néanmoins au minimum les deux premiers lits d'armatures, sur une longueur d'environ 1 m. Les principaux avantages de telles fouilles sont de permettre l'observation des armatures *a priori* les plus corrodées (lits supérieurs qui sont aussi les moins sollicités), leur faible coût, la possibilité de les multiplier si nécessaire, et une perturbation minimale de l'exploitation des voies de circulation en termes d'emprise et de durée.

La mise en évidence de phénomènes de corrosion plus importants que prévu sur les armatures dégagées lors de petites fouilles pourra conduire à agrandir et à approfondir celles-ci ou, et c'est plus souvent le cas dans le cadre des investigations complémentaires, à en effectuer de nouvelles plus importantes, dans le but d'établir un diagnostic plus précis.

Dans ce cas, ces grandes fouilles devraient idéalement avoir une profondeur et une emprise telles que tous les lits d'armatures puissent être observés mais, pour diverses raisons, ceci est rarement possible. Il conviendra donc de préciser dans chaque cas les dimensions des fouilles en fonction notamment des contraintes locales et de la fonction de l'ouvrage (simple fonction de soutènement ou, à la fois, fonctions de portance et de soutènement dans le cas d'une culée). Dans le cas de culées porteuses, il conviendra de s'assurer notamment de la stabilité des chevêtres supportant le tablier.

On pourra se reporter utilement à l'annexe IV qui traite des conditions préparatoires, du suivi d'exécution et de la reconstitution des petites et grandes fouilles.

Dans le cas d'un ouvrage constitué d'armatures en acier inoxydable ou en alliage d'aluminium, on procédera nécessairement à l'exécution d'une grande fouille en raison du caractère très aléatoire et imprévisible des phénomènes de corrosion.

Les constatations et les résultats des essais menés lors de l'ouverture de grandes fouilles visent en particulier à estimer la durée pendant laquelle les conditions de fonctionnement normales des armatures resteront assurées (durée de service résiduelle), et doivent donc permettre de définir une valeur représentative de la perte de résistance relative **de chaque lit d'armatures**.

Un recalcul de l'ouvrage est indispensable, à ce stade, pour exploiter au mieux ces informations. En effet, on peut rappeler que les armatures possèdent un certain surdimensionnement technologique, accentué, pour les lits supérieurs, par le fait que l'acier est généralement peu sollicité. Ainsi, certains lits d'armatures subissant une corrosion anormalement intense peuvent cependant être suffisamment dimensionnés vis-à-vis des tractions qui les sollicitent réellement.

Les résultats du calcul permettent de comparer pour chaque lit d'armatures la contrainte résiduelle moyenne à la limite élastique de l'acier, et d'affecter une cotation IQOA selon les critères définis à l'annexe II du présent guide.

Si les sondages ou les investigations complémentaires laissent craindre une défaillance de l'ouvrage à court terme (risque de rupture brutale pour ce type de mur), des mesures de sécurité immédiates ou de sauvegarde doivent être prises pour limiter les conséquences possibles de cette défaillance, et en particulier pour éviter tout accident corporel (*cf.* paragraphe 5.4).

La démarche de diagnostic comporte le plus souvent plusieurs étapes, qui se déroulent dans l'ordre chronologique suivant :

- 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 du parement paraît un minimum à réaliser. En outre, le fait de disposer d'un état de référence de l'ouvrage constitue une information primordiale pour appréhender l'évolution des déplacements et déformations et établir du diagnostic.
- Mise en œuvre d'investigations spécifiques.
- Recalcul éventuel.

TABLEAU IV

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	Modes d'investigation <i>in situ</i>
Insuffisance de l'adhérence sol/armatures	Défauts et désordres de type : S1 / S3 Z1 / Z2	Facteurs de risque éventuels : · sols ayant conduit à des difficultés de mise en œuvre · sols évolutifs naturels · présence d'eau (infiltrations ou nappe) · drainage insuffisant ou inexistant · zone inondable · évolution des sollicitations	1 - Dossier OA : · identification des matériaux de remblai · hypothèses de calcul · vérification sommaire du dimensionnement 2 - État de référence et suivi : · déplacements, géométrie 3 - Investigations <i>in situ</i> : · prélèvement de matériau de remblai et détermination des caractéristiques géotechniques · essais d'arrachement d'une armature à partir d'un carottage réalisé au droit d'une patte d'attache (cf. norme NF P 94-222) · vérification des conditions d'exploitation 4 - Recalcul de l'ouvrage et validation du prédiagnostic	Ca Si
Insuffisance de capacité portante du sol de fondation (localisée ou généralisée)	Défauts et désordres de type : S4 / S5 / S6 / S9 Z1 / Z2 / Z9 / Z10	Facteurs de risque éventuels : · sols évolutifs · ouvrages de grande hauteur · évolution des sollicitations	1 - Dossier OA : · contexte géotechnique · vérification sommaire du dimensionnement 2 - État de référence et suivi : · déplacements verticaux 3 - Investigations <i>in situ</i> : · sondages géotechniques selon éléments du dossier · pose de piézométrie et relevés 4 - Recalcul de l'ouvrage et validation du prédiagnostic	Se
Insuffisance de résistance au glissement sur la base du sol de fondation	Défauts et désordres de type : S2 / S7 Z1 / Z2	Facteurs de risque éventuels : · sols évolutifs · évolution des sollicitations	1 - Dossier OA : · contexte géotechnique · vérification sommaire des tassements 2 - État de référence et suivi : · déplacements horizontaux 3 - Investigations <i>in situ</i> : · sondages géotechniques selon éléments du dossier 4 - Recalcul de l'ouvrage et validation du prédiagnostic	Se
Tassements généraux du sol de fondation ou tassements propres du massif	Défauts et désordres de type : S4 / S6 / S9 / S20 / S21 S22 Z1 / Z2 / Z9	Facteurs de risque éventuels : · sols évolutifs · ouvrages de grande hauteur · évolution des sollicitations	1 - Dossier OA : · contexte géotechnique · vérification sommaire des tassements 2 - État de référence et suivi : · déplacements verticaux 3 - Investigations <i>in situ</i> : · sondages géotechniques et prélèvements de sol · essais (géométriques, par exemple) selon éléments du dossier 4 - Recalcul des tassements et validation du prédiagnostic	Si ou Se ou PF

Modes d'investigation hors ou dans le massif :

Ca : Carottage externe de l'écaille

Si : Sondage interne au massif

Se : Sondage externe au massif (sol de fondation)

PF : Petite Fouille (une rangée d'écaille, profondeur 1,5 m à 2 m)

GF : Grande Fouille (deux rangées d'écailles ou plus, profondeur supérieure à 3 m).

TABLEAU IV (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations	Modes d'investigation <i>in situ</i>
Tassements différentiels du sol de fondation	Défauts et désordres de type : S5 / S6 / S8 / S9 / S11 / S13 / S14 Z1 / Z2 / Z9	Facteurs de risque éventuels : . sols évolutifs . présence de points durs sous l'ouvrage	1 - Dossier OA : . contexte géotechnique . vérification sommaire des tassements 2 - État de référence et suivi : . déplacements verticaux 3 - Investigations <i>in situ</i> : . sondages géotechniques de part et d'autre de la zone de tassement différentiel, selon éléments du dossier 4 - Recalcul des tassements et validation du prédiagnostic	Se
Grand glissement	Défauts et désordres de type : S7 / Z1 à Z5	Facteurs de risque éventuels : . ouvrage implanté sur pente en limite de stabilité ou dans un site géotechniquement instable	1 - Dossier OA : . contexte géotechnique . vérification sommaire du calcul de stabilité 2 - État de référence et suivi : . déplacements globaux (suivi inclinométrique) . piézométrie 3 - Investigations <i>in situ</i> : . sondages géotechniques pour évaluation des caractéristiques du sol 4 - Recalcul de stabilité et validation du prédiagnostic	Se
Rupture ou risque de rupture par altération des matériaux : armatures, attaches, boulonnerie	Défauts et désordres de type : S1 / S2 / S3 / S18 / S19 S20 / S23	Facteurs de risque éventuels : . époque de construction antérieure à 1976 . présence d'armatures à risques . sols agressifs naturels ou artificiels . pollutions ou agressions industrielles . utilisation de sels de déverglaçage . atmosphère marine . sols évolutifs . eaux agressives . évolution des sollicitations	1 - Dossier OA : . identification du matériau de remblai et de l'agressivité du site . hypothèses de calcul (épaisseur sacrificielle à la corrosion) . vérification sommaire du dimensionnement 2 - État de référence et suivi : . déplacements 3 - Investigations <i>in situ</i> : . carottages à proximité des points d'attaches pour examen vidéo ou endoscopiques de ceux-ci, et examen de faciès arrière de la peau . prélèvement de matériau de remblai et analyse chimique . prélèvement de tronçons d'armatures et essais de traction . réalisation d'une fouille plus importante et évaluation des pertes d'acier par corrosion 4 - Vérification des conditions d'exploitation 5 - Recalcul de l'ouvrage et validation du prédiagnostic	PF ou GF

Modes d'investigation hors ou dans le massif :

Ca : Carottage externe de l'écaille

Si : Sondage interne au massif

Se : Sondage externe au massif (sol de fondation)

PF : Petite Fouille (une rangée d'écaille, profondeur 1,5 m à 2 m)

GF : Grande Fouille (deux rangées d'écailles ou plus, profondeur supérieure à 3 m).

TABLEAU IV (SUITE)

Prédiagnostique	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations	Modes d'investigation <i>in situ</i>
Altération du parement	Défauts et désordres de type : D1 / D12 I6 / I7 / I13 / I14 / S8 / S9 / S10 / S12 / S13 / S14 / S15 / S16 / S17 Z6 / Z7 / Z13 / Z14	Facteurs de risque éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . sols agressifs naturels ou artificiels . eaux agressives . pollutions ou agressions industrielles . atmosphère marine . utilisation de sels de déverglaçage 	1 - Dossier d'ouvrage : . identification des matériaux constitutifs de la peau . identification des matériaux constitutifs du remblai 2 - État de référence et suivi : . établissement d'une cartographie 3 - Investigations <i>in situ</i> : . détermination de la profondeur d'altération/paroi extérieure . prélèvements de matériaux de remblai en contact direct avec la longrine de fondation et/ou de la paroi de la terre armée . analyse physico-chimique	PF

Modes d'investigation hors ou dans le massif :

Ca : Carottage externe de l'écaille

Si : Sondage interne au massif

Se : Sondage externe au massif (sol de fondation)

PF : Petite Fouille (une rangée d'écaille, profondeur 1,5 m à 2 m)

GF : Grande Fouille (deux rangées d'écailles ou plus, profondeur supérieure à 3 m).

6.3 Techniques d'investigation

Les techniques d'investigation spécifiques aux murs en remblai renforcé par éléments métalliques sont synthétisées dans les tableaux V et VI (pp. 51-52) :

- Examen et suivi externes des ouvrages renforcés par éléments métalliques.
- Examen et suivi internes des ouvrages renforcés par éléments métalliques (interventions sans exécution d'une fouille).

6.3.1 Suivi des déformations

Le suivi des déformations d'un ouvrage peut être effectué par des mesures de :

- suivi de l'ouverture des joints entre écailles de parement (horizontalité, verticalité, ouvertures),
- convergence et divergence par distancemétrie et topométrie (optique ou laser).

Les déformations de l'ouvrage dans le temps peuvent être suivies en absolu ou en relatif, en utilisant des tachéomètres laser. Après avoir effectué un relevé initial en x, y, z de la géométrie complète de l'ouvrage, on revient à intervalles de temps réguliers reprendre la position de points connus. Ces points peuvent être simplement des repères orthonormés, « marqués » de façon indélébile sur l'ouvrage ou, pour être durables et précis aux endroits à surveiller plus particulièrement, être constitués de supports pour des prismes optiques (les résultats ainsi obtenus sont plus précis : précision du millimètre, voire du demi-millimètre). Cette méthode de mise en œuvre est simple et permet de connaître les déplacements de l'ouvrage dans l'espace.

On peut également effectuer :

- le suivi de basculements, de bombements (locaux ou généralisés) par planimétrie laser ou par photoprofils laser (Fig. 28 et 29) ;
- le suivi de rotations par cannes optiques de divergence (Fig. 30) ;

- le suivi de déversement par inclinométrie de surface (nivelles en paroi) ou au sein du massif ;
- le suivi de tassements (globaux ou localisés) par prises de clichés photographiques de face, sur les joints horizontaux, et répétés périodiquement aux fins de comparaisons.

L'interprétation des résultats de mesures de déformations ne peut se concevoir que si l'on a établi au préalable des seuils permettant de juger du caractère normal ou anormal de celles-ci.

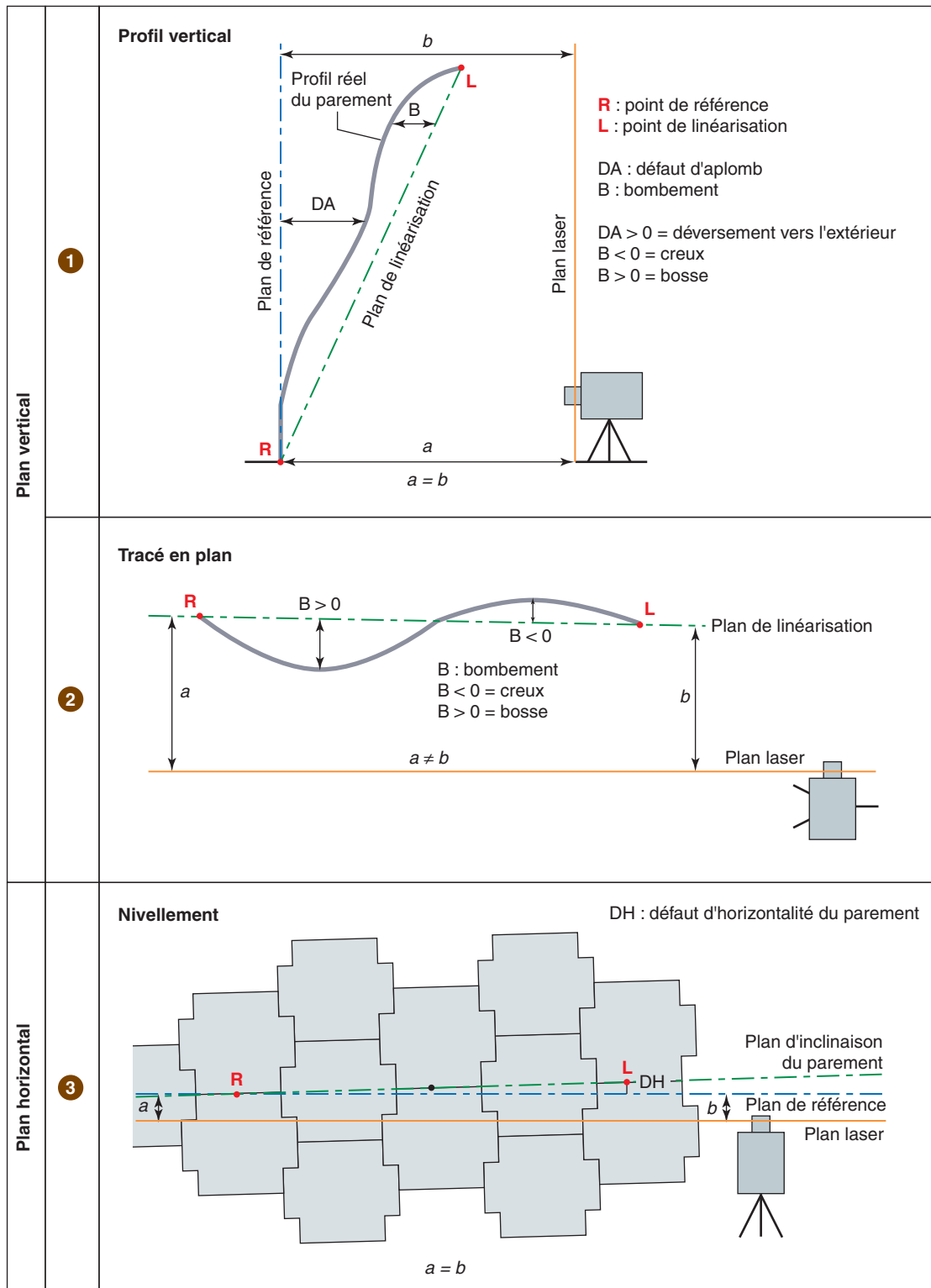


FIGURE 28 - Relevés par planimétrie et nivellement laser.

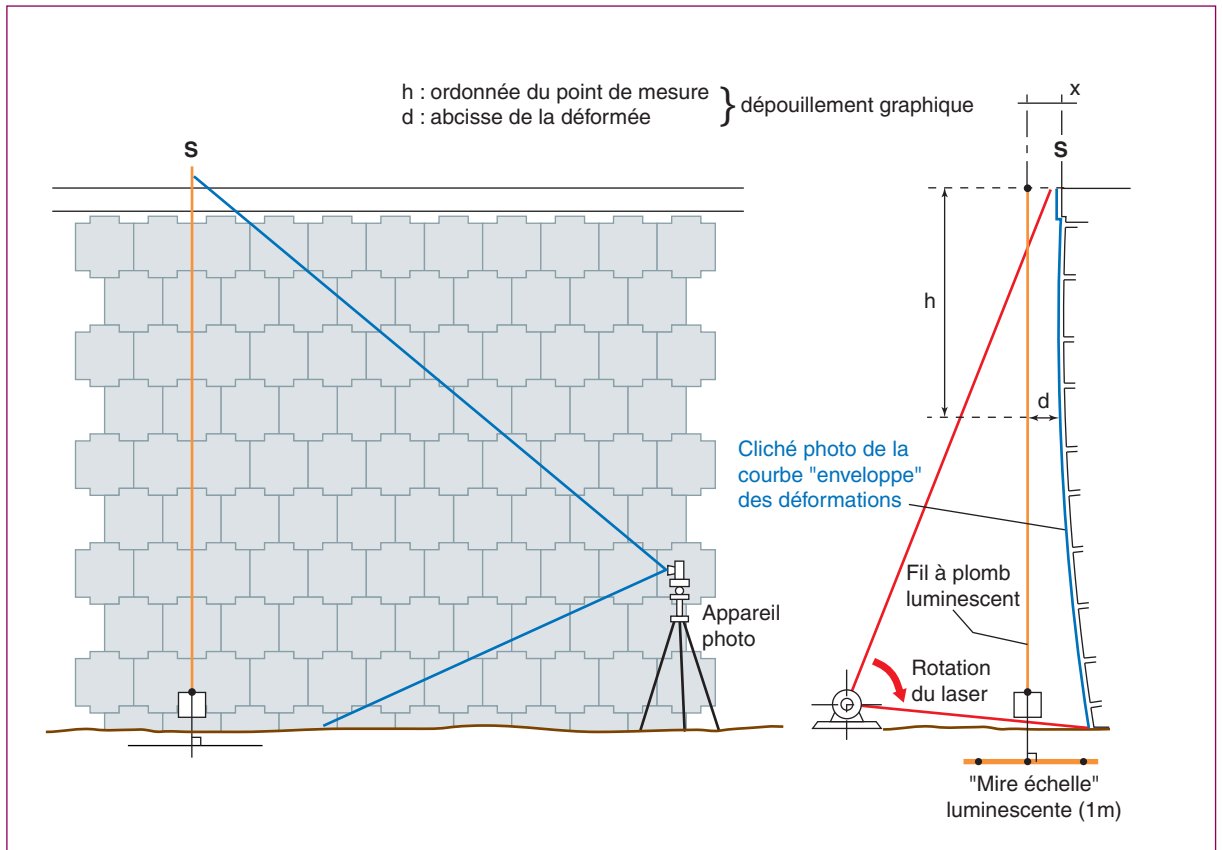


FIGURE 29 - Relevés par photoprofiles laser.

6.3.2 Altération des parements

◆ Parement en métal

- contrôle par ultra-sons des épaisseurs résiduelles du métal de base ;
- contrôle galvanométrique d'épaisseur résiduelle du revêtement de protection ;
- trépannage à la scie cloche de l'enveloppe pour prélèvements et examens en face arrière sur échantillons du métal et du sol ;
- examen partiel du point d'attache de l'armature par endoscopie ou micro vidéo.

◆ Parement en béton

- dépistage d'éventuelles réactions de dégradations internes ;
- analyse des caractéristiques physico-chimiques du béton ;
- carottage pour prélèvements et examens en face arrière sur échantillons du béton et du sol (Fig. 31) ;
- examen partiel du point d'attache de l'armature par endoscopie ou moyens vidéo et prises de vues photographiques ;
- recherche et identification d'anomalies dans le ferrailage.

TABLEAU V

EXAMEN ET SUIVI EXTERNES DES OUVRAGES RENFORCÉS PAR ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES




	Techniques d'investigations	Méthodes utilisées	Illustrations
Massif à parement métallique	<p>Relevés géométriques du parement</p> <p>Relevés d'épaisseur du parement</p> <p>Inspection visuelle des désordres tels que : . éventration . fissures . corrosion . pliures . fuite de matériau</p> <p>Relevés géométriques de la zone d'influence</p> <p>Relevés de l'état des fondations (longrine, écaillés, sol en fiche)</p>	<p>Topométrie Planimétrie laser</p> <p>Contrôle par ultra-sons</p> <p>Exploitation cartographique avec report des désordres et de leurs évolutions</p> <p>Examen vidéo des assainissements</p> <p>Topométrie Clinométrie Inclinométrie Tassométrie</p> <p>Bathymétrie Fouilles Sondages Piézométrie Essais mécaniques sur sols</p>	 <p>FIGURE 30 - Suivi par cannes optiques de divergence.</p>
Massif à parement béton	<p>Relevés géométrique du parement</p> <p>Relevés des ouvertures de joints entre écaillés et de leur évolution</p> <p>Inspection visuelle des désordres tels que : . cassures . fissures, fractures . épaufrures . altérations physico-chimiques . fuite de matériau</p> <p>Relevés de l'état des fondations (longrine, écaillés, sol en fiche)</p>	<p>Topométrie Planimétrie laser Photoprofils laser Profilométrie par cannes optique de divergence</p> <p>Cartographie et traitement par autocad</p> <p>Exploitation cartographique avec report des désordres et de leurs évolutions</p> <p>Examen vidéo des assainissements</p> <p>Bathymétrie Fouilles Sondages Piézométrie Essais mécaniques sur sols</p>	

TABLEAU VI

**EXAMEN ET SUIVI INTERNES DES OUVRAGES RENFORCÉS PAR ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES
(INTERVENTIONS SANS EXÉCUTION D'UNE FOUILLE)**

	Techniques d'investigations	Méthodes utilisées	Illustrations
Massif à parement métallique	<p>Découpe d'un échantillon de parement, analyses, essais et observations</p> <p>Prélèvements, analyses, essais et observations sur échantillons du matériau de sol</p> <p>Accès par découpes pour examen et essais sur les armatures en place</p>	<p>Trépannage Oxycoupage Mesures par ultra-sons ou pesée</p> <p>Tarière à main Analyses physico-chimiques</p> <p>Trépannage Examen vidéo</p>	 <p>FIGURE 31 - Carottage pour examen et prélèvement.</p>
Massif à parement béton	<p>Découpe d'un échantillon du parement, analyses, essais et observations</p> <p>Prélèvements, analyses, essais et observations sur échantillons du matériau de sol</p> <p>Accès aux armatures en place par découpes Mesures de tension</p> <p>Extraction d'armatures ou de témoins de durabilité (sur ouvrages équipés depuis 1986) pour examen et essais Mesures de traction résiduelle Essais d'arrachement</p>	<p>Carottage de diamètre 100 à 150 mm Essais physico-chimiques sur béton Examen des armatures passives Tests de dépistage de réaction de gonflement interne</p> <p>Tarière à main Analyses physico-chimiques</p> <p>Carottage de diamètre 100 à 150 mm Examen vidéo Extensométrie</p> <p>Prélèvement à l'extracteur, observations, pesée, analyses, mesures d'épaisseur et de résistance</p>	 <p>FIGURE 32 - Extraction d'armature ou de témoin de durabilité.</p>

6.3.3 Altération des armatures

◆ **Examen de témoins du durabilité sans exécution de fouilles** (grands ouvrages construits à partir de 1979 et plus systématiquement après 1986)

Ce type d'examen, y compris le mode d'extraction du témoin du massif (Fig. 32), est défini en annexe A3 du document du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement*.

◆ **Examen d'armatures prélevées dans des fouilles** (Fig. 33, 34, 35)

Pour ce type d'examen, on se reportera au contenu de l'annexe A1 du guide du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement* et de l'annexe IV du présent guide.



FIGURE 33 - Corrosion perforante d'une armature en acier inoxydable.



FIGURE 34 - Corrosion uniforme d'une armature en acier galvanisé.



FIGURE 35 - Corrosion de la boulonnerie d'attache au parement.

6.3.4 Le sol du massif

Les méthodes de dimensionnement des ouvrages nécessitent de connaître l'angle de frottement interne du matériau de remblai, et les caractéristiques mécaniques et pressiométriques du sol de fondation. Afin de les obtenir, on réalise les essais suivants :

- à partir des prélèvements de sol intacts obtenus par sondages carottés, l'essai à la boîte de cisaillement ou l'essai triaxial permet, en laboratoire, de déterminer Φ (angle de frottement interne du sol) ;
- l'essai pressiométrique est un essai en place qui permet de tester directement le sol en dilatant une sonde cylindrique dans un forage.

D'autre part, il peut être nécessaire de connaître les caractéristiques chimiques et électrochimiques du matériau de remblai afin de limiter les problèmes de corrosion. On déterminera en laboratoire :

- la résistivité du sol* en soumettant un volume connu de matériau à un courant continu ou alternatif selon la norme NF A 05-252 ;
- le pH du sol de remblai mesuré avec un pHmètre sur un échantillon saturé d'eau ;
- le pH du milieu environnant éventuellement mesuré sur un échantillon d'eau effectué obligatoirement à partir d'un prélèvement sur piézomètre ;
- la teneur en sels solubles (principalement chlorures et sulfates) obtenue après lessivage du sol à l'eau distillée, puis filtration et dosage par potentiométrie (chlorures) et gravimétrie (sulfates).

6.3.5 Les sols environnants (fondation et partie arrière du massif) et de la zone d'influence

Les justifications de la stabilité externe (poinçonnement et glissement sur la base) et de la stabilité au grand glissement d'un mur sont directement liées aux caractéristiques des sols environnants et de la zone d'influence.

À cet effet, des investigations *in situ* suivies d'essais de laboratoire réalisés sur des échantillons prélevés intacts peuvent s'avérer nécessaires pour déterminer les caractéristiques de ces sols. On peut par exemple mettre en œuvre :

- des sondages de reconnaissance (état des longrines et du sol, par exemple) ;
- des essais pressiométriques ;
- des essais œdométriques.

Dans certains cas particuliers de terrains ou de sols agressifs, on pourra être amené à vérifier le potentiel d'agressivité lié à la nature des matériaux (évolutifs, chimiques, etc.).

Enfin, si l'ouvrage est fondé en site aquatique, une bathymétrie pourra être nécessaire, ainsi qu'une visite spécifique subaquatique si celle-ci n'a pas été réalisée dans le cadre de l'inspection détaillée du mur.

6.3.6 Nappe

La mesure du niveau de la nappe est faite en utilisant des piézomètres. Ceux-ci sont en général constitués d'un tube en PVC (diamètre 50 mm environ) mis en place dans un forage (Fig. 36) et scellé en tête. La partie du tube située aux niveaux de mesures est crépinée, et un bouchon imperméable, posé dans le forage en haut de la crépine, vient empêcher les arrivées d'eau

* Mesure préférée à celle du potentiel REDOX, d'interprétation délicate..

intempêtes par le haut. La tête du tube est maintenue dans un massif en béton et fermée par un bouchon amovible. Pour les mesures de la fluctuation du niveau de la nappe, on vient simplement descendre une sonde spécifique dans le tube.

Il peut se révéler intéressant d'exploiter et de corréler à ces mesures piézométriques les renseignements de pluviométrie locale, afin d'affiner le diagnostic.

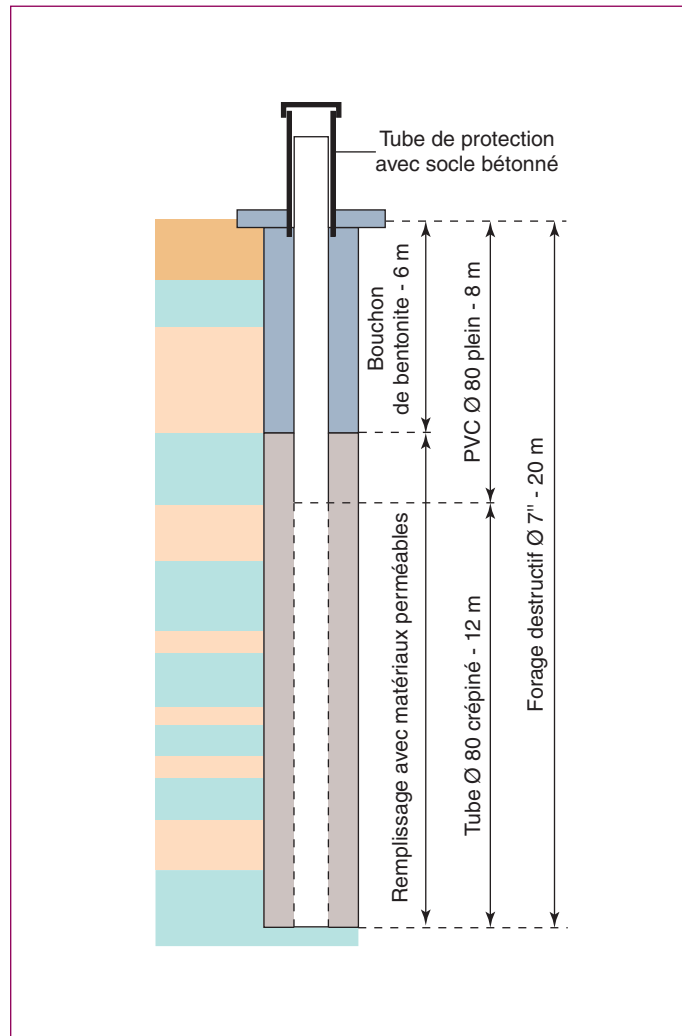


FIGURE 36 - Exemple de piézomètre (tube ouvert).

6.3.7 Grands glissements

Pour la surveillance des ouvrages sur pente, on peut réaliser soit un suivi topographique de la zone, soit des mesures inclinométriques extérieures ou intérieures au massif (Fig. 37).

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 précision de la mesure est de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-5} radian).

Quelques reconnaissances géotechniques complémentaires peuvent être utiles pour évaluer l'incidence d'horizons à « problèmes » sur le comportement du substratum (présence d'une lentille de tourbe, par exemple).

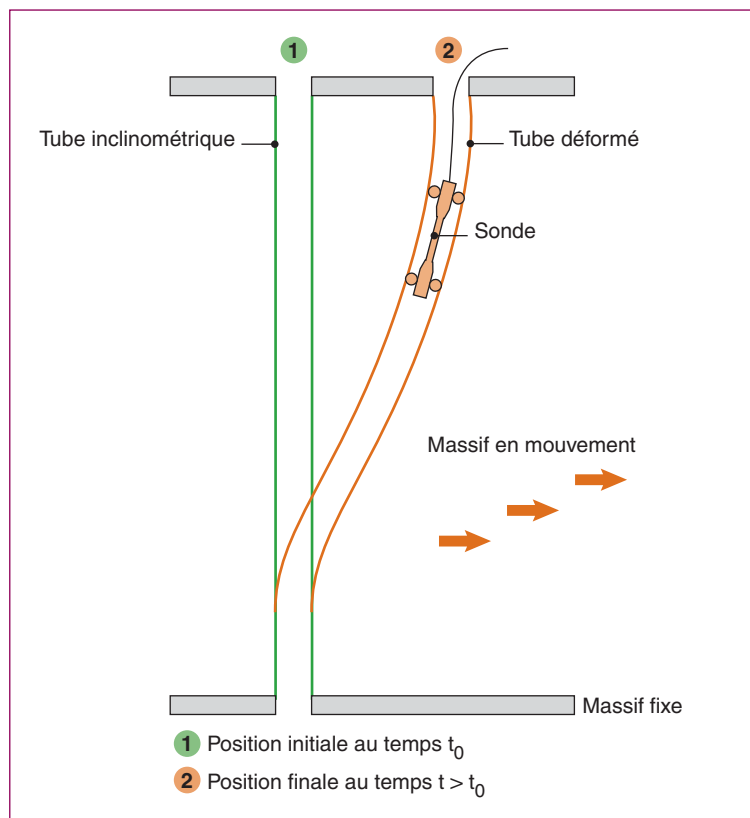


FIGURE 37 - Schéma de principe de la mesure par tube inclinométrique.

6.4 Recalcul de l'ouvrage

Dans certains cas, l'établissement du diagnostic nécessite un recalcul de l'ouvrage. Ce dernier devra être effectué par un spécialiste de ce type d'ouvrage. On se référera pour le cas des ouvrages en remblai renforcé par éléments métalliques au paragraphe A3.3.2 du document du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement*, ainsi qu'aux textes réglementaires et recommandations rappelés dans le chapitre 8 « Bibliographie ».

7. Entretien et réparation

7.1 Entretien courant

L'entretien courant des ouvrages en remblai renforcé par éléments métalliques comporte les opérations suivantes :

- enlèvement de la végétation nuisible (notamment dans les joints du parement, mais aussi en tête du soutènement dans la zone proche du parement) ;
- nettoyage et entretien des accès à l'ouvrage ;
- nettoyage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux.

7.2 *Entretien spécialisé*

L'entretien spécialisé concerne principalement la protection du parement lorsque celui-ci présente un état d'altération significatif mais n'engageant pas la tenue structurelle de l'ouvrage. Il dépend de la nature de l'ouvrage :

- **Parement métallique** : traitement des zones oxydées (mise à nu et retouches). On avive les parties saines, puis on recouvre l'ensemble avec un revêtement identique à celui d'origine si ce dernier a apporté une protection fiable, ou avec un revêtement certifié compatible avec l'existant. Il s'agit généralement d'une peinture riche en zinc.
- **Parement en béton** : mise en place d'un revêtement de protection sur le parement, si les causes de dégradation ne sont qu'extérieures à l'ouvrage.

Mais, par ailleurs, on pourra également inclure dans cette démarche :

- l'aménagement des plate-formes en surplomb ou en pied de la construction, afin de limiter et, si possible, supprimer les sources d'agressions liées à l'eau (étanchéification, réparation de flaches, etc.) ;
- le remplacement ou le déplacement de supports ancrés dans le massif (dispositif de retenue, massif d'ancrage, panneau de signalisation, etc.).

7.3 *Réparations*

La faisabilité de la réparation dépend largement de l'emprise disponible devant le parement de l'ouvrage, des moyens d'accès à celui-ci et de sa nature. On se reportera utilement, pour plus de précisions, au document du SETRA *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement* (2e partie).

Les principales réparations que l'on peut être amené à effectuer sur un ouvrage en remblai renforcé par éléments métalliques peuvent être classées de la façon suivante :

◆ **Pour le traitement localisé du parement**

- le remplacement d'éléments d'écaillés dégradés ou détériorés (chocs, agressions physico-chimiques) par scellements et injections (le procédé breveté SORREBA par exemple), etc.

◆ **Pour l'ensemble du massif**

- les remblais de butée (en matériaux stabilisés par traitement ou non) ;
- les ouvrages de soutènement : murs poids préfabriqués, murs en béton armé, etc. (Fig. 38) ;
- le clouage individuel des écaillés (Fig. 39) ;
- les parois clouées, les voiles et poutres ancrés ;
- l'injection du sol agressif par un matériau réducteur (coulis de composition chimique et de pH approprié) ;
- le démontage/remontage partiel ou total de l'ouvrage, permettant la substitution du sol, le remplacement des armatures et le recalage géométrique du parement ;
- le forage de drains subhorizontaux pour drainer le corps du remblai en cas de défaillance caractérisée ou d'absence injustifiée de drainage ;
- la mise à la terre des armatures pour minimiser les effets des courants induits (courants dits vagabonds) qui entraînent une accélération de la corrosion d'origine galvanique ;
- le renforcement du sol de fondation sous le massif, par exemple par colonnes de sol-ciment exécutées par jet ;
- le renforcement de la stabilité générale par tirants d'ancrage précontraints (Fig. 40).



Avant travaux.



Après travaux.

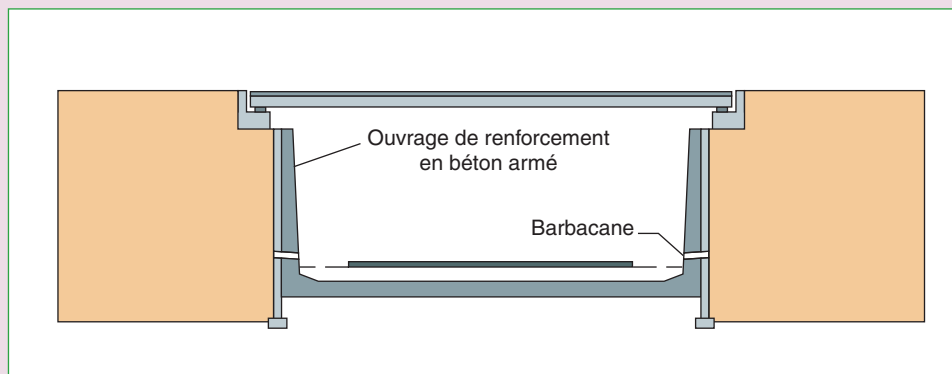


FIGURE 38 - Adossement d'une structure en béton armé à une culée en « Terre Armée ».

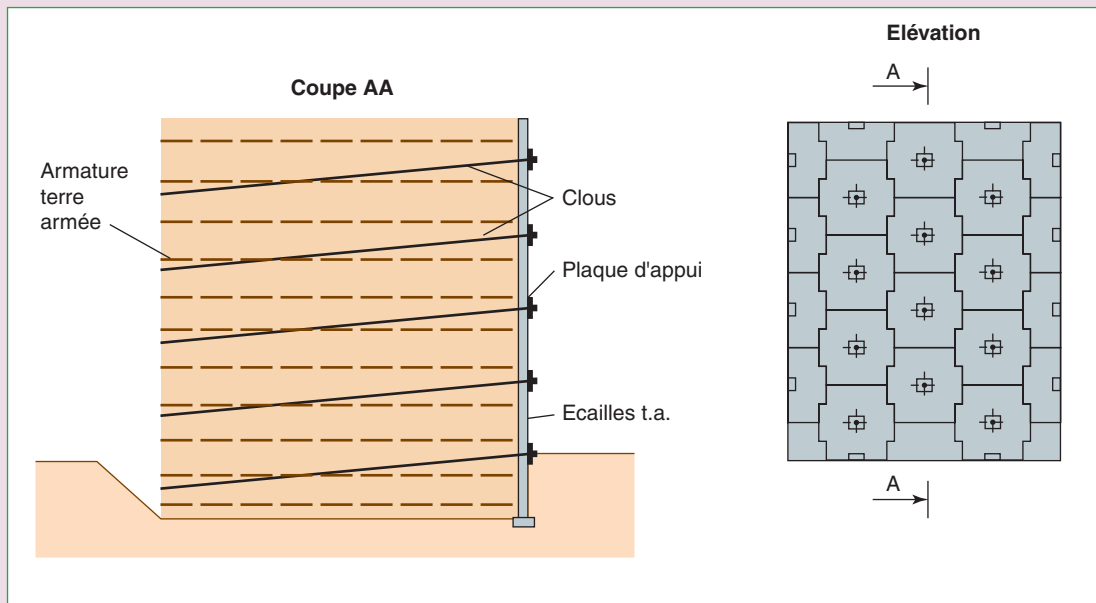


FIGURE 39 - Renforcement par clouage (écaille par écaille).

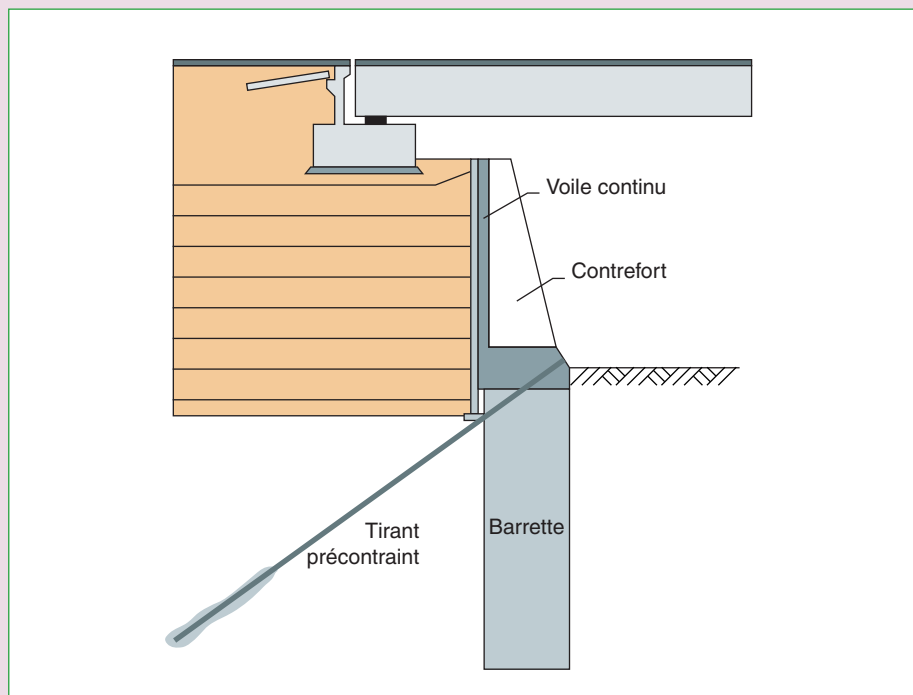


FIGURE 40 - Renforcement par une poutre ancrée en pied d'ouvrage.

8. Bibliographie

Normes

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

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

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

NF P 94-210, *Renforcement des sols - Généralités et terminologie*, AFNOR, mai 1992.

NF P 94-220-0, *Renforcement des sols - Ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples - Partie 0 : justification du dimensionnement*, AFNOR, juin 1998.

NF P 94-220-1, *Renforcement des sols - Ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples - Partie 1 : Renforcement par des armatures métalliques en bande - Justification du dimensionnement*, AFNOR, juin 1998.

NF P 94-220-2, *Renforcement des sols - Ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples - Partie 2 : Renforcement par des armatures métalliques en treillis - Justification du dimensionnement*, AFNOR, juin 1998.

NF P 94-222, *Renforcement des sols - Ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples - Essai statique d'extraction en place d'inclusion*, AFNOR, août 1995.

Textes réglementaires

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

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

Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art, Première partie, 1979 modifiée décembre 1995.

Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art, Deuxième partie, fascicule 01 « Dossiers d'ouvrages », 2000, 131 pages.

Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art, Deuxième partie, fascicule 02 « Généralités sur la surveillance ».

Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art, Deuxième 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, Deuxième partie, fascicule 51 « Ouvrages de soutènement », sous-fascicule 51-3, 1985, 28 pages.

Documents guides

IQOA Murs de soutènement - Guide méthodologique, procès-verbaux de visite pour différents types de murs, SETRA.

Les ouvrages en Terre Armée - Recommandations et règles de l'art, SETRA/LCPC, **1979**, 196 pages.

Les ouvrages en Terre Armée - Recommandations et règles de l'art, SETRA/LCPC, réédition de juillet **1991**, comprenant une mise à jour des fiches techniques figurant en annexe.

HAÏUN G., HEURTEBISE C., RENAULT J., *Les ouvrages en Terre Armée - Guide pour la surveillance spécialisée et le renforcement*, décembre **1994**, 108 pages.

HAÏUN G., DELAHAYE E., *Éléments pour le choix d'un ouvrage de soutènement dans le domaine des ouvrages routiers*, Note d'information Ouvrages d'Art n° **20**, décembre **1995**, 11 pages.

DELAHAYE E., HAÏUN G., MILLAN A.L., *Les ouvrages de soutènement - Guide de conception générale*, **1998**, 154 pages.

ANNEXE I

Catalogue des défauts et désordres apparents

Dans les tableaux qui suivent, 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 MUR		
	STABILITÉ D'ENSEMBLE		
Z1	Fissuration du terrain parallèle au mur	Nature du matériau du massif soutenu (érosion, effet de la sécheresse) Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou déversement vers l'aval	Continuité et proximité des fissures entre elles Présence et importance d'un rejet à leurs lèvres
Z2	Tassement du terrain en tête du mur	Nature du matériau du massif soutenu (érosion, effet de la sécheresse) Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou déversement vers l'aval Fuite de matériaux en parement	Continuité et proximité des fissures entre elles Réseaux de concessionnaires dans la zone de tassement
Z3	Bourrelets de terrain	Instabilité du terrain superficiel du massif soutenu Mouvement général révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage	Phénomène étendu
Z4	Érosion, ravinement du sol	Défaut de drainage et de collecte des eaux Rupture de canalisations ou de réseaux d'assainissement	Phénomène étendu Présence de stockage de matériau en tête (éboulis, blocs)
Z5	Inclinaisons anormales d'arbres, poteaux	Affouillement, création de renards, etc.	L'inclinaison de poteaux ou de candélabres en partie supérieure d'ouvrage est en principe un signe inquiétant si elle s'est produite récemment
Z6	Présence de végétation nuisible	Absence ou manque d'entretien	Végétation arbustive de fortes dimensions susceptible de déstabiliser à terme les éléments supérieurs
Z7	Présence de surcharges Accumulation de matériaux ou constructions récentes stockés ou construites dans la zone d'influence de l'ouvrage	Aménagement ou nouvelle exploitation du site	Matériaux polluants ou dangereux, surcharges supérieures aux hypothèses de la construction

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN PARTIE INFÉRIEURE DU MUR		
	STABILITÉ D'ENSEMBLE		
Z8	Fissuration du terrain parallèle au mur	Nature du matériau du massif d'assise (tassement résultant d'une période de sécheresse) Déversement vers l'aval de l'ensemble de l'ouvrage Instabilité de terrain hors de la zone d'influence (cause la plus probable généralement)	Continuité et proximité des fissures entre elles Présence et importance d'un rejet à leurs lèvres
Z9	Tassement du terrain en pied du mur	Nature du matériau du massif d'assise (érosion, effet de la sécheresse) Déversement du mur vers l'aval	Phénomène étendu
Z10	Bourrelets de terrain	Instabilité du terrain superficiel du massif d'assise Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage	Phénomène étendu
Z11	Érosion, ravinement du sol	Instabilité du terrain superficiel aggravé par un défaut du système d'évacuation des eaux dans la zone d'influence de l'ouvrage Déboisement intensif Travaux de déblaiement ou de remblaiement effectués au voisinage de l'ouvrage	Phénomène étendu
Z12	Inclinaisons anormales d'arbres, poteaux	Instabilité du terrain superficiel du massif d'assise Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage	L'inclinaison de poteaux ou de candélabres en partie inférieure d'ouvrage est en principe un signe inquiétant si elle s'est produite récemment
Z13	Présence de végétation nuisible	Absence ou manque d'entretien	Végétation arbustive de fortes dimensions susceptible de déstabiliser à terme les éléments inférieurs ou la fondation
Z14	Présence de surcharges Accumulation de matériaux ou constructions récentes stockés ou construites dans la zone d'influence de l'ouvrage ou adossés à celui-ci	Aménagement ou nouvelle exploitation du site	Matériaux polluants ou dangereux Poussée inverse non prise en compte dans les calculs, notamment dans le cas de massifs à parements parallèles

Équipements

L'inspection des équipements (chaussée, trottoirs, bordures et accotements, dispositif de retenue, et autres au-dessus et en contrebas du mur) doit être réalisée selon les modalités habituelles et ne font donc pas l'objet d'une reprise par le détail dans ce fascicule.

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 désordres relevés, de les rapprocher des défauts observés sur la structure ou dans la zone d'influence.

Drainage et assainissement

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT INTERNES AU MUR		
D1	Ruissellements et (ou) fortes résurgences d'eau, formation de concrétions et d'efflorescences, au niveau des joints entre éléments de parement	Infiltrations des eaux de ruissellement Absence ou défaut de fonctionnement des dispositifs de drainage externe (colmatage) Sous-dimensionnement du drainage externe	Caractère étendu Système de drainage plus ou moins efficace ou inexistant, pouvant entraîner des efforts excessifs dus à la poussée hydrostatique
D2	Simple écoulement d'eau et de fines du matériau de remblai (présence de coulure au niveau des joints entre éléments de parement)	Défaut de granulométrie du matériau de remblai Mauvaise mise en œuvre du remblai, associée à des infiltrations des eaux de ruissellement	Caractère plus ou moins étendu Présence d'un système de drainage plus ou moins efficace, pouvant entraîner des efforts excessifs dus à la poussée hydrostatique
	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE DU MUR		
D3	Stagnation d'eau	Profils mal adaptés	Infiltrations
D4	Dégradation et rupture des conduits d'assainissement	Tassements, déversement, érosion Manque d'entretien sur l'existant	Infiltrations, risque de mise en pression derrière le mur
D5	Dégradation des dispositifs de collecte, de descente et d'évacuation des eaux	Tassements, déversement, érosion Manque d'entretien sur l'existant	Infiltrations
D6	Colmatage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux	Tassements, déversement, érosion Manque d'entretien sur l'existant	Stagnation d'eau
D7	Mauvaise configuration d'ensemble du drainage par rapport à la partie supérieure du mur	Conception et/ou réalisation défectueuses	Situation en versant
	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT EN PARTIE INFÉRIEURE DU MUR		
D8	Stagnations d'eau	Absence de dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Manque d'entretien sur l'existant	Infiltrations
D9	Dégradation du dispositif d'évacuation des eaux	Tassements, déversement, érosion Manque d'entretien sur l'existant	Infiltrations
D10	Dégradation des dispositifs de collecte et de descente des eaux	Tassements, déversement, érosion Manque d'entretien sur l'existant	Infiltrations
D11	Colmatage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux	Tassements, déversement, érosion Manque d'entretien sur l'existant	Stagnation d'eau
D12	Chutes d'eau depuis la partie supérieure du mur	Profil en travers inadapté Absence ou insuffisance des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux	Passage ou voirie en contrebas

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT EN PARTIE INFÉRIEURE DU MUR (suite)		
D13	Mauvaise configuration d'ensemble du drainage par rapport à la partie supérieure du mur	Conception et/ou réalisation défectueuses	Affouillement
D14	Inondation	Zone inondable	Érosion Affouillement, tassement Risques de déstabilisation du sol et de la fondation

Structure

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENTS ET DÉFORMATIONS DU MUR		
S1	Déplacement horizontal du mur en tête (déversement)	Rupture d'armatures du lit supérieur Insuffisance de longueur des armatures Insuffisance du frottement sol/armatures Poussée excessive (sous-dimensionnement, choc, passage de convois exceptionnels) Défaut d'exécution (excès de compactage à proximité du parement, défaut de réglage de verticalité des éléments du parement)	Rupture dans la longrine de fixation des éléments de corniches et déstabilisation de ceux-ci Culée mixte ou porteuse Caractère généralisé Caractère évolutif
S2	Déplacement horizontal du mur en pied	Rupture d'armatures du lit inférieur Glissement à l'interface mur/sol de fondation Poussée excessive (sous-dimensionnement)	Poussée et déformation de sol voisin comportant des infrastructures (ex. : voies ferrées) Culée mixte ou porteuse Caractère généralisé Caractère évolutif
S3	Déformations géométriques du parement : . bombement . décalage aux joints prononcé	Insuffisance du frottement sol/armature Rupture d'armatures Poussée excessive Défaut d'exécution (excès de compactage)	Fuites de matériaux Culée mixte ou porteuse Caractère généralisé Caractère évolutif
S4	Déplacement vertical global du mur (défaut d'alignement des joints horizontaux)	Tassements généraux du sol de fondation	Incompatibilité avec les déformations admissibles de la plate-forme soutenue Culée mixte ou porteuse Caractère généralisé Caractère évolutif

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENTS ET DÉFORMATIONS DU MUR (suite)		
S5	Déplacement vertical localisé du mur	Tassement différentiel du sol de fondation Affouillement d'une partie du mur	Incompatibilité avec les déformations admissibles de la plate-forme soutenue Culée porteuse Caractère évolutif
S6	Rotation en plan d'éléments de parement	Tassement différentiel du sol de fondation Affouillement d'une partie du mur	Ouvertures aux joints et fuites de matériaux Caractère évolutif
S7	Inclinaison anormale de l'ensemble du parement vers l'amont	Glissement d'ensemble du mur	Culée mixte ou porteuse Caractère généralisé Caractère évolutif
	DÉFAUTS DU PAREMENT D'ORDRE STRUCTUREL		
S8	Fissures d'éléments en béton	Défauts de résistance des éléments Défauts de préfabrication Efforts locaux excessifs Existence de contacts parasites entre mur et structure contiguë Existence de contact entre éléments	Passage d'humidité
S9	Fractures d'éléments en béton	Défauts de résistance des éléments (notamment béton non armé) Efforts locaux excessifs Existence de contact entre éléments Existence de contacts parasites entre mur et structure contiguë Choc Effets du gel Partie haute du mur ne reprenant pas un tassement de la partie basse	Fuite de matériau de remblai Décalsages aux lèvres de la fracture
S10	Épaufrures d'éléments en béton avec ou sans éclatement	Contact entre éléments suite à un tassement différentiel Existence de contacts parasites entre mur et structure contiguë Choc Corrosion d'armatures de béton armé, de goujons de positionnement Effets du gel Absence de joints entre éléments	Fuite de matériau de remblai Risques de chutes de morceaux en contrebas
S11	Écoulements de matériau de remblai par les joints	Granulométrie trop fine du matériau, associée à l'absence de filtres au niveau des joints Écoulement d'eau dans le massif	Volumes importants et/ou coulées ne se tariissant pas Culée porteuse
S12	Déchirure de la peau métallique	Efforts parasites dus à un tassement différentiel Efforts locaux excessifs, chocs, Corrosion Rupture de l'attache avec l'armature	Fuite de matériau de remblai Nombre de cas élevé, dimensions importantes Culée porteuse

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉFAUTS DU PAREMENT D'ORDRE STRUCTUREL (suite)		
S13	Déformation géométrique prononcée et localisée d'éléments de la peau métallique (écrasement, enfoncement par exemple)	Tassement du matériau de remblai Défaut d'exécution (excès ou insuffisance de compactage à proximité du parement Tassement différentiel du sol de fondation	Culée porteuse
S14	Chute d'éléments de peau en béton supérieurs	Choc Efforts locaux excessifs en tête Rupture d'armatures	Fuite de matériau de remblai Voirie ou passage piétons en contrebas
	DÉFAUTS DU PAREMENT D'ORDRE PHYSICO-CHIMIQUE		
S15	Armatures d'éléments en béton apparentes et corrodées	Chocs Défaut d'enrobage Effets du gel et/ou de sels de déverglaçage Mauvaise compacité du béton	Longueurs et surfaces découvertes importantes
S16	Altération du béton des éléments	Conditions climatiques défavorables (cycles gel/dégel) Réaction de dégradation interne (réaction sulfatique, etc.) Agressivité du milieu ambiant (sels de déverglaçage, site maritime) Écoulement d'eau chargée d'agents agressifs (sels de déverglaçage, matériau de remblai schisteux, etc.)	Désorganisation profonde du béton (ex. : par les sulfates) entraînant une réduction sensible de la fonction de confinement du parement
S17*	Corrosion de la peau métallique faces intérieure et/ou extérieure	Agressivité du milieu ambiant ou du matériau de remblai	Généralisée, profonde et perforante
	ARMATURES ET DISPOSITIFS D'ATTACHE		
S18*	Corrosion des armatures et dispositifs d'attache (amorces et boulonnerie : vis, écrous, rondelles)	Évolution de l'agressivité du matériau de remblai (infiltration d'agents agressifs dans le remblai) Sensibilité des matériaux à la corrosion Dissolution des éléments par phénomène de pile entre matériaux de différentes natures	Zones étendues Culée porteuse
S18-1	Armatures de type bandes lisses en acier inoxydable ou en alliage d'aluminium	Idem	Zones étendues Section résiduelle faible, même localisée Culée porteuse
S18-2	Armatures de type bandes lisses ou crantées en acier galvanisé	Idem	Zones étendues Section résiduelle faible, même localisée Culée porteuse
S18-3	Armatures de type bandes lisses en acier ordinaire	Idem	Zones étendues Section résiduelle faible Culée porteuse

* Ces désordres résultent d'observations visuelles qui nécessitent l'extraction de témoins de durabilité ou l'exécution d'une fouille dans le cadre d'une inspection détaillée avec sondages.

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ARMATURES ET DISPOSITIFS D'ATTACHE (suite)		
S18-4	Armatures de type treillis soudé en acier galvanisé	Idem	Zones étendues Perte de la galvanisation Culée porteuse
S18-5	Armatures de type grillage en acier galvanisé	Idem	Zones étendues Perte de la galvanisation Culée porteuse
S18-6	Vis (acier galvanisé, acier inoxydable ou alliage d'aluminium) : . corrosion généralisée des filets, de la tête . destruction des filets par corrosion . réduction de la tête par corrosion . rupture par corrosion	Évolution de l'agressivité du matériau de remblai (infiltration d'agents agressifs dans le remblai) Présence de sols fins dans le remblai Sensibilité des matériaux à la corrosion Dissolution des éléments par phénomène de pile entre matériaux de différentes natures	Matériaux à potentiels électrochimiques différents Nombre de cas important Culée porteuse
S18-7	Écrous (acier galvanisé, acier inoxydable ou alliage d'aluminium) : . réduction de la galvanisation . corrosion généralisée . corrosion locale et profonde . réduction totale par corrosion	Évolution de l'agressivité du matériau de remblai (infiltration d'agents agressifs dans le remblai) Présence de sols fins dans le remblai Sensibilité des matériaux à la corrosion Dissolution des éléments par phénomène de pile entre matériaux de différentes natures	Matériaux à potentiels électrochimiques différents Nombre de cas important Culée porteuse
S18-8	Rondelles (acier galvanisé, acier inoxydable ou alliage d'aluminium) : . réduction de la galvanisation . corrosion perforante . réduction totale par corrosion	Évolution de l'agressivité du matériau de remblai (infiltration d'agents agressifs dans le remblai) Présence de sols fins dans le remblai Sensibilité des matériaux à la corrosion Dissolution des éléments par phénomène de pile entre matériaux de différentes nature	Matériaux à potentiels électrochimiques différents
S19*	Amorces (acier galvanisé, acier inoxydable ou alliage d'aluminium) : défauts d'ordre géométrique (pliures prononcées, torsion sans fissure, etc.)	Défaut de pose Dégradations aux transport et manipulations Tassement propre du massif Défaut de compactage	
S20*	Amorces : . fissures de fatigue (cas de l'acier inoxydable et de l'alliage d'aluminium) . fissures et déchirures . arrachage	Tassements propres du mur Efforts excessifs Pliages et dépliages lors des manutentions de transport et de montage Défaut de montage Défaut de compactage	Corrosion des amorces Nombre de cas important Culée porteuse Non remplacement à la pose
S21*	Armatures : défauts d'ordre géométrique (pliures prononcées, torsion, etc.)	Mouvements du mur (tassements, déplacements, déformation, etc.) Défauts de montage	
S22*	Profil en long des armatures exagérément variable et non linéaire (festonnage, notamment)	Tassements propres du mur Défauts de montage	Désordres constatés dans la zone proche du parement

* Ces désordres résultent d'observations visuelles qui nécessitent l'extraction de témoins de durabilité ou l'exécution d'une fouille dans le cadre d'une inspection détaillée avec sondages.

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ARMATURES ET DISPOSITIFS D'ATTACHE (suite)		
S23*	Vis : <ul style="list-style-type: none"> . vis manquantes . diamètre non adapté . pose à l'envers 	Défauts de mise en œuvre	Nombre de cas important Culée porteuse
S24*	Rupture des vis par cisaillement	Efforts locaux excessifs	Corrosion des vis Nombre de cas important Culée porteuse Boulonnerie en alliage d'aluminium
S25*	Écrous : <ul style="list-style-type: none"> . écrous manquants . serrage insuffisant 	Défauts de mise en œuvre	Nombre de cas important Culée porteuse Boulonnerie en alliage d'aluminium
S26*	Rondelles manquantes	Défauts de mise en œuvre	
	FONDATEMENTS EN SITE AQUATIQUE		
S27	Affouillement du lit du cours d'eau, de ses berges ou création de fosses d'érosion	Crue avec embâcle/débâcle	Mise à nu de la fondation du mur (semelle de réglage, notamment)
S28	Obstacle à l'écoulement des eaux (atterrissements, présence de végétation), amoncellement de corps flottants à proximité du mur	Crue	Début de contournement de l'ouvrage par les eaux
S29	Défauts d'éléments de protection (enrochements, parafouilles, etc.)	Actions des courants et des turbulences Chocs de corps flottants ou de bateaux Végétation	Mise en cause de la structure ou de la plate-forme
	FONDATEMENTS EN SITE TERRESTRE		
S30	Dégarnissage de la fondation	Ravinement au pied du mur Tassement du terrain au pied du mur Travaux en pied de mur	Écoulement de matériau en pied du mur
S31*	Contact semelle de réglage/parement	Tassement important Défaut de montage	Rupture de la paroi en pied

* Ces désordres résultent d'observations visuelles qui nécessitent l'extraction de témoins de durabilité ou l'exécution d'une fouille dans le cadre d'une inspection détaillée avec sondages.

ANNEXE II

Les critères pour une cotation IQOA

CLASSES D'ÉTAT DE LA COTATION IQOA

CLASSE 1

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

CLASSE 2

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

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

CLASSE 2 E

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

- dont les équipements ou le drainage présentent des défauts,
- ou dont la structure et/ou la zone d'influence présentent des défauts mineurs,

et qui nécessite **un entretien spécialisé urgent** (pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3, voire 3U).

CLASSE 3

Ouvrage

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

CLASSE 3U

Ouvrage

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

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

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

CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA

■ Zone d'influence (classe 1 à 3U)

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

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

CLASSE 2

- érosion et ravinement du sol.

CLASSE 1

- présence de végétation nuisible.

■ Équipements (classe 1 à 2E)

- cotation selon les modalités de la méthode IQOA.

■ Drainage et assainissement (classe 1 à 2E)

CLASSE 2E

- écoulement de fines du matériau de remblai,
- défaut du système d'assainissement pouvant entraîner des ruissellements d'eau chargée en agents agressifs (sels de déverglaçage).

CLASSE 2

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

CLASSE 1

- défaut du système d'assainissement dû à un défaut d'entretien.

■ Structure (classe 1 à 3U)

CLASSE 3U

- rupture d'armatures,
- corrosion anormalement importante des armatures (zone III) observée lors de l'extraction de témoins de durabilité ou de l'ouverture d'une petite fouille, et nécessitant de réaliser à brève échéance des investigations complémentaires par l'ouverture d'une grande fouille,
- après recalcul, pour un lit d'armatures, contrainte dans les armatures en moyenne supérieure à la limite élastique de l'acier.

CLASSE 3

- défaut d'adhérence des armatures provoquant des déplacements et déformations du parement,
- forte altération (chimique ou mécanique) des éléments du parement provoquant une fuite du matériau de remblai,
- insuffisance de la capacité portante du sol de fondation se traduisant par des déformations inadmissibles du mur,
- glissement du mur sur sa base se traduisant par des déformations inadmissibles du mur,
- corrosion anormalement importante des armatures (zone III) observée lors de l'extraction de témoins de durabilité ou de l'ouverture d'une petite fouille, et nécessitant de réaliser à une échéance de 5 ans des investigations complémentaires par l'ouverture d'une grande fouille,
- après recalcul, pour un lit d'armatures, contrainte dans les armatures en moyenne supérieure à celle résultant de l'application des textes mais inférieure à la limite élastique de l'acier,
- déplacements d'éléments de parement ou déformations du parement avec fuite de matériau de remblai,
- tassements différentiels provoquant une désorganisation et/ou des désordres structurels des éléments du parement.

CLASSE 2E

- corrosion importante des armatures (zone II) observée lors de l'extraction de témoins de durabilité ou de l'ouverture d'une petite fouille, et nécessitant de réaliser à une échéance de 5 ans une nouvelle inspection détaillée avec sondages,
- altération (chimique ou mécanique) des éléments du parement sans fuite du matériau de remblai,
- déplacement d'éléments de parement ou déformations du parement avec défauts d'ordre structurel et sans fuite de matériau de remblai,
- tassements différentiels avec déplacements admissibles d'éléments du parement.

CLASSE 2

- corrosion des armatures et dispositifs d'attache sans évolution anormale (zone I),
- après recalcul, pour un lit d'armatures, contrainte dans les armatures en moyenne inférieure à celle résultant de l'application des textes,
- déplacement d'éléments de parement ou de déformations du parement sans défaut d'ordre structurel et sans fuite de matériau de remblai,
- désordres structurels localisés d'éléments du parement.

CLASSE 1

- autres désordres mineurs.

ANNEXE III

Techniques, produits et dispositions constructives relatifs aux ouvrages en « Terre Armée »

Dans cette annexe, il a été tenté de regrouper par ordre chronologique les techniques, produits et dispositions constructives relatifs aux ouvrages en « Terre Armée » définitifs construits en France métropolitaine, à l'exclusion toutefois des structures industrielles maritimes et particulières (exemple : voûte) qui, en raison de leurs spécificités, sortent du cadre traité dans ce guide.*

* Selon diverses sources du réseau technique SETRA/LCPC/CETE (LRPC).

Les données sur les autres constructions réalisées ne nous sont pas connues à la date de parution de ce guide.

III.1. TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DEPUIS 1960/1964

Désignation	Nature des matériaux	Année d'introduction (études et expérimentations)	Année de première exploitation industrielle
1 Ouvrages de soutènement à parement non métallique			
. peau en éléments stratifiés	Chlorure de polyvinyle ou polyester armé de fibres de verre et de fils d'acier dur (épaisseur : 7 mm). Armatures en acier ordinaire ou lanières en Nylon, Tergal	1959-1960	
2 Ouvrages de soutènement à parement métallique			
. peau et armatures en éléments de cuivre	Cuivre pur qualité demi dur	1959-1960	
. peau et armatures en acier ordinaire	Acier ordinaire E 24.2		1965 1968 1970
. peau et armatures lisses en acier galvanisé	Acier E24.1 galvanisé en hauteur 0,25 à 0,50 m en hauteur 0,33 m		1968-1969
. peau et armatures en alliage d'aluminium	AG4 (Duralinox) lisse ou strié		
. peau et armatures en acier inoxydable	Aciers Z8C17 et F17 S / F18.10		1973
3 Ouvrages de soutènement à parement béton			
. Murs à écailles	Béton non armé Béton armé		1970-1971
4 Culées de ponts			
	Métallique ou béton		1975
5 Culées mixtes			
	Béton armé, armatures en acier galvanisé		1975
6 Armatures crantées à haute adhérence			
	Acier E24.2 galvanisé à chaud Acier E36.3 (ou Fe510c ou S355JO) galvanisé à chaud		1979 1982
7 Piles culées			
	Béton armé, armatures en acier galvanisé à haute adhérence		1982
8 Diversification des éléments de parement			
. mur vert (plaques rectangulaires), Terraflor . Terratrel . Terraset	Béton armé, armatures en acier galvanisé à haute adhérence Panneaux de treillis soudé galvanisé ou non Béton non armé		1983

III.2. TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ÉVOLUTION DES COMPOSANTS DEPUIS 1960/1964

Désignation	Date de début et de fin d'utilisation dans la construction	Dimensions principales	Matériaux	N° de fiche technique détaillée*
1 Éléments de parements standard et spéciaux				
1.1 Peau métallique				
. acier nu	1965	Section semi-elliptique Hauteur 0,25 à 0,50 m épaisseur 3, 4, 6 et 10 mm	Acier ordinaire E 24.2	
. acier nu	1970	Hauteur 0,33 m épaisseur 3 mm	Acier ordinaire E 24.2	9
. alliage d'aluminium	1968 - 1975	Section semi-elliptique Hauteur 0,33 m épaisseur 1,5, 2 et 3,5 mm	AG4 MC (duralinox)	
. acier galvanisé	1968	Hauteur 0,33 m épaisseur 3 mm	Acier E 24.1 galvanisé à chaud	11, 11 bis
. acier inoxydable	1969 - 1975	Hauteur 0,33 m épaisseur 3 mm	Acier austénitique Z8C17 état écroui	
1.2 Peau béton : écailles				
	1970 - 1971	1,50 × 1,50 m épaisseur 18, 22, 26 cm	Béton non armé et armé	4, 5, 4 bis, 5 bis, 5 ter
2 Armatures				
. plats en acier nu lisses	1964	200 × 30 à 60 mm Épaisseur 6 mm	Acier doux ordinaire	10
. plats en acier lisse galvanisé, à extrémités renforcées	1968 - 1976	60 × 3 ; 50 × 3 ; 90 × 3	Acier E 24.1 galvanisable	10
. plats en alliage d'aluminium, lisse ou strié	1968 - 1975	60 × 2	AG4 MC	
. plats en acier inoxydable	1973 - 1975	40 × 1 ; 120 × 1,5 mm	Acier austénitique 18.8 Z8C17	
. plats en acier cranté ordinaire	1975	40 × 5 ; 60 × 5 mm	Acier E 24.2	2
. plats en acier galvanisé cranté	1977	40 × 5 ; 60 × 5 mm	Acier E 24.1	1, 12
. plats en acier galvanisé renforcé en about	1976 1982	45 × 5 ou 8 mm 45 × 5 ou 8 mm	Acier E 24.1 Acier E36.3	1 bis 2 bis
3 Amorces				
. modèle individuel	1969 - 1970	60 × 4 ou 2 mm	Acier E 24.1 galvanisé	4, 5
. mono scellement	1982	45 × 4 mm	Acier E 36.3 galvanisé	3 bis
. modèle double (continu dans le béton de l'écaille)	1968 - 1975	60 × 2 mm 40 × 1 mm 120 × 1,5 mm	AG4 MC Z8C17 Z8C17	

* Il s'agit des fiches techniques figurant en annexe aux documents « Les ouvrages en Terre Armée - Recommandations et règles de l'art » SETRA/LCPC édition 1979 et réédition 1991.

III.2. TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ÉVOLUTION DES COMPOSANTS DEPUIS 1960-1964 (SUITE)

Désignation	Date de début et de fin d'utilisation dans la construction	Dimensions principales	Matériaux	N° de fiche technique détaillée*
4 Accessoires (éclisses, couvre joints, joints, goujons d'articulation, etc.)				
. éclisses de raccordement lisses	1975	60 × 4 mm	Acier E 24.1 galvanisé	6
. couvre-joints en acier nu ordinaire	1964	Section semi elliptique épaisseur 3, 4, 6 et 10 mm	Acier E 24.2 Hauteur 0,25 et 0,50 m	
. couvre-joints en acier nu ordinaire	1970	Hauteur 0,33 m épaisseur 3 mm	Acier E 24.2	
. couvre-joints en acier galvanisé	1968	Hauteur 0,33 m épaisseur 3 mm	Acier E 24.1 Acier E 24.1	
. couvre-joint en alliage d'aluminium	1968 - 1975	Hauteur 0,33 m épaisseur 1,5, 2 et 3,5 m	AG4 MC	
. couvre-joints en acier inoxydable	1969 - 1975	Hauteur 0,33 m épaisseur 3 mm	Z8 C17	
. goujons d'articulation (écailles)	1970 1971	φ 20 mm φ 20 mm	Acier E 24.2 Acier E 24.1 galvanisé	4 5
. joints horizontaux : bandes d'appui	1970	1250 × 60 × 20 mm 1250 × 800 × 20 mm 1250 × 100 × 20 mm	Agglomérat de liège aux résines époxydes	4
plots d'appuis	1980	60 × 60 × 20 mm 80 × 80 × 20 mm 100 × 100 × 20 mm	Caoutchouc	5 8 bis
. joints verticaux	1970	40 × 40 mm	Mousse de polyuréthane	4 5
5 Boulonnerie				
Pour parement métallique				
. boulons en acier ordinaire	1965 - 1969	φ 10 et 14 mm	HM 8.8	
. boulon en acier galvanisé	1969	φ 10 et 14 mm	HM 8.8 - XC 38 écroui	13
. boulons en alliage d'aluminium	1968 - 1969	φ 12 mm	AG4S anodisé	
. boulons en acier inoxydable	1969 - 1973	φ 12 mm	Vis 18.8 en F 17 Écrou en F 17s ou F 18.10	
Pour parement en béton				
. boulons en acier	1970	φ 10 et 14 mm	HM 8.8 - XC 38 écroui	7
. boulons en acier HR 1991	1991	φ 12 mm	HR10-9 - M 12 × 30 classe B	7bis
. boulons en alliage d'aluminium	1968 - 1975	φ 12 mm	AG4S anodisé	
. boulons en acier inoxydable	1973 - 1975	φ 12 mm	Vis 18.8 en F 17 Écrou en F 17S ou F 18.10	
6 Témoins de durabilité				
. Témoin de corrosion et de potentiel (0,60 m)	1979 1986	lisse galvanisé cranté galvanisé	E 24.1 E 24.1	14 15

III.3. FICHES TECHNIQUES*

N° de référence	Désignations
1	Armature à haute adhérence en acier galvanisé
1bis	Armature à haute adhérence renforcée (HAR) - acier galvanisé
2	Armature à haute adhérence en acier ordinaire
2bis	Armature à haute adhérence renforcée (HAR) - acier ordinaire
3	Amorce pour armatures à haute adhérence non renforcée
3bis	Amorce pour écaille d'épaisseur 14 cm et armature à haute adhérence renforcée
4	Écaille en béton non armé modèle 1969
4bis	Écaille en béton non armé modèle A4, épaisseur 14 cm
5	Écaille en béton armé modèle 1969
5bis	Écaille en béton armé modèle C4, épaisseur 14 cm
5ter	Écaille en béton armé modèle C6, épaisseur 14 cm
6	Éclisses pour armatures à haute adhérence
7	Boulonnerie pour armatures à haute adhérence non renforcées
7bis	Boulonnerie pour armatures à haute adhérence renforcées
8	Joint composite liège-résine, pour écailles en béton
8bis	Plaque d'appui et joint caoutchouc pour écaille en béton, épaisseur 14 cm
9	Éléments de peau en acier ordinaire pour ouvrages à parement métallique avec agrafe (hauteur 0,333 m)
10	Armatures en acier ordinaire pour ouvrages à parement métallique
11	Éléments de peau en acier galvanisé pour ouvrages à parement métallique avec agrafe (hauteur 0,333 m)
11bis	Éléments de peau en acier galvanisé pour ouvrages à parement métallique avec attaches haut et bas (hauteur 0,387 m)
12	Armatures en acier galvanisé pour ouvrages à parement métallique
13	Boulonnerie en acier galvanisé pour ouvrages à parement métallique
14	Témoin de durabilité - Écaille KD
15	Témoin de potentiel - Écaille KP

* Il s'agit des fiches techniques figurant en annexe aux documents « Les ouvrages en Terre Armée - Recommandations et règles de l'art » SETRA/LCPC édition 1979 et réédition 1991.

ANNEXE IV

Conditions pour la préparation, le suivi d'exécution et la reconstitution de petites et grandes fouilles



FIGURE 41 - *Petite fouille.*



FIGURE 42 - *Grande fouille.*


IV.1. TRAVAUX PRÉPARATOIRES ET EXÉCUTION

Fouille de petites dimensions (1,5 × 1,5 × 1,5 m) (Fig. 41)	Fouille de grandes dimensions (ou sur la hauteur maximale de 3 × 3 à 5 × 3 m) (Fig. 42)	Illustrations
<p>Examen du dossier de construction pour reconnaissance des matériaux de remblaiement</p> <p>Constitution d'un DCE</p> <p>Récupération d'éléments de construction (armature, boulonnerie, etc.) de même nature et section résistante, en nombre suffisant, permettant de remplacer les échantillons à prélever ou de reconstituer les armatures rompues</p> <p>Choix d'un matériau de remblaiement adapté et optimisation des moyens à mettre en œuvre pour rétablir la compacité et l'homogénéité du milieu</p> <p>Étude de mise en sécurité des équipes d'intervention (notice hygiène et sécurité)</p> <p>Déclaration d'Intention de Commencer les Travaux (DICT)</p>	<p>Examen du dossier de construction pour reconnaissance des matériaux de remblaiement (Fig. 43)</p> <p>Constitution d'un DCE</p> <p>Récupération d'éléments de construction (armature, boulonnerie, etc.) de même nature et section résistante, en nombre suffisant, permettant de remplacer les échantillons à prélever ou de reconstituer les armatures rompues</p> <p>Étude (conception et calcul) de la mise en place d'un dispositif d'étaie en face extérieure (notamment dans le cas d'une culée (Fig. 44)</p> <p>Étude de la mise en place d'une protection contre les arrivées d'eaux accidentelles au sein du massif</p> <p>Choix d'un matériau de remblaiement adapté et optimisation des moyens à mettre en œuvre pour rétablir les compacités et l'homogénéité du milieu</p> <p>Étude de mise en sécurité des équipes d'intervention (notice hygiène et sécurité)</p> <p>Déclaration d'Intention de Commencer les Travaux (DICT)</p> <p>Exécution d'un blindage au fur et à mesure de la progression de la fouille, permettant d'intervenir en sécurité et d'effectuer le repliement provisoire des lits d'armatures afin d'en favoriser l'examen et d'éviter leurs dégradations par les travaux (Fig. 45)</p> <p>Dans le cas où des contraintes particulières empêchent l'étaie extérieur</p> <ul style="list-style-type: none"> . terre armée en site aquatique . terre armée sur autoroutes ou voies (dont SNCF) à fort trafic . terre armée en site montagneux d'accès difficile <p>Limitation de la largeur (à une échelle par exemple) et de la hauteur de la fouille</p>	<div data-bbox="1145 443 1471 900" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1182 909 1433 965">FIGURE 43 - Excavation soignée de la fouille.</p> <div data-bbox="1155 992 1474 1442" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1193 1451 1437 1507">FIGURE 44 - Étaie extérieur du parement.</p> <div data-bbox="1155 1534 1474 1984" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1158 1995 1465 2051">FIGURE 45 - Blindage intérieur d'une grande fouille.</p>

IV.1. TRAVAUX PRÉPARATOIRES ET EXÉCUTION (SUITE)

Fouille de petites dimensions (1,5 × 1,5 × 1,5 m)	Fouille de grandes dimensions (ou sur la hauteur maximale de 3 × 3 à 5 × 3 m)	Illustrations
	<p>Pas de démontage des armatures (sauf celles choisies pour les prélèvements, et alors une à une) et soin extrême apporté à la conduite du terrassement de la fouille</p> <p>Bridage transversal des écaïlles entre elles</p>	

IV.2. INVESTIGATIONS EN COURS D'EXÉCUTION

Techniques d'investigations	Méthodes utilisées	Illustrations
Relevés des dimensions de la fouille	Lasermètre	 <p>FIGURE 46 - Prélèvement de tronçons d'armatures et reconstitution.</p>
Relevés de la nature, de l'état et des épaisseurs des matériaux traversés	Description géotechnique	
Relevés de la géométrie des armatures et des pattes d'attaches	Nivellement	
Relevé de l'état du parement interne des écaïlles	Cartographie	
Relevés de l'état structural des armatures, de la boulonnerie et des attaches ainsi que de leurs protections	Cartographie (Fig. 47) Contrôle d'épaisseur de galvanisation	
Prélèvements de matériaux de sol (un par type de sol)	Tarrière à main	
Prélèvements de tronçons d'armatures (1 à 3 selon état) de 0,3 à 0,4 m de longueur, répartis sur la largeur et la hauteur de la fouille (Fig. 46)	Coupes, repérages, rétablissement de la continuité avec double éclisse boulonnée	
Prélèvement d'échantillons de béton d'écaïlles altéré (parement béton)	Micro carottage	
Prélèvement d'éléments de la boulonnerie selon état		

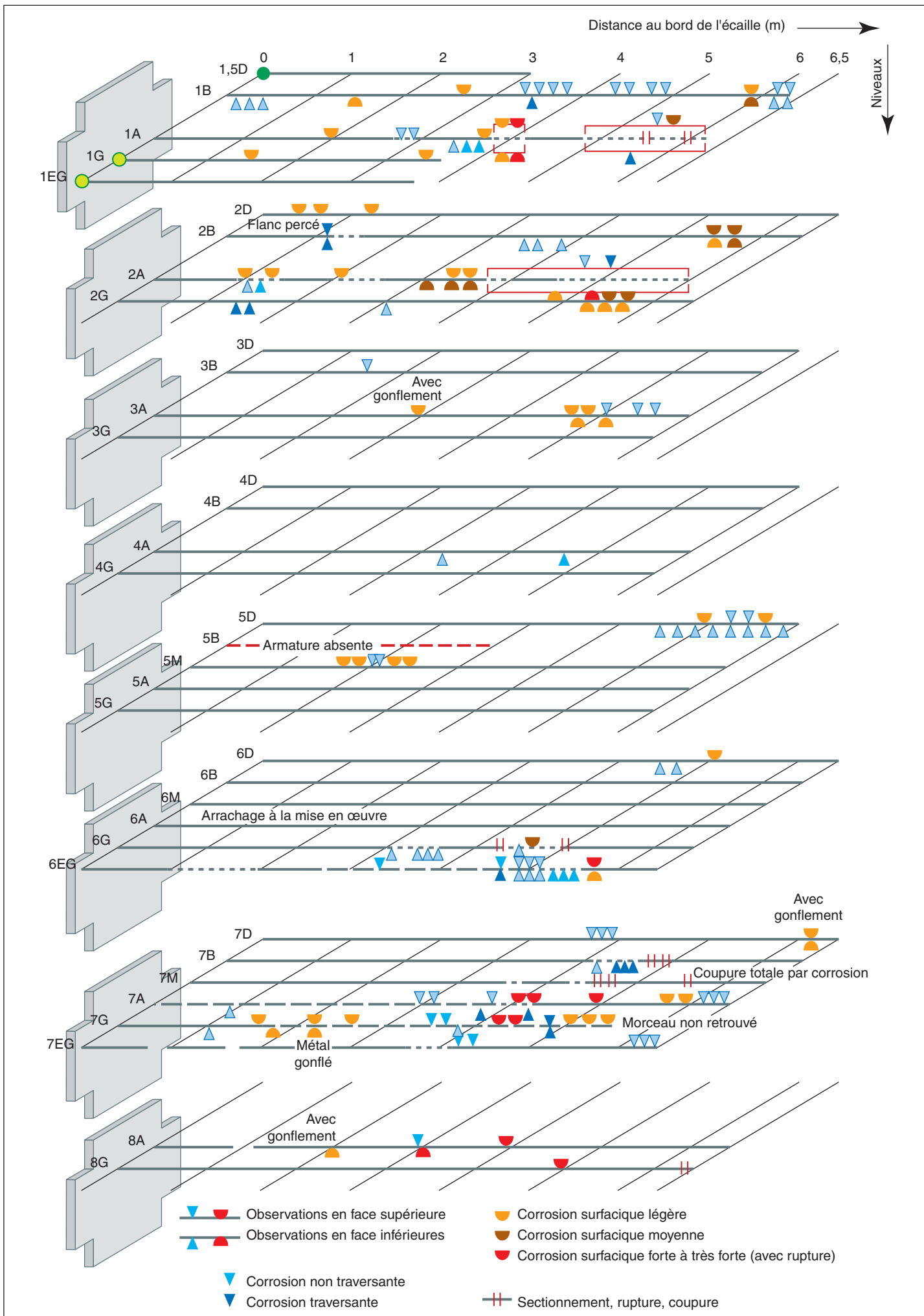



FIGURE 47 - Exemple de relevé de l'état d'armatures en acier inoxydable.

IV.3. TRAVAUX DE RECONSTITUTION

Phasage des travaux	Illustrations
<ul style="list-style-type: none">. Début d'exécution du remblaiement par compactage du fond de fouille (Fig. 48). Remblaiement par couches successives de 0,40 m maximum en prenant soin de constituer sous les différents lits d'armatures un soin de matériau légèrement surélévé par rapport au reste du volume remblayé, pour prévenir les éventuels tassements ultérieurs. Enlèvement progressif du blindage et compactage soigné aux liaisons entre l'ancien et le nouveau remblai. Pour la grande fouille qui a entraîné le déboulonnage complet ou partiel des armatures, reconstitution de toutes les attaches des lits d'armatures. Reconstitution finale des conditions de protection et de portance du revêtement (sol traité et étanché)	 <p data-bbox="1011 725 1471 757">FIGURE 48 - Compactage du fond de fouille.</p>

Annexe A **91**

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

1. Reconnaissance	92
2. Préparation de l'intervention	92
3. Intervention <i>in situ</i>	93
4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée	94
5. Rédaction de la note de synthèse	94
6. Réunion de synthèse	94

Annexe B **95**

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

Annexe C **101**

Fiche de synthèse IQOA

ANNEXE A

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

1. Reconnaissance

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

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

Il est rappelé que :

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

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

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

2. Préparation de l'intervention

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

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

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

3. Intervention *in situ*

Elle comprend pour l'équipe d'intervention :

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

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

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

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

4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée

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

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

5. Rédaction de la note de synthèse

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

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

6. Réunion de synthèse

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

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

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

ANNEXE B

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

N° de l'ouvrage :../.../..

Date : ../.../..

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

1. DONNÉES ADMINISTRATIVES ET DE REPÉRAGE

1.1 Nom du soutènement

1.2 Service gestionnaire

1.3 Commune

1.4 Voie de rattachement

1.4.1 Type de voie

1.4.2 Numéro de voie

1.4.3 Pr + Abscisse début du soutènement

1.5 Autre voie concernée par le soutènement

2. EMPLACEMENT DU SOUTÈNEMENT

2.1 Localisation du soutènement

2.2 Position du soutènement

2.3 Éloignement du soutènement par rapport aux voies

3. DESCRIPTION DU SOUTÈNEMENT

3.1 Géométrie du soutènement

3.2 Constitution

3.3 Modifications

3.4 Autres ouvrages liés au soutènement

4. FACTEURS DE RISQUE DE DÉSORDRES

N° de l'ouvrage :../../..

Date : ../../..

5. SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE

5.1 Documents de référence

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

5.1.2 Date (ou année) de la dernière inspection détaillée

5.1.3 Dossier d'ouvrage (emplacement)

5.2 Investigations ou suivis spécifiques mis en œuvre

(depuis la dernière action de surveillance)

5.3 Régime de surveillance (périodicité des actions de surveillance)

5.4 Mesures de sécurité particulières

5.5 Conditions d'exécution de l'IDP

5.5.1 Date

5.5.2 Ingénieur(s) responsable(s)

5.5.3 Équipe d'inspection

5.5.4 Moyens mis en oeuvre

5.5.5 Météo

5.5.6 Température ambiante

5.5.7 Particularités de l'intervention

6. CONSTATATIONS

6.1 Zone d'influence

■ En partie supérieure du soutènement

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

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

■ En contrebas du soutènement

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

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

6.2 Équipements

■ En partie supérieure du soutènement

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

N° de l'ouvrage : ../../..

Date : ../../..

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

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

Autres équipements.

■ En contrebas du soutènement

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

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

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

Autres équipements.

6.3 Drainage et assainissement

■ Interne

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

■ En partie supérieure du soutènement

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

■ En contrebas du soutènement

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

6.4 Structure

■ Soutènement

■ Fondations

■ Élément de renforcement ou de réparation antérieur

N° de l'ouvrage :../../..

Date : ../../..

7. MESURES EFFECTUÉES DANS LE CADRE DE L'INSPECTION

8. ESSAIS, RECONNAISSANCES

9. NOTE DE SYNTHÈSE

A - Conclusions de la dernière action de surveillance

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

C - Conclusions de l'inspection détaillée

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

C1.1 - Zone d'influence

C1.2 - Équipements

C1.3 - Drainage et assainissement

C1.4 - Structure

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

C3 - Propositions de mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde

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

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

10. ANNEXES AU RAPPORT

Annexe Plans de l'ouvrage

Annexe Plans et schémas des défauts et des désordres

Annexe Dossier photographique

ANNEXE C

Fiche de synthèse IQOA

FICHE DE SYNTHÈSE

Identification de l'ouvrage :

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

ÉQUIPEMENTS		
	CDOA	
Au-dessus - Chaussée - Trottoirs, bordures et accotements - Dispositifs de retenue - Autres équipements	CLASSE	S
	CDOA	
En contrebas - Chaussée - Trottoirs, bordures et accotements - Dispositifs de retenue - Autres équipements	CLASSE	S
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		
* La classe de synthèse de l'ouvrage est en principe la plus élevée de celles relatives à chacune des parties constitutives.		

JUSTIFICATIFS DES COTATIONS DE SYNTHÈSE

Document publié par le LCPC : sous le numéro 51123119
Conception et réalisation : LCPC-IST, Marie-Christine Pautré
Dessins : LCPC-IST, Philippe Caquelard
Crédits photographiques : Réseau des LPC - SETRA - Société Terre Armée
Flashage-Impression : Bialec - Nancy (France)
Dépôt légal : 3e trimestre 2003 - N° 58966



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.