

**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 murs en remblai renforcé**  
**par éléments géosynthétiques**

## 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 éléments géosynthétiques**

Guide technique

Juillet 2003



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

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

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

- O. Combarieu (LRPC de Rouen)
- R. Dagba (SETRA puis LROP)
- M. Delannoy (LRPC de Nancy)
- E. Delahaye (CDOA Nord)
- L. Delattre (LCPC), animateur
- S. Fauchet (LREP)
- J.-P. Gigan (LREP)
- G. Haiun (SETRA)
- A. Lelièvre (LRPC de Rouen)
- B. Mahut (LCPC), animateur
- D. Malaterre (LRPC de Toulouse), rédacteur du présent fascicule
- C. Maurel (SETRA)
- M. Michel (LRPC de Lille)
- C. Mieussens (LRPC de Toulouse), rédacteur du présent fascicule
- 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 :

- J.-P. Benneton (LRPC de Lyon)
- B. Godart (LCPC)
- M. Khay (CER de Rouen)
- J.-P. Magnan (LCPC)
- N. Vo Dinh (DDE 09)

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

Pour commander cet ouvrage :

**Laboratoire Central des Ponts et Chaussées**  
**IST-Diffusion des Editions**

58, boulevard Lefebvre  
F-75732 PARIS CEDEX 15

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

**Prix** : 23 Euros HT

En couverture : Mur en remblai renforcé EBAL-LCPC.

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 : 2-7208-3113-1

# Sommaire

## ■ *Présentation générale commune à tous les fascicules* .....5



## RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX MURS EN REMBLAI RENFORCÉ PAR ÉLÉMENTS GÉOSYNTHÉTIQUES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introduction</b>   | <b>11</b> |
| <b>2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi</b>                         | <b>12</b> |
| 2.1 <i>Principe de fonctionnement</i>  | 12        |
| 2.1.1 Fonctionnement interne   | 13        |
| 2.1.2 Fonctionnement externe   | 14        |
| 2.2 <i>Domaine d'emploi</i>  | 15        |
| <b>3. Description de l'ouvrage</b>   | <b>16</b> |
| 3.1 <i>Structure</i>   | 16        |
| 3.1.1 Description générale   | 16        |
| 3.1.2 Les parements  | 24        |
| 3.1.3 Les éléments de renforcement géosynthétiques                               | 24        |
| 3.1.4 Le remblai   | 25        |
| 3.2 <i>Zone d'influence</i>  | 26        |
| 3.2.1. Les terrains associés   | 26        |
| 3.2.2. La nappe  | 26        |
| 3.3 <i>Équipements</i>   | 27        |
| 3.4 <i>Drainage et assainissement</i>  | 27        |
| 3.5 <i>Dispositifs de suivi</i>  | 28        |
| 3.5.1. Systèmes de contrôles et de mesures mis en œuvre en cours de construction | 28        |
| 3.5.2. Mesures pouvant être organisées au cours de la vie de l'ouvrage           | 29        |
| <b>4. Origine des défauts et désordres</b>                                       | <b>33</b> |
| 4.1 <i>Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage</i>              | 33        |
| 4.2 <i>Mauvaise exécution</i>  | 33        |
| 4.3 <i>Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques</i>    | 34        |
| 4.4 <i>Défaut d'entretien</i>  | 34        |

## **5. Inspection détaillée** **35**

|  |    |
|--|----|
| <i>5.1 Organisation et déroulement</i> .....     | 35 |
| <i>5.2 Relevé des défauts et désordres</i> ..... | 36 |
| <i>5.3 Facteurs de risque de désordres</i> ..... | 37 |
| <i>5.4 Prédiagnostic</i> .....                   | 39 |
| <i>5.5 Cotation IQOA</i> .....                   | 43 |

## **6. Diagnostic** **43**

|  |    |
|--|----|
| <i>6.1 Démarche générale</i> .....                               | 43 |
| <i>6.2 Du prédiagnostic au diagnostic</i> .....                  | 44 |
| <i>6.3 Techniques d'investigation</i> .....                      | 47 |
| 6.3.1 Actualisation des mesures de déplacement et de suivi ..... | 47 |
| 6.3.2 Réalisation de fouilles .....                              | 47 |
| <i>6.4 Recalcul de l'ouvrage</i> .....                           | 48 |

## **7. Entretien et réparation** **48**

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <i>7.1 Entretien courant</i> .....    | 48 |
| <i>7.2 Entretien spécialisé</i> ..... | 48 |
| <i>7.3 Réparations</i> .....          | 49 |

## **8. Bibliographie** **49**

|   |    |
|---|----|
| <b>ANNEXE I</b> CATALOGUE DES DÉFAUTS ET DÉSORDRS APPARENTS ..... | 53 |
| <b>ANNEXE II</b> LES CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA .....        | 61 |

## **■ Annexes communes à tous les fascicules** **65**

|   |    |
|---|----|
| <b>ANNEXE A</b> ÉLÉMENTS D'UN CAHIER DES CHARGES TYPE D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE (IDP) D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT ..... | 67 |
| <b>ANNEXE B</b> MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT .....                            | 71 |
| <b>ANNEXE C</b> FICHE DE SYNTHÈSE IQOA .....  | 77 |

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

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

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

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

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

# 1. Description générale de chaque fascicule

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Au CHAPITRE 8** : une bibliographie.

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

## 2. Principe de la méthodologie de diagnostic

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

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

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

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

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

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

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

### **3. Cotation IQOA**

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

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

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



# RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX MURS EN REMBLAI RENFORCÉ PAR ÉLÉMENTS GÉOSYNTHÉTIQUES



## 1. Introduction

L'utilisation des géotextiles synthétiques dans le génie civil remonte aux années 1960, avec une utilisation limitée essentiellement alors à un rôle de filtre anticontaminant.

Ce n'est qu'au cours des années 1970 que leur utilisation en renforcement des sols commence à se développer. On peut se reporter en particulier au colloque international sur le renforcement des sols (Paris 20-22 Mars 1979\*) pour trouver quelques exemples d'applications (barrages renforcés, soutènements, déversoirs), en plus d'articles sur les principes théoriques de leur fonctionnement.

Ce document s'adresse aux gestionnaires et aux personnels chargés de l'inspection détaillée, du suivi et du diagnostic de ces ouvrages.

Après un rappel des principes de fonctionnement de la structure, de son domaine d'emploi, de ses éléments constitutifs et des principales causes des désordres pouvant l'affecter, le document propose une méthodologie de diagnostic de l'état des ouvrages. Ce diagnostic est mené de façon progressive, en partant de l'analyse des désordres observés sur l'ouvrage et des facteurs de risque auxquels il est exposé et en faisant appel à des moyens d'investigation complémentaires le cas échéant.

En annexe II figure une présentation des critères permettant d'aboutir à une cotation IQOA de l'ouvrage.

***Ce document traite uniquement des murs en remblais renforcés par éléments géosynthétiques (nappes et bandes).***

Les murs du même type, renforcés par des éléments de renforcement métalliques, font l'objet d'un autre guide. Les ouvrages constitués d'un mélange de sols et de fibres (par exemple, les murs de type Texsol) et les ouvrages en « Pneusol » ne sont pas abordés dans ce document.

Enfin, les ouvrages qui ont été réparés ou renforcés par clouage ou tout autre procédé, ne sont pas traités dans ce guide. Toutefois, on pourra s'en inspirer pour réaliser l'inspection détaillée de ces ouvrages particuliers.

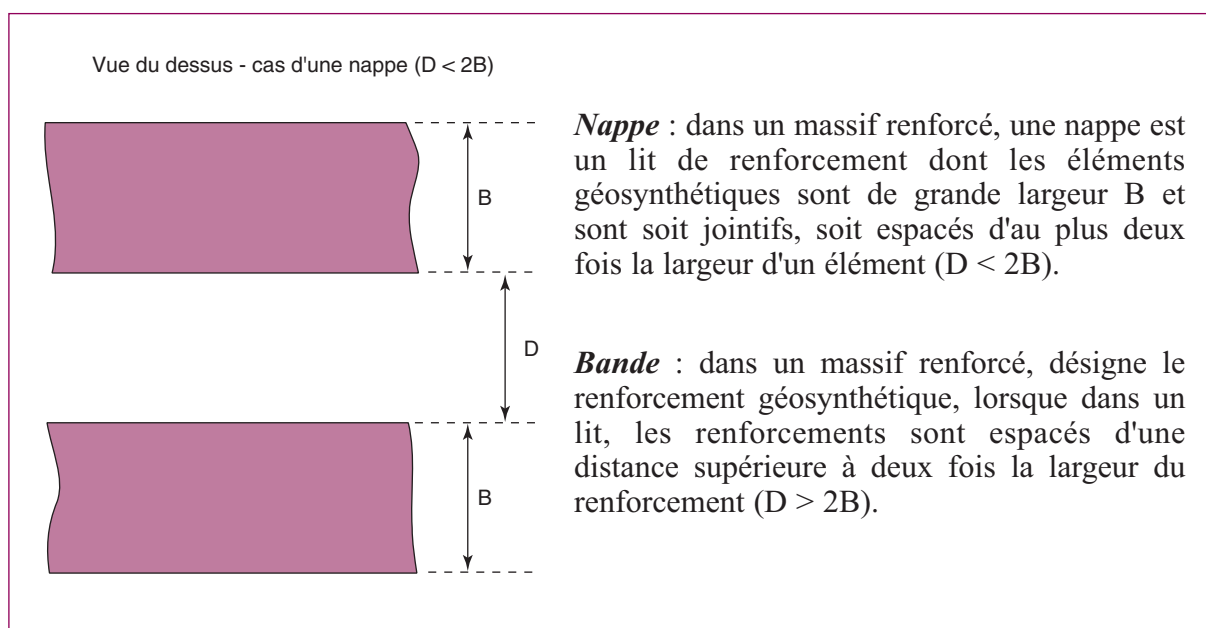
---

\* Éditée par l'Association Amicale des Ingénieurs Anciens Élèves de l'ENPC.

## 2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

### 2.1 Principe de fonctionnement

Les ouvrages de soutènement en remblai renforcé par inclusions géosynthétiques sont constitués d'un massif de remblai mis en place par couches successives compactées, entre lesquelles sont disposés des éléments de renforcement géosynthétiques : les nappes de géotextile, de géogrille ou bandes.

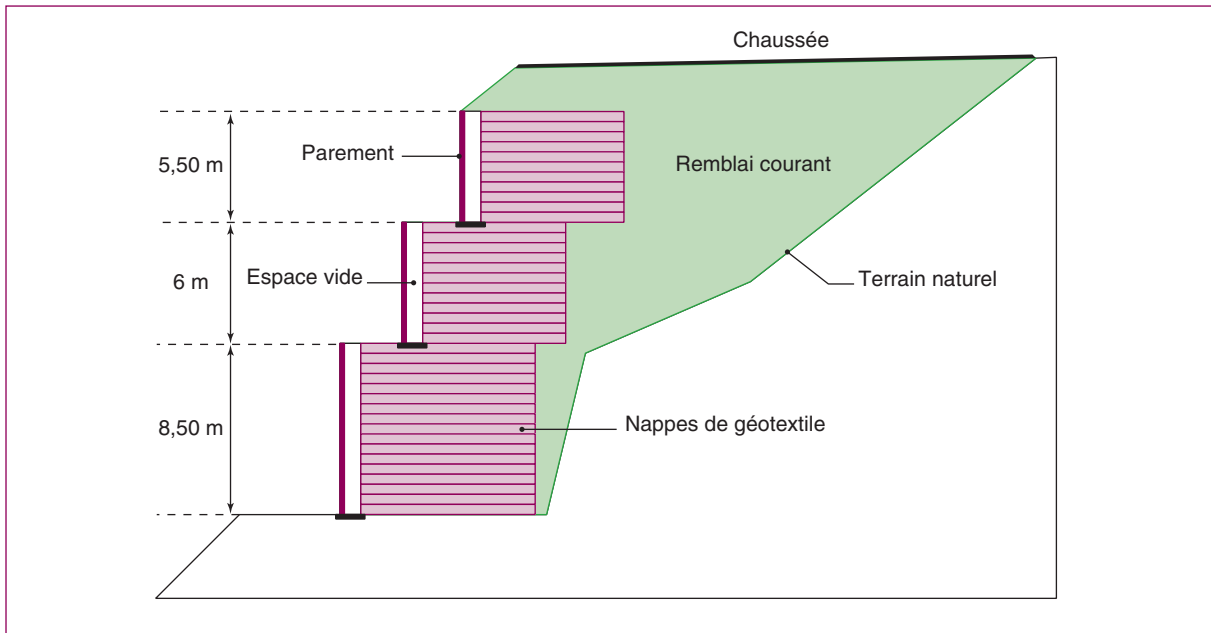


Les longueurs des éléments de renforcement (bandes ou nappes) et les espacements verticaux entre lits ne sont pas forcément constants sur toute la hauteur de l'ouvrage.

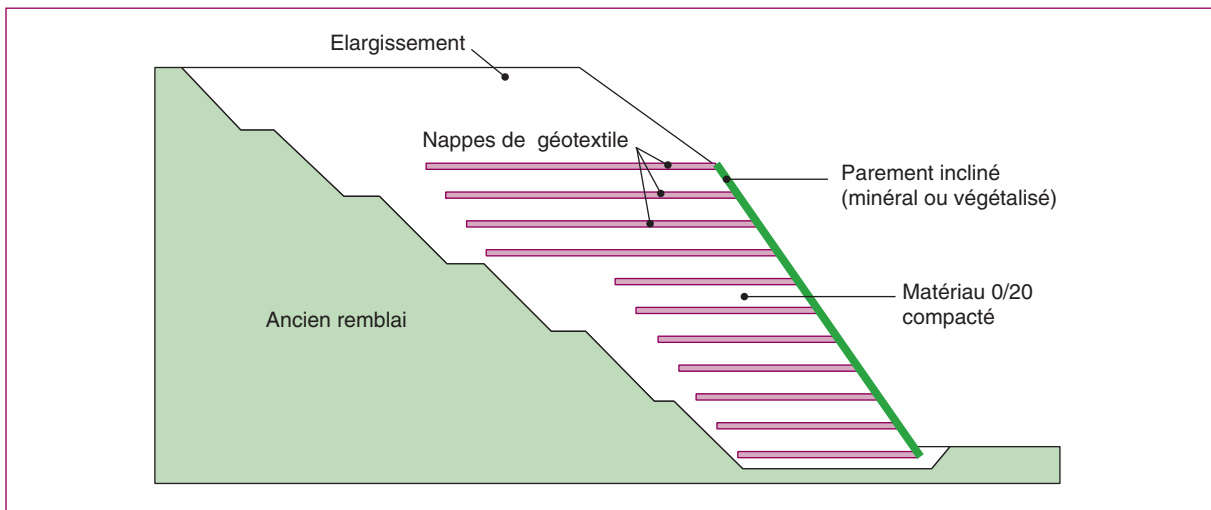
Les éléments de renforcement sont disposés horizontalement. De plus, la pente longitudinale doit être nulle, ou quasiment nulle.

Comme le montrent les figures 1 et 2, le parement aval peut être vertical ou assez fortement incliné et de nature très variée selon les procédés de construction. Différentes technologies peuvent être utilisées pour constituer le parement. On peut mettre en place, par exemple :

- un parement constitué de panneaux de pleine hauteur, généralement non liaisonnés aux éléments de renforcements géosynthétiques et servant uniquement de protection (Fig. 1) ;
- un parement constitué d'écailles où sont fixés les éléments de renforcement (bandes géosynthétiques) ;
- un parement cellulaire, constitué d'éléments empilés (généralement, des blocs préfabriqués). Les renforcements sont fixés au parement par un dispositif d'accrochage ou simplement pincés entre deux blocs ;
- une protection par végétalisation (Fig. 2).



**FIGURE 1** - Ouvrage en remblai renforcé par nappes de géotextile à parements verticaux et indépendants.



**FIGURE 2** - Ouvrage en remblai renforcé par nappes de géotextile à parement incliné.

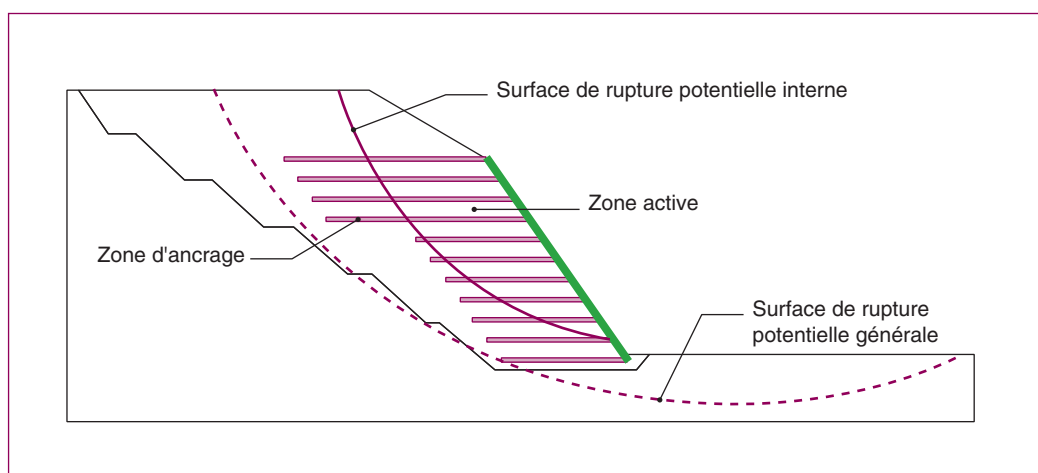
### 2.1.1 Fonctionnement interne

La stabilité des ouvrages en remblai renforcé par éléments géosynthétiques est assurée, comme pour les ouvrages en remblai renforcé par armatures peu extensibles (Terre Armée, etc..), par le frottement entre le sol et les éléments de renforcement géosynthétiques, capables de supporter des efforts de traction.

Le remblai transmet par frottement aux inclusions géosynthétiques les efforts qui se développent dans la masse ; ces inclusions se mettent alors en tension et tout se passe comme si le remblai possédait, dans les directions où sont placés les éléments de renforcement, une résistance à la traction dont la valeur est directement proportionnelle aux efforts repris par les nappes ou les bandes.

Celles-ci reportent les efforts de la zone active, à l'aval (zone où le remblai a tendance à entraîner les nappes ou les bandes), vers la zone d'ancrage à l'arrière du massif (zone où le remblai a tendance à retenir ces nappes).

La figure 3 schématise les principes de base de ce fonctionnement. Le calcul de stabilité interne consiste à vérifier pour les surfaces potentielles de rupture les plus critiques que, d'une part, les longueurs d'ancrage sont suffisantes pour reprendre les efforts par frottement et, d'autre part, tous les éléments géosynthétiques (nappes ou bandes) ont une résistance suffisante pour reprendre ces efforts.



**FIGURE 3 - Stabilité interne et externe des ouvrages en remblai renforcé.**

La stabilité interne fait aussi intervenir d'autres critères, tels que la résistance au cisaillement du sol et la résistance à l'ancrage des géosynthétiques, fonction du frottement relatif sol - géosynthétique et de leur résistance ultime.

Selon le type de parement, le géosynthétique peut être libre ou accroché au parement, ce qui correspond à un fonctionnement mécanique différent dont il est tenu compte dans les méthodes de calcul.

Dans le cas d'un accrochage au parement, il existe une tension de liaison dont il faudra contrôler la pérennité.

Si la liaison est libre, le parement n'intervient pas directement dans la stabilité générale ; toutefois, il faut vérifier la stabilité propre du parement, dont la dégradation peut avoir des conséquences préjudiciables (érosion régressive, perte de matériau, etc.), difficiles à évaluer, même si, théoriquement, seule l'esthétique de l'ouvrage renforcé est concernée.

On notera que dans tous les cas il existe un parement, dont la fonction est, en particulier, d'assurer la stabilité locale du talus, dont la pente est généralement plus forte que la pente naturelle du matériau de remblai.

## 2.1.2 Fonctionnement externe

### Stabilité externe

En tant qu'ouvrage de soutènement des terres situées à l'arrière, ces ouvrages ont un fonctionnement du type « mur-poids ».

Le fonctionnement externe de ces ouvrages en remblai renforcé ne diffère donc pas de celui des ouvrages de soutènement les plus classiques, de type mur-poids en maçonnerie ou en béton. Il repose sur la portance du sol de fondation et sur la résistance au glissement de l'ouvrage à son interface avec le sol de fondation. S'agissant d'un ouvrage souple et de grande largeur à la base, le problème du renversement ne se pose généralement pas.



## Stabilité globale

La stabilité globale est vérifiée vis-à-vis du grand glissement selon une surface enveloppe du massif renforcé (cf. Fig. 3). Les calculs de stabilité globale sont souvent déterminants dans le dimensionnement de ces ouvrages (emprises, longueur des nappes).

## 2.2 *Domaine d'emploi*

Ce type d'ouvrage souple est essentiellement employé pour la réalisation d'ouvrages en remblai, généralement en site terrestre.

Il est bien adapté dans les cas suivants :

- réduction des emprises par rapport à un remblai courant,
- élargissement de remblai, avec fondation à mi-talus,
- alternative à un mur classique lorsque le sol support a des caractéristiques mécaniques insuffisantes (risques de tassements généraux ou différentiels, portance faible qui aurait nécessité des pieux pour un ouvrage en béton, etc.),
- possibilité d'utiliser des matériaux ayant un pourcentage de fines plus élevé (moyennant certaines précautions), dans le seul cas des remblais renforcés par nappes continues, par rapport aux ouvrages renforcés par des armatures métalliques ou en bandes,
- intégration au site pour les parements inclinés et végétalisés,
- insensibilité à la corrosion et neutralité vis-à-vis des courants vagabonds.

Ce type d'ouvrage s'adapte bien, également, à des techniques d'amélioration du sol support, telles que les colonnes ballastées, le pilonnage ou toute autre solution d'amélioration de la portance au moyen d'inclusions.

Des ouvrages de grande hauteur ont déjà été réalisés, généralement sous la forme de gradins, en superposant plusieurs murs élémentaires verticaux de 7 à 8 mètres. Avec des parements inclinés entre 65 et 70 degrés au plus (pour la végétalisation), il existe actuellement des murs de plus de 25 mètres de hauteur.

**Une limite d'emploi de cette technique** est liée à la déformation relativement importante des éléments de renforcement géosynthétique (nappes et bandes), qui va se traduire, en partie haute, par un déplacement cumulé incompatible avec certaines structures non déformables (proximité d'un ouvrage, chaussée rigide...). À titre indicatif, on a mesuré plus de 8 cm de déplacement horizontal différé, en tête des murs représentés sur la figure 2 (pour une hauteur totale de 20 mètres), sans qu'il y ait eu, toutefois, de fissure sur la chaussée.

Les méthodes de calcul actuelles permettent d'évaluer la stabilité interne et générale et de donner une estimation des déformations pendant la construction.

Le projet de norme XP G 38064 propose également une méthode de détermination des déformations post-construction, sous la forme d'un majorant des déformations à long terme, déterminé à partir des essais de fluage sur le géosynthétique. Ce calcul ne tient pas compte du fluage dû au matériau de remblai, mais il est logique de penser que l'utilisation d'un matériau argileux aura pour conséquence des déformations différées plus importantes qu'avec un matériau purement frottant.

En outre, la mise en œuvre d'un ouvrage en remblai renforcé nécessite de disposer d'un espace suffisant pour mettre en place les nappes (ou les bandes). Les calculs de stabilité générale permettent de définir cette emprise, mais le rapport largeur à la base sur hauteur est rarement inférieur à 0,5 sauf si le parement est incliné.

## 3. Description de l'ouvrage

### 3.1 Structure

#### 3.1.1 Description générale

On peut distinguer deux familles types, les ouvrages en remblai renforcé par des nappes (généralement continues) et les systèmes par bandes, comme pour la Terre Armée. La différence entre nappes et bandes a déjà été précisée au chapitre 2.1. (*cf.* norme NF P 94-210).

#### ◆ A - Remblai renforcé par nappes géosynthétiques

Ce système correspond à l'utilisation de nappes (généralement continues) de géotextiles ou bien de géogrilles. Outre la nature des nappes, la grande variété de ces ouvrages est principalement liée à la conception du parement.

##### A1 - Nappes retournées en parement

Pour les premières applications, la technologie consistait à empiler des nappes simplement retournées en bord de talus, avec un recouvrement de la nappe supérieure comme le montre le croquis de la figure 4. Le retournement peut être fait sur la couche supérieure ou sur la couche inférieure. Le parement était donc constitué de « boudins » plus ou moins réguliers, sans protection, avec d'inévitables problèmes d'esthétique.

Actuellement, les ouvrages de ce type ne devraient plus être réalisés avec des nappes laissées « en l'état » (à l'exception des ouvrages provisoires). Le projet de norme PG 38064 impose une protection ; une végétalisation est au minimum exigée.

##### A2 - Parement incliné avec dispositif de retenue de terre végétale

Il s'agit du même type de soutènement que précédemment mais, afin d'obtenir une meilleure intégration dans les sites, des dispositifs de retenue de terre végétale sont prévus et l'inclinaison maximale des parements est limitée entre 65 et 70 degrés, pour permettre l'implantation d'une végétation pérenne.

Pour retenir la terre végétale, de nombreux procédés ont été développés. On peut les classer en deux catégories.

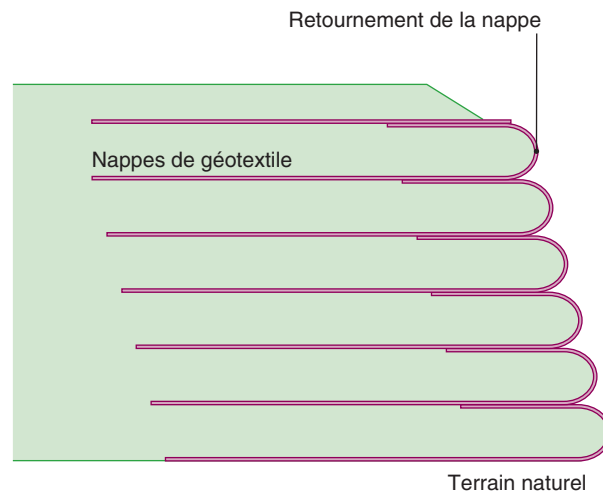
Dans une première catégorie (Fig. 5), les nappes de géotextiles assurant le renforcement ne sont pas retournées et le parement est constitué d'une géogrille dont la seule fonction est de retenir la terre végétale et permettre l'ensemencement du talus.

Une deuxième catégorie prévoit un retournement des nappes et l'accrochage d'un parement (généralement de type cellulaire) rempli de terre végétale (Fig. 6).

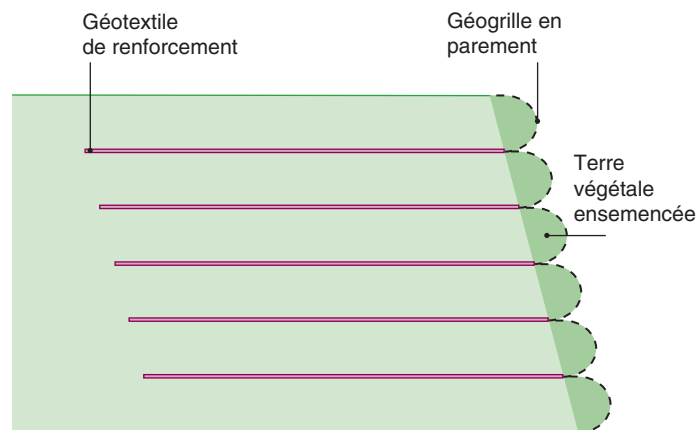
De tels parements végétalisés sont illustrés page 18 : aspect d'un parement en cours de travaux, avant la végétalisation (Fig. 7) ; détail de la nappe servant à contenir la terre végétale (Fig. 8) ; sur un autre mur, état du parement six années après la végétalisation (Fig. 9).

##### A3 - Avec parement indépendant

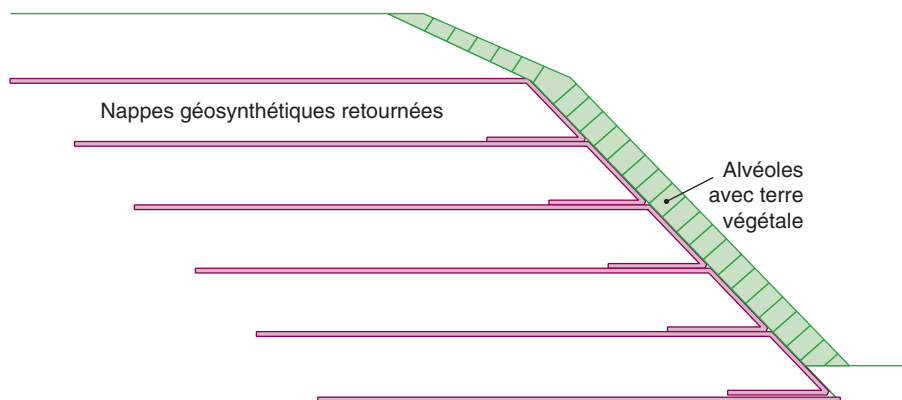
Pour résoudre les problèmes d'esthétique et protéger les nappes des agressions externes, en particulier les rayons ultraviolets, la technique EBAL (brevet EBAL - LCPC) qui consiste à



**FIGURE 4** - Principe des murs en remblai renforcé par nappes avec retournement simple en parement.



**FIGURE 5** - Principe d'un ouvrage en remblai renforcé avec parement incliné et végétalisé.



**FIGURE 6** - Protection de talus avec un dispositif de stockage alvéolaire.



**FIGURE 7** - Ouvrage en remblai renforcé du contournement de Foix, avant végétalisation.



**FIGURE 8** - Détail du géotextile retenant la terre végétale.



**FIGURE 9** - Exemple de parement végétalisé depuis six ans (Foix - Tarascon).

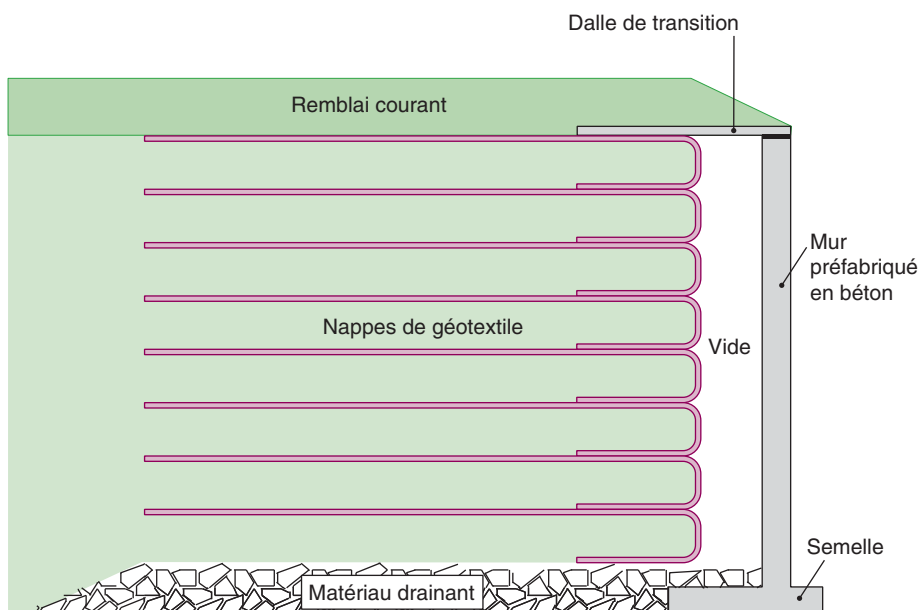
mettre en place, à l'avant des nappes géotextiles, des murs préfabriqués en béton armé, a été développée dans les années 1980.

Le premier ouvrage important de ce type a été construit en 1985, sur la route de l'Hospice de France, près de Bagnères-de-Luchon (département de la Haute-Garonne). La figure 10 donne une vue du parement et la figure 11 rappelle le principe de conception de cet ouvrage.



**FIGURE 10 - Ouvrage renforcé EBAL - LCPC de l'Hospice de France - Vue du parement.**

(Ouvrage construit en 1985)



**FIGURE 11 - Principe d'un ouvrage EBAL - LCPC avec parement dissocié.**

Les illustrations de la figure 12 montrent un autre ouvrage de ce type, pendant et après construction.

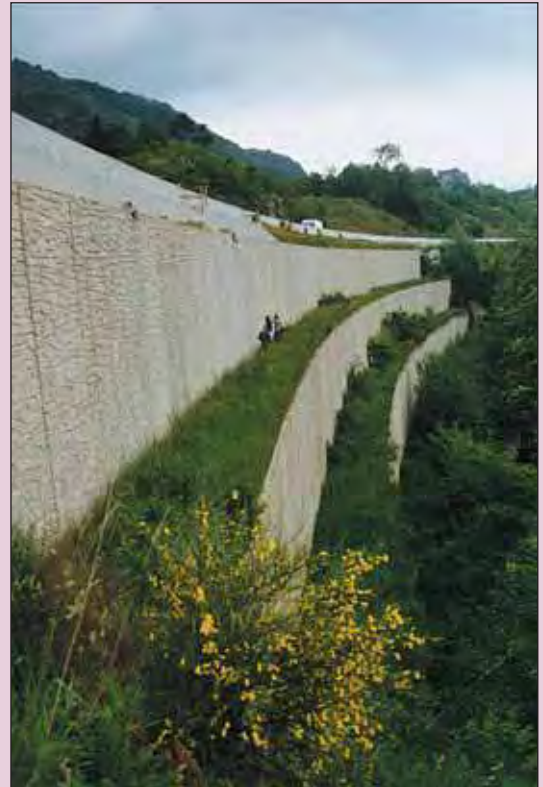
Le parement préfabriqué repose généralement sur une semelle indépendante en béton armé. Il constitue un voile qui ménage un vide devant le massif en remblai renforcé, ce qui permet de visiter le parement des nappes géosynthétiques (Fig. 13).

**FIGURE 12**

*Mur en remblai renforcé EBAL-LCPC  
(Voie Foix - Tarascon)*



*a. Pendant la construction*



*b. Après la construction*



**FIGURE 13 - Exemple  
de trappe de visite.**

Ce vide est obturé en partie supérieure par l'intermédiaire d'une dalle de transition.

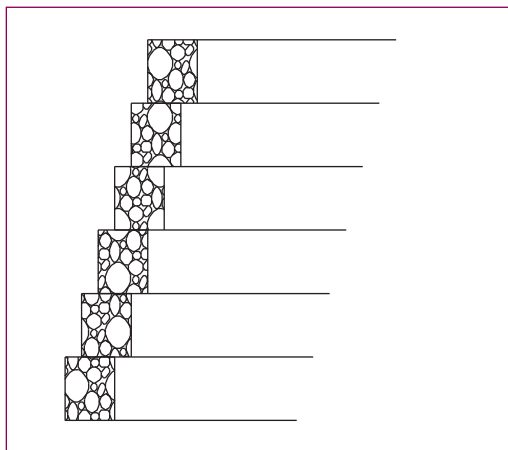
Celle-ci doit permettre une légère déformation du massif en remblai renforcé, sans engendrer de déplacement horizontal en tête du mur de parement.

Elle est articulée en tête du voile et simplement appuyée sur la dernière nappe du massif (avec généralement l'intercalation d'un lit de sable).

#### A4 - Parement minéral

Le parement minéral le plus fréquent est constitué de gabions. La figure 14 rappelle le principe du procédé.

Il existe également d'autres techniques, comme le « Texomur minéral », dont le système de montage permet d'emprisonner de petits blocs rocheux dans une grille métallique galvanisée, disposée en bout des boudins de renforcement.



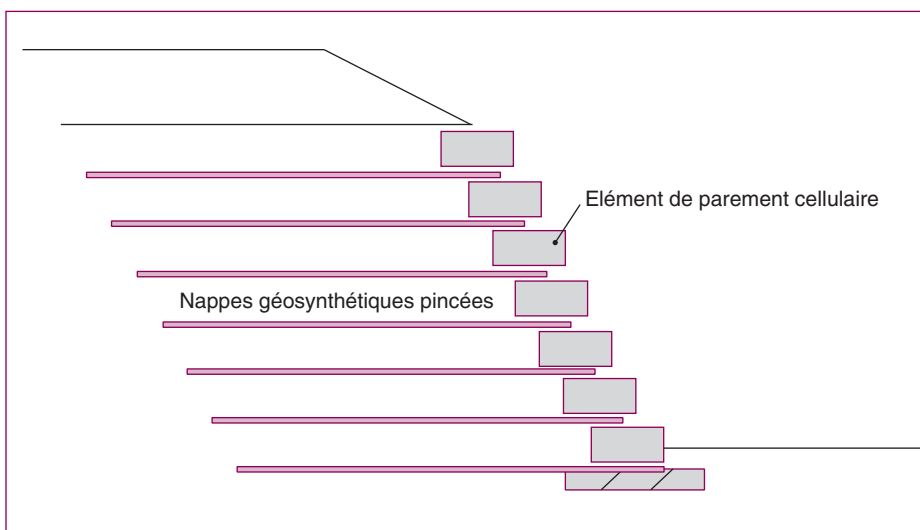
**FIGURE 14 - Principe du parement minéral de type « gabions ».**

(Extrait du projet de norme XP G 38064)

#### A5 - Parement cellulaire

Le parement est constitué d'un empilement d'éléments préfabriqués en béton. Les nappes sont généralement « pincées » au niveau du parement (Fig. 15). Différents procédés de ce type existent et selon les techniques, le fruit du parement varie de 50 à 85 degrés.

Les éléments préfabriqués peuvent être creux et remplis de terre végétale, pour permettre une végétalisation. Le procédé Loffel est un exemple de cette technique.



**FIGURE 15 - Exemple de parement avec empilement d'éléments cellulaires et de nappes pincées.**

## A6 - Autres parements

Divers parements peuvent également être associés à ce type d'ouvrage, dans le cas des renforcements par nappes.

Il s'agit, par exemple :

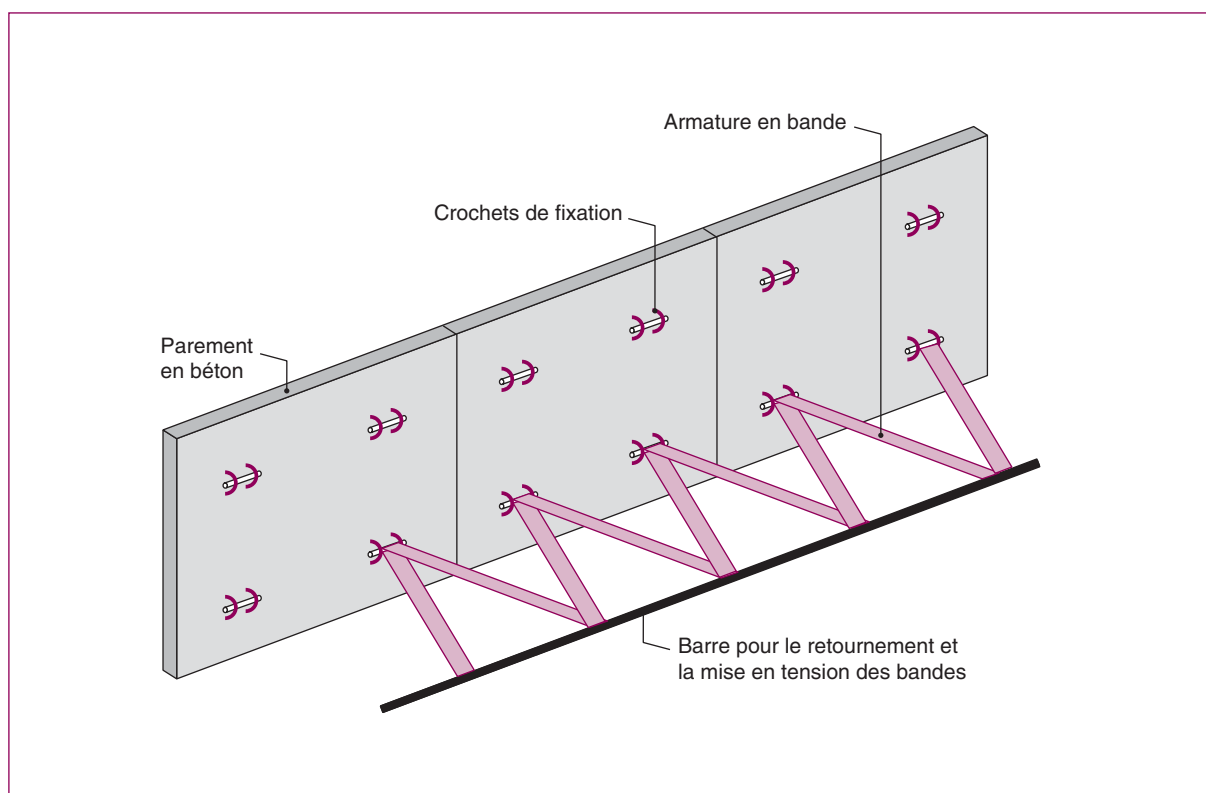
- de treillis métalliques,
- de béton projeté,
- d'écailles en béton (par exemple, procédé Tensar où des géogrilles en géosynthétiques sont accrochées à des écailles en béton),
- de panneaux de béton de même hauteur que l'ouvrage renforcé, etc.

## ◆ B - Remblai renforcé par bandes géosynthétiques

### B1 - Parement type écailles béton

La conception de ce renforcement est assez proche de celle des murs en remblais renforcés par éléments métalliques. Les armatures métalliques sont remplacées par des bandes de polymères constituées de faisceaux de fils de polyester à haute résistance, enrobés dans du polyéthylène qui les protège contre d'éventuels agents agressifs (brevet Freyssisol). Le principal avantage de ce procédé par rapport aux renforcements par éléments métalliques est l'utilisation de matériaux non corrodables.

La figure 16 donne un schéma de principe décrivant la disposition de la bande de renforcement.



**FIGURE 16 - Principe des ouvrages en remblai renforcé par bandes géosynthétiques.**  
(Exemple du Paraweb de Freyssisol)



Le *parement* est constitué d'écailles préfabriquées en béton armé, généralement en forme de « T », liaisonnées entre elles à l'aide de goujons (Fig. 17).

La liaison entre les écailles est assurée par des joints en mousse.

Les *bandes géosynthétiques* sont liaisonnées au parement par un système de boucles et de goupilles, galvanisées et protégées également par une couche de polyéthylène (Fig. 18).



**FIGURE 17** - *Ouvrage renforcé par bandes avec un parement de type écailles.*  
(Paraweb de Freyssisol - RN21 à Lourdes)



**FIGURE 18** - *Exemple d'ouvrage renforcé par bandes.*  
(Paraweb de Freyssisol)

## B2 - Autres parements

Divers parements peuvent également être associés à ce type d'ouvrage, avec renforcements par bandes.

Il s'agit, par exemple :

- des éléments préfabriqués, végétalisables ou non,
- de panneaux de béton de même hauteur que l'ouvrage renforcé.

### 3.1.2 Les parements

Les parements les plus courants ont été évoqués au chapitre précédent, les types de murs et certains brevets étant souvent liés à la conception et aux modes de montage des parements. Nous ne rappellerons dans ce paragraphe que les fonctions spécifiques de cette partie importante de l'ouvrage et les points qui doivent attirer l'attention de l'inspecteur de l'ouvrage.

Les principaux types sont les suivants :

**A** - les parements constitués de panneaux de même hauteur que l'ouvrage (généralement non liaisonnés aux éléments de renforcements géosynthétiques et servant uniquement de protection) ; ceux-ci doivent impérativement être équipés d'une trappe, ou d'un trou d'homme, permettant d'accéder dans l'espace séparant nappe et parement lors des différentes visites ou inspections détaillées ;

**B** - les parements constitués d'écailles où sont fixés les éléments de renforcement, le plus souvent des bandes géosynthétiques ;

**C** - les parements cellulaires, constitués d'éléments empilés (généralement blocs préfabriqués). Les renforcements sont fixés au parement par un dispositif basé sur le pincement entre deux blocs ;

**D** - les parements végétalisés.

Mais d'autres types de parements existent, comme par exemple : les treillis métalliques, les gabions, le béton projeté.

Outre sa fonction esthétique, le parement a un rôle mécanique particulier dont l'importance dépend du mode de fonctionnement choisi, selon que les nappes sont libres, accrochées ou pincées. Il doit assurer le confinement des matériaux du remblai et la protection des géosynthétiques contre la lumière (rayons ultraviolets), les endommagements accidentels ou le vandalisme (déchirures) et l'exposition au feu.

Le parement aval peut être vertical ou assez fortement incliné et de nature très variée selon les procédés de construction.

➤ *Si la pente de l'ouvrage est inférieure à 45 degrés*, un parement « classique » n'est pas obligatoire ; une végétalisation peut suffire pour protéger les nappes géosynthétiques.

➤ *Si la pente de l'ouvrage est comprise entre 45 et 70 degrés*, une végétalisation peut suffire à condition d'avoir prévu un dispositif de retenue de la terre végétale, par exemple un géosynthétique ou une géogrille. Sinon, un parement est nécessaire, par exemple, en écailles, en éléments cellulaires, en grillage, en gabions.

➤ *Si la pente de l'ouvrage est supérieure à 70 degrés*, le parement est indispensable.

### 3.1.3 Les éléments de renforcement géosynthétiques

Les géosynthétiques, qui ont un rôle essentiel dans la stabilité des ouvrages, sont choisis en fonction de plusieurs critères :

➤ leur résistance à la traction à long terme (tenant compte des effets du fluage, du vieillissement et de l'endommagement) ;

➤ le coefficient d'interaction par frottement à l'interface avec le matériau de remblai ;

➤ la nature du polymère dont ils sont constitués, qui doit être compatible en termes de vieillissement avec le matériau de remblai et, le cas échéant, avec le parement.

La longueur des différents lits de géosynthétiques peut varier à l'intérieur d'un ouvrage.

**A** - Pour les nappes continues, l'espacement vertical entre lits est compris entre 0,20 et 0,80 m (exceptionnellement 1 m avec des parements minéraux), pour permettre de garder au massif son caractère de matériau composite.

**B** - S'agissant des bandes, l'espacement vertical entre lits est également compris entre 0,20 et 0,80 m ; l'espacement horizontal entre-axes est inférieur à deux fois l'espacement vertical pour permettre de garder au massif son caractère de matériau composite.

Les caractéristiques, la mise en œuvre et le contrôle des géotextiles font l'objet des normes listées en bibliographie (chapitre 8).

Les principaux processus de vieillissement des éléments de renforcement sont (liste non exhaustive) :

- *la photo-dégradation* (ou photo-oxydation ou vieillissement climatique), phénomène initié par le rayonnement ultraviolet et accéléré par la température, qui n'intéresse que les géosynthétiques en parement ;
- *l'oxydation* (ou *thermo-oxydation*), dont la cinétique est influencée par la température et la pression partielle de l'oxygène (dans le cas de géosynthétiques enterrés, l'oxygène provient de l'air et de l'eau d'infiltration ; la vitesse de la réaction est généralement faible) ;
- *la dégradation chimique* (dont l'hydrolyse interne), qui est fortement influencée par la température et le pH. On notera en particulier que les polyesters ne peuvent pas être utilisés à long terme dans un environnement dont le pH est supérieur à 9, ce qui exclut cette fibre dans le cas d'un matériau traité à la chaux ;
- *la dissolution/gonflement* au contact de produits chimiques tels que les hydrocarbures (sols pollués, infiltrations depuis la chaussée, etc.).

### 3.1.4 Le remblai

Le matériau de remblai participe directement à la résistance des ouvrages en remblai renforcé ; ses caractéristiques revêtent donc une importance toute particulière.

Nous n'allons pas, dans ce chapitre, énumérer l'ensemble des spécifications imposées au choix de ce matériau, qui portent notamment sur leur identification géotechnique, d'une part, et sur leurs caractéristiques mécaniques de résistance au cisaillement, d'autre part.

Il doit satisfaire à la fois :

- aux critères généraux définis par le Guide des Terrassements Routiers, avec en particulier la restriction que les matériaux utilisables appartiennent aux familles de sols pour lesquels il n'y a pas de limite de hauteur pour leur usage en remblai courant, ce qui exclut en particulier les matériaux évolutifs, les sols gonflants, etc. ;
- à des critères relatifs à la situation de l'ouvrage et à son environnement (exposition au gel, aux inondations, etc.) ;
- à des critères spécifiques aux ouvrages en remblais renforcés par géosynthétiques qui, outre l'aspect mécanique (pourcentage de fines, diamètre maximal conforme à la règle d'un  $D_{\max} < 2/3$  de l'épaisseur de la couche, etc.), doivent inclure la nécessité de ne pas détériorer les éléments géosynthétiques durant la mise en œuvre (matériaux non anguleux, etc.) ;
- aux spécifications relatives au vieillissement des géosynthétiques (compatibilité entre le géosynthétique et le matériau du remblai - risque d'agressions chimiques, alcaline, micro-biologique, etc.).

Le recours au traitement des sols (chaux, ciment, laitier, etc.) devra, pour sa part, faire l'objet d'une attention particulière, vis-à-vis des contraintes de durabilité des géosynthétiques. En effet, le matériau traité constitue un milieu dont le PH est généralement élevé, et peut, de ce fait, provoquer une accélération du vieillissement des éléments de renforcement (cette

utilisation fait l'objet de réserves qui devront être levées selon les modalités décrites dans le projet de norme XP G 38064 - annexe B).

## 3.2 Zone d'influence

### 3.2.1 Les terrains associés

La délimitation de la zone d'influence est essentielle pour bien définir le travail d'inspection de l'ouvrage en remblai renforcé.

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

La figure 19 rappelle la définition du prisme de poussée. La distance  $D$  est donc de l'ordre  $H/2$  et augmente avec l'angle  $\beta$  du talus et si le sol a de faibles caractéristiques mécaniques.

Par ailleurs, cette notion de distance d'influence suppose que le terrain naturel est stable à l'amont et à l'aval du mur et qu'il n'a pas fait l'objet de renforcement ou traitement particulier (clouage, drains subhorizontaux).

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

L'examen de la stabilité globale du site constituera un complément obligatoire à l'inspection.

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

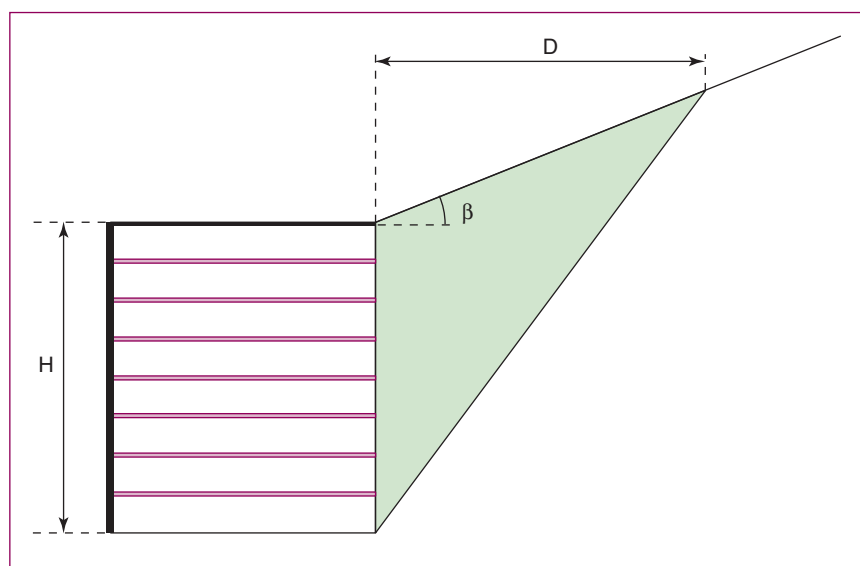


FIGURE 19 - Position du prisme de poussée.

### 3.2.2 La nappe

La technique des ouvrages en remblai renforcé par des géosynthétiques n'est généralement pas adaptée en présence de nappe phréatique.

Dans le cas où ces ouvrages sont implantés sur un versant et où l'excavation nécessaire à leur exécution a été réalisée sous le niveau de la nappe phréatique, des dispositifs de drainage doivent être prévus.

Il s'agit généralement d'un massif drainant à l'arrière de l'ouvrage, pour rabattre localement la nappe, et de dispositifs de collecte (derrière l'ouvrage) et d'évacuation des eaux (sous l'ouvrage) pour permettre 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/éléments de renforcement et d'entraînement des matériaux fins du remblai).

Dans le cas des ouvrages construits en bord de rivière ou en site aquatique, l'état et le dimensionnement des protections de pied doivent être examinés. En cas d'immersion, le frottement sol-géosynthétique a été minoré.

Enfin, l'utilisation de matériaux ayant une fraction fine, souvent plus importante que pour les murs en sol renforcé par inclusions rigides, est favorable à la formation d'une nappe, parfois temporaire, pouvant affecter la stabilité interne et générale du massif.

### 3.3 Équipements

Les équipements de sécurité et de viabilité de la route ne doivent pas interférer avec « le fonctionnement » de l'ouvrage renforcé.

Par exemple, l'ancrage des différents équipements tels que glissières, pylônes, lampadaires, ouvrages antibruit, etc. ne doit pas traverser les nappes continues, qui seraient localement fragilisées.

En règle générale, les dispositifs de retenue sont posés directement sur la plate-forme (par exemple, les GBA sont préférées aux glissières et les fondations des murs anti-bruits sont superficielles, avec une dalle de frottement non fixée sur le parement).

### 3.4 Drainage et assainissement

Les ouvrages en remblai renforcé sont généralement conçus sans dispositif de drainage interne.

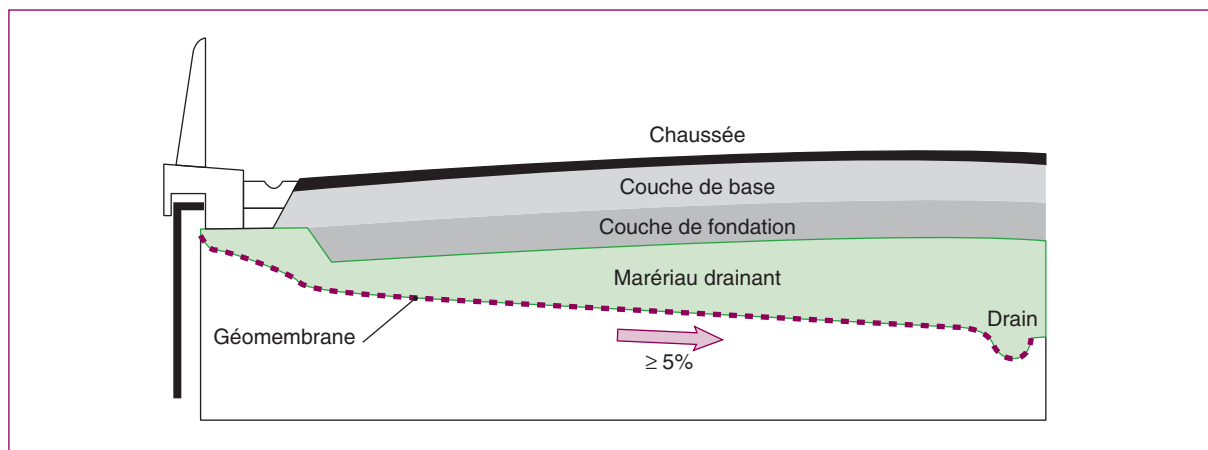
Dans le cas d'un ouvrage implanté sur versant, un dispositif de drainage externe peut être réalisé pour permettre de rabattre localement la nappe (*cf.* paragraphe 3.2.2).

Lorsque l'ouvrage supporte une route, des dispositifs de collecte et d'évacuation sont nécessaires pour éviter l'infiltration des eaux de surfaces dans le remblai.

Par ailleurs, une géomembrane étanche peut être interposée entre la chaussée et le remblai constitutif de l'ouvrage (Fig. 20).

Les venues d'eau d'une nappe mal captée, qui peuvent circuler de façon privilégiée le long des nappes (ou des bandes géosynthétiques) et les infiltrations à partir de la plate-forme et des ouvrages d'assainissement peuvent modifier les teneurs en eau dans le massif et, en particulier, au contact des éléments de renforcement.

Ces variations de teneur en eau ont pour conséquence, outre l'augmentation de la pression hydrostatique, de modifier les conditions de frottement entre le matériau et les géotextiles. On rappelle que la rupture expérimentale du mur renforcé de Lézat (technique Ebal) a été obtenue en laissant l'eau s'infiltrer par la plate-forme supérieure. La position de la surface de rupture, sensiblement plus haute que la surface critique théorique, s'explique bien par la localisation des variations de teneur en eau.



**FIGURE 20 - Exemple d'une protection contre les eaux de ruissellement.**  
(Extrait du guide de conception des ouvrages de soutènement)\*

Les infiltrations d'eau peuvent également avoir pour conséquence :

- un entraînement des matériaux fins,
- la pénétration d'agents agressifs pour les éléments géosynthétiques.

Il est donc essentiel de vérifier la conception, l'état et le fonctionnement des systèmes d'assainissement et de drainage.

### 3.5 Dispositifs de suivi

L'instrumentation sera souvent le seul moyen permettant de faire un diagnostic fiable de l'état d'un ouvrage en remblai renforcé par éléments géosynthétiques (nappes ou bandes) et surtout sur son évolution en fonction du temps. L'instrumentation en place est normalement fonction de l'importance de l'ouvrage (hauteur, risques pour l'usager) et des doutes éventuels que l'on peut avoir sur son comportement.

On peut distinguer l'instrumentation que l'on ne peut mettre en œuvre que pendant la construction, de celle pouvant être rajoutée durant la vie de l'ouvrage, par exemple après une inspection détaillée ou bien après la découverte d'un défaut.

#### 3.5.1 Systèmes de contrôles et de mesures mis en œuvre en cours de construction

##### Les capteurs d'allongements ponctuels

Des capteurs de déplacement peuvent être fixés sur les nappes de géotextiles. Mis en place lors de la construction de l'ouvrage, ils permettent de vérifier que la déformation locale du géosynthétique reste inférieure au seuil retenu dans les calculs. Ces mesures donnent des informations sur la mise en tension des nappes pendant la construction et sur les effets des déformations de fluage à long terme.

\* Les ouvrages de soutènement - Guide de conception générale - SETRA Bagnex - 1998, 154 p.

### Les extensomètres horizontaux

Mis en œuvre lors de la construction, ils permettent de mesurer le déplacement du parement de l'ouvrage par rapport à un ancrage supposé fixe, dans le terrain naturel. À un niveau donné, on a donc une information sur l'effet du chargement et sur le comportement différé de l'ouvrage. Par contre, cette mesure seule ne permet pas de distinguer la déformation propre des géotextiles et celle de l'ensemble du massif, à l'arrière des murs en particulier. Un capteur de déplacement électrique peut permettre l'enregistrement des déplacements en fonction du temps.

### Les « bandes témoins » de durabilité

Celles-ci doivent être sollicitées (tendues) de façon similaire aux éléments participant au renforcement de l'ouvrage car les conditions de vieillissement peuvent dépendre de l'intensité des efforts appliqués.

Elles sont fixées sur un dispositif spécial permettant, ultérieurement, des mises en tension afin de s'assurer qu'elles peuvent résister à des efforts de traction préalablement définis, dont la valeur est comprise entre l'effort maximal susceptible de se produire et la résistance à la rupture. Ces bandes témoins peuvent être réutilisables.

Les figures 21 et 22 montrent le principe d'un dispositif de mise en tension de bande témoin respectivement extractible et non réutilisable.

### Des bandes et nappes extractibles

Des nappes témoins de durabilité peuvent aussi être mises en place, mais sous une faible charge et généralement en dehors ou en limite de l'ouvrage, pour permettre leur extraction par simple dégagement. Ces mêmes dispositions peuvent être prises pour les bandes afin de contrôler les effets du vieillissement.

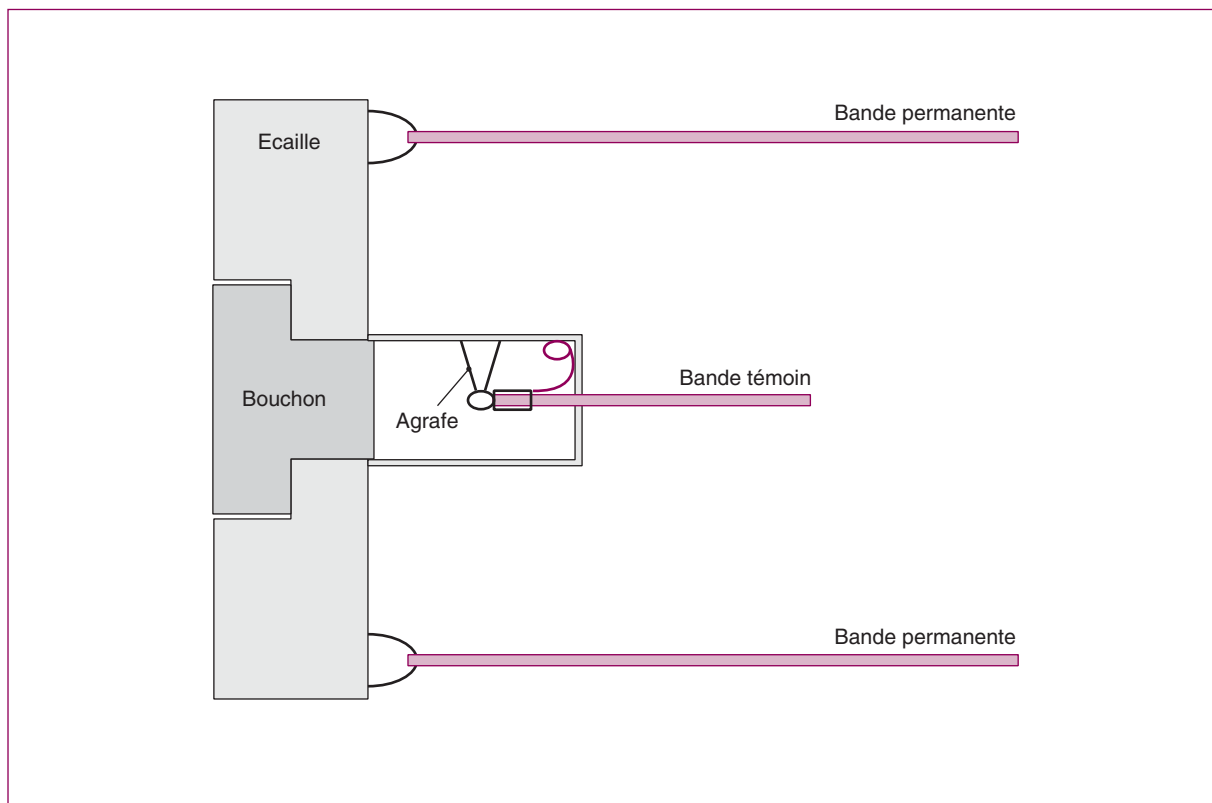


FIGURE 21 - Détail d'un témoin de durabilité extractible et non réutilisable.



**FIGURE 22** - Détail photographique d'une bande témoin non extractible et réutilisable.

### 3.5.2 Mesures pouvant être organisées au cours de la vie de l'ouvrage

Pour les ouvrages qui n'ont fait l'objet d'aucune surveillance spécifique, en particulier certains ouvrages anciens, la première inspection sera l'occasion de préparer un programme d'instrumentation qui sera ensuite une aide à la surveillance.

#### Les piézomètres

Ils permettent de suivre l'évolution de la nappe et de vérifier le bon fonctionnement du drainage. La piézométrie est particulièrement importante pour vérifier les hypothèses de stabilité générale.

#### Les mesures topographiques

Une campagne de mesures topographiques doit impérativement accompagner l'inspection détaillée initiale, quel que soit le type d'ouvrage (nappe ou bandes) et de parement. Elle permettra, par la suite, d'établir des comparaisons si l'on observe un désordre. S'il n'existe pas « de point zéro », la première inspection, quels que soient ses résultats, devra proposer la mise en place d'un plan de surveillance par nivellement.

Les déformations de l'ouvrage dans le temps peuvent être suivies en utilisant des tachéomètres laser. Les points de mesure peuvent être simplement « marqués » de façon indélébile sur l'ouvrage, on peut aussi fixer, aux endroits à surveiller, des prismes optiques (les résultats ainsi obtenus sont plus précis - précision du millimètre, voir le 1/10<sup>e</sup> de millimètre). Cette méthode est simple de mise en œuvre et permet de connaître les déplacements de l'ouvrage dans l'espace.

Lorsque le parement est indépendant du massif renforcé (cf. Fig. 1), la mise en place des repères est relativement délicate. Ils peuvent être placés en partie supérieure mais, la simple mesure du déplacement relatif entre les « boudins » et le parement constitue une information précieuse, très facile à matérialiser et à relever.



Dans le cas des parements végétalisés, les mesures topographiques sont également possibles, à condition de matérialiser les repères au moyen d'une pige, scellée dans les « boudins ».

Compte tenu de l'importance des mouvements horizontaux, il est intéressant d'utiliser un GPS différentiel, qui donne actuellement une résolution de l'ordre de quelques millimètres, alors que la planimétrie est souvent d'une mise en œuvre délicate.

### Mesure des rotations avec des nivelles micrométriques

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

### Mesure des déplacements horizontaux par inclinométrie

Les mesures inclinométriques permettent de vérifier la stabilité générale du versant et de mesurer les déformations horizontales du massif renforcé. Le principe de la mesure consiste à relever les variations d'inclinaison, par rapport à la position initiale, d'un tube guide, scellé dans un forage. La résolution de la mesure est de l'ordre de  $10^{-4}$  radian et permet donc d'apprécier des mouvements de l'ordre de 1 mm pour une longueur de tube de 10 mètres.

La pose du tube peut nécessiter de traverser les nappes de géotextiles, dans ce cas, la dégradation locale sera limitée à un rayon de l'ordre de 5 cm si l'on utilise un taillant. Par contre, en cas d'utilisation d'une tarière, on risque d'arracher partiellement les nappes.

### Exemple d'instrumentation

Les figures 23 et 24 décrivent une instrumentation mise en place sur un soutènement en remblai renforcé de grande hauteur. Les systèmes extensométriques ont été mis en œuvre pendant la phase chantier. Par contre, les tubes inclinométriques ont été posés à la fin de la construction de chaque mur élémentaire.

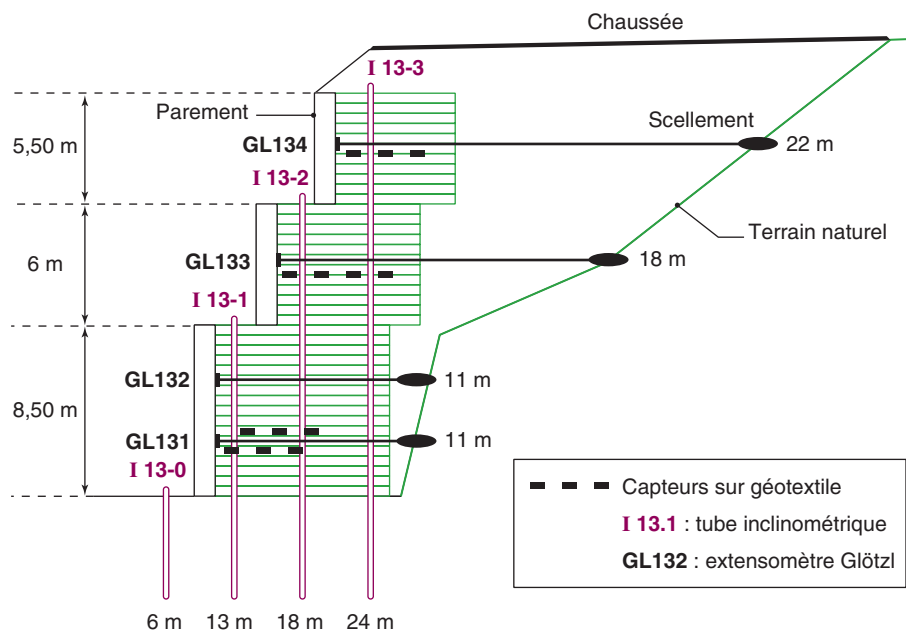


FIGURE 23 - Exemple d'un ouvrage en remblai renforcé, instrumenté pendant la construction.

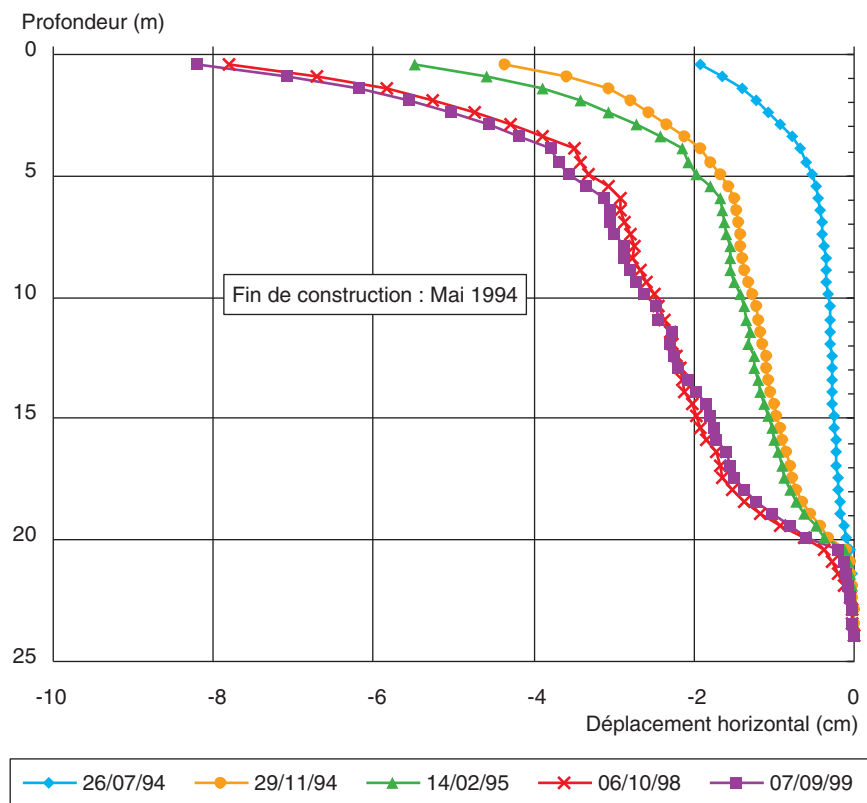


FIGURE 24 - Exemple de mesures inclinométriques (Tube I 13-3 de la figure 23).

## 4. Origine des défauts et désordres

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

- Étude de stabilité insuffisante ou incomplète.
- Sous-estimation des efforts appliqués à l'ouvrage, notamment les efforts de poussée et d'exploitation.
- Connaissance insuffisante du sol de fondation :
  - sol de fondation trop compressible,
  - report des charges et donc des tassements du sol support sur la fondation du parement.
- Connaissance insuffisante du site d'implantation de l'ouvrage, de son environnement et de ses conditions climatiques :
  - stabilité générale du versant critique,
  - niveau de la nappe phréatique non conforme aux hypothèses de calculs,
  - risques d'affouillement en pied de mur, de variation de niveau du cours d'eau, etc.,
  - périodes de gel, d'enneigement et/ou d'ensoleillement,
  - risques d'incendie, etc.
- Caractéristiques des matériaux compactés insuffisantes, au niveau du remblai renforcé, entre les nappes, mais aussi à l'arrière dans la zone de remplissage.
- Surestimation du coefficient de frottement terre-élément de renforcement géosynthétique qui se traduit par un sous-dimensionnement interne de l'ouvrage.
- Sous-dimensionnement des éléments de renforcement géosynthétiques (longueur des nappes insuffisantes, en particulier dans des zones où un décaissement était nécessaire : talus rocheux, par exemple).
- Interaction avec les ouvrages rigides mal évaluée : buses, fondations du mur de parement fragiles vis-à-vis des déformations, raccordement à un point fixe (ouvrage d'art ou mur traditionnel).
- Dispositifs de drainage ou d'évacuation des eaux absents ou insuffisants.
- Mauvais choix du type de parement :
  - protection du parement par végétalisation inadaptée (choix des graines ou non prise en compte d'un climat défavorable),
  - matériau inadapté en parement (déchirure des nappes),
  - mauvais choix du géotextile devant résister aux ultraviolets,
  - mauvais choix des géotextiles dans le cas de sols traités à la chaux,
  - grille inadaptée pour retenir la terre végétale.

### 4.2 Mauvaise exécution

- Non-respect des prescriptions du dossier d'étude :
  - non-conformité du matériau du remblai, des éléments du renforcement,
  - non-respect du nombre et de la position des nappes ou bandes, etc.,

- Défauts de mise en œuvre :
  - défaut d'alignement ou de verticalité des parements (dont il reste à vérifier qu'il n'évolue pas en fonction du temps),
  - défaut d'horizontalité des lits,
  - mauvaise fixation des bandes (ou des nappes) sur les parements,
  - défaut de pré-tension des nappes lors de la pose,
  - mauvais positionnement des éléments de renforcement (absence de recouvrement d'une nappe sur l'autre ou non prise en compte d'une éventuelle résistance mécanique anisotrope du géotextile par rapport à la direction des efforts à reprendre),
  - endommagement des nappes lors du transport, de la mise en œuvre, etc.,
  - espace insuffisant entre le parement de béton et les nappes à la construction,
  - parement des nappes retournées défectueux : irrégularité excessive des nappes,
  - blocage de la dalle de transition entre le massif renforcé et le parement.
- Défaut de compactage du remblai (excès ou insuffisance), notamment à proximité du parement.
- Défauts de réalisation du drainage ou de la collecte des eaux de la plate-forme, ou bien détérioration de celui-ci en cours de remblaiement.
- Défaut de végétalisation, saison d'ensemencement inappropriée, terre végétale inadaptée ou absente.

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

- Application de surcharges non prévues (en tête de mur ou même en pied) ou réalisation de travaux au voisinage de l'ouvrage modifiant son schéma d'équilibre.
- Chocs de véhicules.
- Déchirures des nappes non protégées, accidentellement, par vandalisme, ou en raison de colonies de rongeurs à proximité (possibilité d'une protection par grillage).
- Risque d'incendie de la végétation en période sèche et de destruction du géotextile en parement.
- Venues d'eau importantes au niveau des nappes, résultant ou non d'un défaut de drainage ou d'évacuation des eaux de surface.
- Sols ou graves traités à la chaux, au ciment, au laitier.
- Effets d'un ensoleillement excessif ou du gel.
- Effets éventuels des sels de déverglaçage.
- Risques de pollution et d'infiltration de produits chimiques ou d'hydrocarbures, suite à un accident, par exemple.

### ***4.4 Défaut d'entretien***

- Colmatage des dispositifs de drainage.
- Ruissellements et/ou infiltrations d'eau à partir de la plate-forme.

- Végétalisation sauvage inadaptée (arbres ou arbustes sur des parements végétalisés ou bien présence de végétation non détruite entre les éléments du parement (écailles, murs préfabriqués, etc.).
- Déchirures de nappes non réparées.
- Fissures sur chaussée non colmatées.

## 5. Inspection détaillée

### 5.1 Organisation et déroulement

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

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

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

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

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

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

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

- de disposer de fonds de plans pour les relevés des défauts et désordres,
- de faire le point sur les parties de l'ouvrage accessibles ou non 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 mesure en place, etc.

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

- les constats faits pendant l'exécution des travaux et, notamment, les difficultés d'exécution reconnues,
- les rapports d'inspections détaillées antérieures et notamment celui de l'inspection détaillée initiale.

Et depuis la dernière inspection détaillée :

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

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

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

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

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

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

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

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

## 5.2 *Relevé des défauts et désordres*

Un catalogue est proposé en annexe I pour aider à l'établissement du relevé des défauts et désordres. En outre, il convient de vérifier, à l'occasion de cette inspection, la présence et le bon état apparent des dispositifs de suivi éventuellement existants sur l'ouvrage. Les mesures correspondantes ne sont pas obligatoirement réalisées par l'inspecteur et peuvent faire l'objet d'une intervention séparée.

Dans le cas des ouvrages en remblai renforcé avec un parement végétalisé, il est important de souligner que l'inspection classique risque d'aboutir à l'impossibilité d'un diagnostic, ni même d'un prédiagnostic, la végétation (*cf.* Fig. 9) pouvant masquer des désordres réels. *A contrario*, un parement irrégulier peut conduire à un diagnostic pessimiste alors que cet état peut correspondre à celui de fin de construction, ce qui est difficile à savoir en l'absence de dossier de suivi d'ouvrage depuis l'origine (inspection détaillée initiale, notamment).

Pour les ouvrages renforcés avec un parement de protection à l'avant, la visite est plus facile, mais l'observation purement externe peut également être insuffisante.

**Pour l'ensemble de ces ouvrages, lors de la première inspection détaillée, le relevé des désordres apparents devra être complété par l'établissement d'un dossier d'ouvrage de référence et par un *minimum d'instrumentation*.**

L'instrumentation sera adaptée à l'importance de l'ouvrage et aux facteurs de risque. Elle devrait comprendre dans tous les cas, un levé topographique (plate-forme + parement béton lorsqu'il existe).

En cas de présence de nappe phréatique (rabattement), il sera complété par la mise en œuvre de piézomètres.

Enfin, en cas d'ouvrages de grande hauteur, il conviendra de prévoir des inclinomètres.

Le détail de ces dispositions est évoqué au paragraphe 3.5.

### 5.3 Facteurs de risque de désordres

L'ouvrage, compte tenu de ses caractéristiques propres et de celles de son environnement, peut être plus ou moins exposé à certains types de pathologies. Les facteurs de risque de désordres sont pour l'essentiel les suivants :

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

| Désignations  |
|---|
| Ouvrage non courant de grande hauteur   |
| Ouvrage à fonction porteuse en plus de celle de soutènement (culée d'ouvrage) |
| Ouvrage dépourvu de parement (avec une pente > 45 degrés)                     |

#### Facteurs de risque de désordres liés à l'agressivité de l'environnement sur les matériaux et la structure

##### ■ Le sol

| Désignations  | Incidence   |             |
|---|-------------|-------------|
|   | Hors massif | Dans massif |
| Sol agressif pour les géotextiles du fait en particulier de leurs PH (sol traité à la chaux)  |             | ◆           |
| Sol anguleux ayant pu dégrader les nappes ou les bandes   |             | ◆           |
| Sol évolutif dont les caractéristiques mécaniques ont pu évoluer avec la teneur en eau  | ◆           | ◆           |
| Sols de granulométrie discontinue, sensibles à l'érosion interne en cas de circulation d'eau  | ◆           | ◆           |
| Sols difficiles à mettre en œuvre (sable, argile avec blocs, granulométrie mal adaptée à l'épaisseur des couches, matériau nécessitant une forte énergie de compactage, impossible à effectuer à proximité du parement) | ◆           | ◆           |
| Terrains naturels en pente instable, éboulis, risques d'avalanches  | ◆           |             |
| Ouvrage construit sur un terrain compressible (tassements différentiels, fluage à long terme, déformations horizontales dues au sol support)  | ◆           |             |
| Site karstique, risques de dissolution ou de gonflements (anhydrites)   | ◆           |             |
| Terriers d'animaux  |             | ◆           |

## ■ L'eau

| Désignations   | Incidence   |             |
|--|-------------|-------------|
|  | Hors massif | Dans massif |
| Site aquatique avec risque d'affouillement en pied du mur  | ◆           |             |
| Présence d'une nappe phréatique amont pouvant alimenter le corps du massif   |             | ◆           |
| Infiltrations par la plate-forme et les réseaux d'assainissement de la voie  | ◆           | ◆           |
| Système de rabattement de nappe phréatique prévu et réalisé pendant les travaux non entretenu (drains sub-horizontaux, tranchées drainantes) | ◆           | ◆           |
| Ravinement des talus inclinés et végétalisés   |             | ◆           |
| Risque de gel  |             | ◆           |

## ■ L'atmosphère, le site

| Désignations   | Incidence   |             |
|--|-------------|-------------|
|  | Hors massif | Dans massif |
| Risque d'incendie des parements végétalisés et secs certaines périodes de l'année  |             | ◆           |
| Mauvaise protection des nappes contre les ultraviolets (ouvertures dans le parement de protection, végétation inexistante) |             | ◆           |
| Végétalisation inadaptée : croissance non contrôlée d'arbustes et d'arbres   |             | ◆           |
| Déchirement des nappes par vandalisme  |             | ◆           |
| Ouvrage en zone sismique   |             | ◆           |

## ■ Les conditions d'exploitation

| Désignations   | Incidence   |             |
|--|-------------|-------------|
|  | Hors massif | Dans massif |
| Agression chimique accidentelle non tolérée par le type de géotextile ou de bande utilisé  |             | ◆           |
| Sollicitation non prévue : surcharge sur la plate-forme et/ou sur le parement  |             | ◆           |
| Ouverture de fouilles en pied d'ouvrage  |             | ◆           |
| Construction rapprochée d'autres ouvrages en interaction avec le sol support<br>Élargissement  | ◆           | ◆           |
| Insertion d'éléments étrangers au massif : ancrages de pylône, mât, glissière, fondations de murs antibruits, tranchées diverses, etc. |             | ◆           |
| Zone devenue inondable   | ◆           | ◆           |
| Défaut d'entretien des plantations et de la végétalisation   |             | ◆           |



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

Lorsque des doutes subsistent, il s'agit d'évaluer, en fonction de la sensibilité de l'ouvrage, la nécessité de procéder à des investigations complémentaires pour préciser ces facteurs de risque de désordres.

On rappellera aussi que des études insuffisantes et une mise en œuvre de qualité médiocre constituent évidemment des facteurs de risque importants, souvent difficiles à évaluer.

## 5.4 Prédiagnostic

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

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

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

Les désordres les plus couramment rencontrés sont les suivants :

- déchirures des géotextiles dans le parement, accompagnées (ou non) de pertes de matériaux du remblai (Fig. 25 et Fig. 26),
- rupture, fissuration et/ou déplacement des éléments du parement (écailles, murs préfabriqués, etc.),
- déplacement du massif renforcé par rapport au mur de protection en parement,
- faux aplomb du parement traduisant un début de basculement de la partie haute du mur renforcé,
- défaut d'alignement du parement dû à un défaut de fondation,
- irrégularités excessives et aggravées du parement incliné et végétalisé,
- fissuration longitudinale sur la plate-forme amont traduisant des déformations horizontales excessives (Fig. 27),
- tassement localisé avec fissuration de la plate-forme pouvant traduire un début de glissement du massif (instabilité interne ou générale),
- anomalies du profil en long et en travers (de la chaussée ou de la zone d'influence) en partie supérieure du mur, pouvant traduire un tassement du sol support ou un défaut de portance,
- venues d'eau le long des nappes, visibles en parement (Fig. 28),
- végétation parasite (Fig. 29).

Dans le cas où le prédiagnostic fait craindre un risque imminent pour la sécurité des usagers et des tiers, des mesures de sauvegarde immédiate doivent être prises sans attendre l'aboutissement de la démarche de diagnostic (*cf.* fascicule 3 de l'ITSEOA)\*.

\* *Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'art.*

**FIGURE 25**

*Exemples de l'amorce de dégradation des nappes par développement de végétation et par déchirure (parement de protection en béton avec espace visitable).*



*a. Avec végétation.*



*b. Avec déchirure.*

**FIGURE 26**

*Exemples de dégradations de nappes de géotextiles non protégées : déchirures et altération des fibres.*



*a. Avec déchirure.*



*b. Avec dégradation de surface.*



**FIGURE 27** - Exemple de fissure longitudinale due à une déformation horizontale excessive.

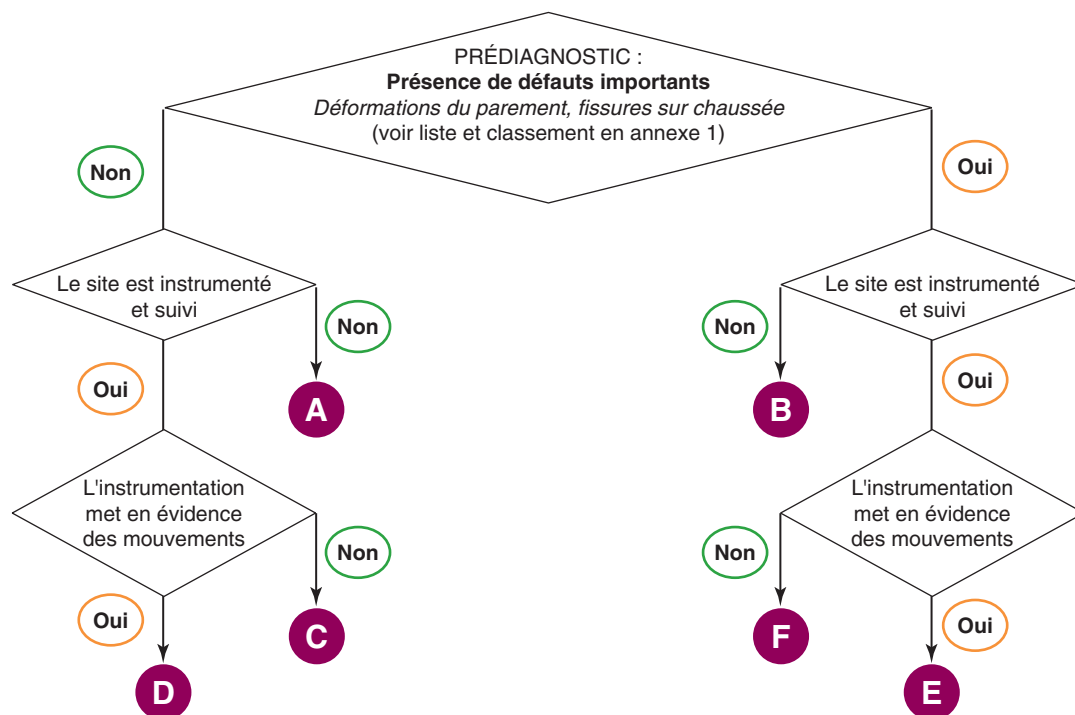


**FIGURE 28** - Venues d'eau le long des nappes, visibles en parement.



**FIGURE 29** - Végétation parasite.

Le logigramme de la figure 30 propose les décisions à prendre en fonction du prédiagnostic.



|          |   |
|----------|---|
| <b>A</b> | Inspection détaillée visuelle classique. Il sera indispensable de <i>justifier qu'une instrumentation minimale n'est pas indispensable</i> , même en l'absence de pathologie visible. Dans le cas contraire, il faudra proposer et programmer cette instrumentation.  |
| <b>B</b> | L'observation de désordres apparents et l'absence d'instrumentation pour une analyse objective du comportement de l'ouvrage rendent celle-ci <i>obligatoire (inclinométrie et suivi par topographie)</i> . Des désordres majeurs peuvent orienter vers certaines dispositions décrites en e.  |
| <b>C</b> | Pas de modification du programme d'inspection détaillée périodique et du suivi régulier de l'instrumentation. Par contre, une <i>réduction du programme de suivi</i> peut être envisagée si des travaux de confortement ont été réalisés et/ou si une situation antérieure de type d est passée en type c.  |
| <b>D</b> | Il n'y a pas de désordre apparent, mais les mesures mettent en évidence des mouvements significatifs. <i>La définition des « seuils limites » doit être ré-analysée</i> (re-calcul éventuel de l'ouvrage). Une réflexion doit être faite pour <i>savoir s'il ne peut pas exister des désordres « cachés »</i> mis en évidence par les mesures, si la fiabilité des mesures est satisfaisante ou s'il apparaît une stabilisation des mouvements.   |
| <b>E</b> | L'inspection visuelle et les mesures confirment un comportement anormal de l'ouvrage qui <i>doit être placé sous surveillance renforcée</i> . Une réflexion approfondie doit être menée pour confirmer la situation réelle par rapport aux seuils critiques déjà définis. Selon le niveau de seuil atteint, le programme d'investigations complémentaires est engagé, ainsi que d'éventuels travaux de mise en sécurité. L'ouvrage est recalculé et le projet de réparation est établi. |
| <b>F</b> | Une inspection détaillée exceptionnelle est programmée pour <i>expliquer la discordance entre les mesures et les observations visuelles</i> . L'état de l'instrumentation est vérifié et un remplacement est envisagé.  |

FIGURE 30 - Suivi de l'ouvrage - Logigramme décisionnel.

## 5.5 Cotation IQOA

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

# 6. Diagnostic

## 6.1 Démarche générale

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

Dans le cas des murs en sol renforcé par géosynthétiques, les résultats de l'inspection détaillée ne suffisent généralement pas pour établir le diagnostic. Ainsi, l'absence de désordres apparents ne signifie pas que l'ouvrage est en bon état. La première inspection détaillée devra généralement être complétée par des reconnaissances complémentaires et la mise en place d'une instrumentation (*cf.* paragraphe 3.5). Par la suite, le diagnostic ne pourra être fait que sur la base d'une continuité dans le temps du suivi de l'ouvrage.

La démarche qui permet, à partir de l'inspection détaillée, d'aboutir à un diagnostic de l'ouvrage est décrite par le synoptique (Fig. 31).

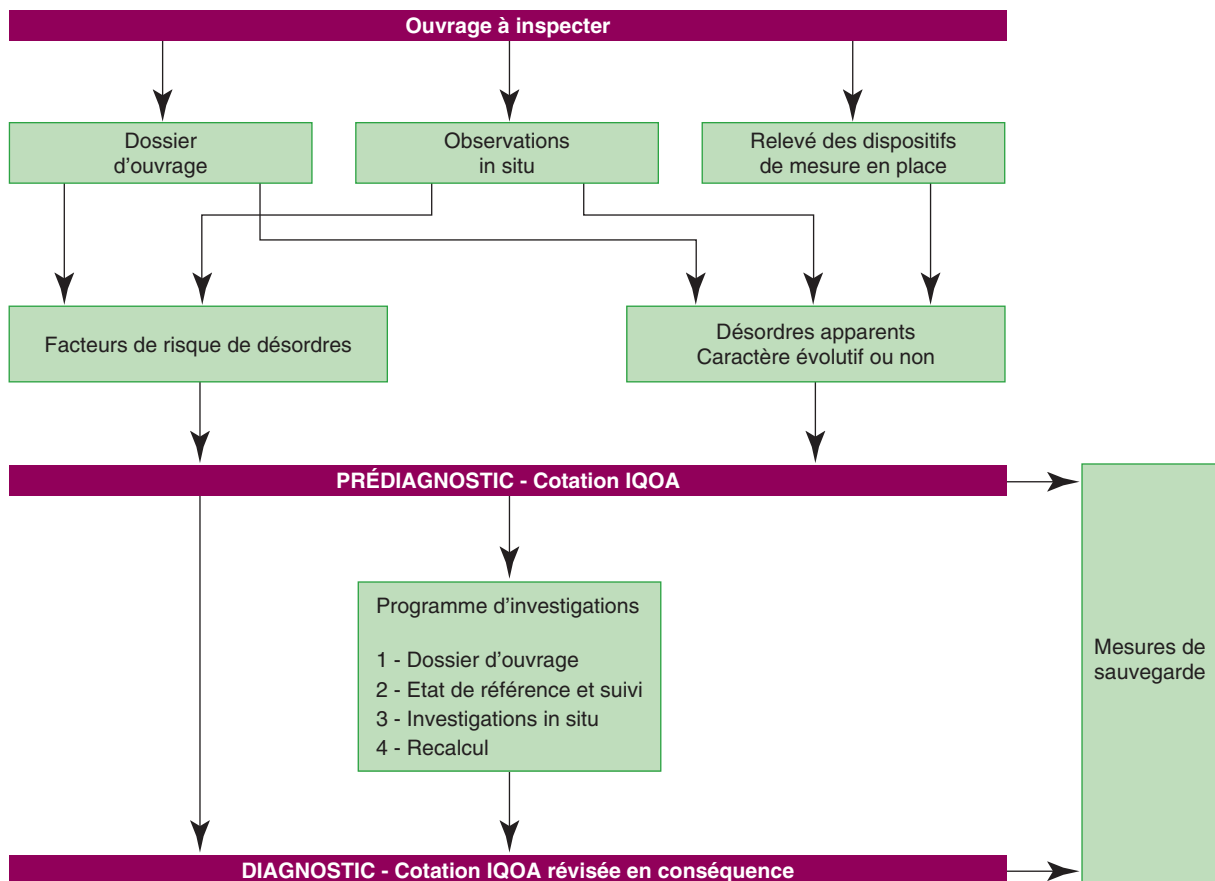


FIGURE 31 - Démarche de diagnostic.

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

## 6.2 *Du prédiagnostic au diagnostic*

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

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

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

Cette démarche de diagnostic comporte le plus souvent plusieurs étapes :

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

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

**TABLEAU I**

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

| Prédiagnostic  | Défauts et désordres associés   | Facteurs de risque de désordres associés   | Programme d'investigations  |
|--|---|--|---|
| <b>Grand glissement</b>  | Défauts et désordres de type :<br>Z1, Z1bis, Z2, Z3, Z4, Z6, Z9, Z10, Z12, Z16, D1 à D6, S3, S4, S5, S10, S11, S12, S22, S23, S24 | Facteurs de risque de désordres éventuels* :<br>. « ouvrages sur pente »<br>. présence d'une nappe<br>. sols évolutifs   | 1 - Dossier OA :<br>. vérification sommaire du calcul de stabilité<br>. contexte géotechnique<br><br>2 - État de référence et suivi :<br>. déplacements de l'ouvrage (suivi inclinométrique et topométrique)<br>. suivi de la nappe (suivi piézométrique)<br>. déformations du terrain (fissures, bourrelets, etc.)<br><br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br>. vérification des hypothèses géotechniques (sondages et essais)<br><br>4 - Recalcul :<br>. stabilité au grand glissement   |
| <b>Insuffisance de l'adhérence sol/éléments de renforcement (ou dimensionnement insuffisant de ces éléments)</b> | Défauts et désordres de type :<br>Z1bis, Z9, Z17, D1 à D6, S1, S3, S4, S5, S7, S8, S10, S11, S12, S16, S19, S23, S24, S26         | Facteurs de risque de désordres éventuels* :<br>. sols ayant connu des difficultés de mise en œuvre<br>. présence d'eau (infiltrations ou nappe phréatique), zone inondable<br>. drainage insuffisant ou inexistant<br>. évolution des sollicitations (surcharges)<br>. sols évolutifs | 1 - Dossier OA :<br>. contexte géotechnique<br>. vérification sommaire du dimensionnement<br><br>2 - État de référence et suivi :<br>. déplacements horizontaux (suivi inclinométrique et topométrique)<br>. suivi de la nappe phréatique (suivi piézométrique)<br><br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br>. prélèvement du matériau du remblai et détermination des caractéristiques géotechniques<br>. essais à la traction des bandes témoins (si elles existent)<br>. vérification des caractéristiques des éléments de renforcement (fluage excessif)<br>. vérification des conditions d'exploitation<br><br>4 - Recalcul de l'ouvrage et validation du prédiagnostic |
| <b>Insuffisance de résistance au glissement sur la base du sol de fondation</b>                                  | Défauts et désordres de type :<br>Z1bis, Z2, Z9, Z12, Z13, Z14, D1 à D6, S1, S3, S4, S5, S8, S10, S11, S12, S19, S23, S24         | Facteurs de risque de désordres éventuels* :<br>. sols évolutifs<br>. évolution des sollicitations   | 1 - Dossier OA :<br>. contexte géotechnique<br><br>2 - État de référence et suivi :<br>. déplacements horizontaux (suivi inclinométrique)<br>. suivi de la nappe (suivi piézométrique)<br><br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br>. sondages géotechniques selon éléments du dossier<br><br>4 - Recalcul des fondations et validation du prédiagnostic   |
| <b>Insuffisance de capacité portante du sol de fondation (localisée ou généralisée)</b>                          | Défauts et désordres de type :<br>Z1bis, Z2, Z12, Z14, D1 à D6, S1, S3, S4, S5, S6, S8, S10, S11, S12, S13, S19, S23, S24, S25    | Facteurs de risque de désordres éventuels* :<br>. sols évolutifs<br>. évolution des sollicitations<br>. ouvrage de grande hauteur  | 1 - Dossier OA :<br>. contexte géotechnique<br>. vérification sommaire du dimensionnement<br><br>2 - État de référence et suivi :<br>. déplacements verticaux et horizontaux en cas de déversement simultané (suivi topométrique - et inclinométrique, éventuellement -)<br>. suivi de la nappe (suivi piézométrique)<br><br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br>. sondages géotechniques selon éléments du dossier<br><br>4 - Recalcul des fondations et validation du prédiagnostic  |

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

TABLEAU I (SUITE)

| Prédiagnostic  | Défauts et désordres associés  | Facteurs de risque de désordres associés  | Programme d'investigations   |
|--|--|---|--|
| <b>CAS COMMUNS À L'ENSEMBLE DES OUVRAGES (suite)</b>   |  |   |  |
| <b>Tassements différentiels du sol de fondation</b>  | Défauts et désordres de type :<br>Z2, Z12, D1 à D6, S1, S6, S8, S13, S25 | Facteurs de risque de désordres éventuels* :<br>. sols évolutifs<br>. évolution des sollicitations<br>. ouvrage de grande hauteur   | 1 - Dossier OA :<br>. contexte géotechnique<br>. vérification sommaire du dimensionnement<br><br>2 - État de référence et suivi :<br>. déplacements d'ensemble et relatifs entre les deux parties de l'ouvrage (suivi topométrique + témoins)<br><br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br>. sondages géotechniques selon éléments du dossier, si possible au droit de la zone de tassement différentiel, et à proximité)<br><br>4 - Recalcul des fondations et validation du prédiagnostic   |
| <b>Dégradation des nappes dans les parties visibles</b>  | Défauts et désordres de type :<br>S2, S9                                 | Facteurs de risque de désordres éventuels* :<br>. venues d'eau à travers les nappes<br>. exposition à la lumière (UV)<br>. matériaux anguleux<br>. vandalisme<br>. matériaux traités ou agressifs (pH, ...) | 1 - Dossier OA :<br>. identification du matériau de remblai et de l'agressivité du site<br>. vérification sommaire du dimensionnement<br><br>2 - État de référence et suivi :<br>. déplacements horizontaux par inclinométrie<br><br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br>. prélèvement de matériau de remblai et analyses (chimique,...)<br>. reconnaissance de l'état des drains<br>. prélèvement des tronçons d'éléments de renforcement pour analyse chimique et essai à la traction<br>. essai à la traction sur bandes témoin (si elles existent)<br>. vérification des conditions d'exploitation<br><br>4 - Recalcul selon l'importance des altérations |
| <b>Risque de dégradations et/ou de rupture des éléments de renforcement (à l'intérieur du remblai)</b> | Pas de désordre extérieur visible  | Facteurs de risque identifiés :<br>. stagnation ou infiltration d'eau pouvant être polluée (produit hydrocarboné, ou produit chimique, par exemple)<br>. sols traités, ...                                  | 1 - Dossier OA :<br>. identification du matériau de remblai et de l'agressivité du site<br>. hypothèses de calcul<br>. contexte géotechnique<br><br>2 - État de référence et suivi :<br>. déplacements horizontaux par inclinométrie<br><br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br>. prélèvement de matériau de remblai et analyse chimique<br>. prélèvement des tronçons d'éléments de renforcement pour analyse chimique et essai à la traction<br>. essai à la traction sur bandes témoin (si elles existent)<br>. vérification des conditions d'exploitation<br><br>4 - Vérification sommaire du dimensionnement - Recalcul éventuel                         |

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



TABLEAU I (SUITE)

| Prédiagnostic  | Défauts et désordres associés                                     | Facteurs de risque de désordres associés   | Programme d'investigations   |
|--|---|--|--|
| <b>CAS DES OUVRAGES AVEC PAREMENT BÉTON</b>                  |   |  |  |
| Altération des parements (écaillés, murs préfabriqués, etc.) | Défauts et désordres de type :<br>D1 à D6, S7, S17, S20, S21, S22 | Facteurs de risque de désordres éventuels* :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>. sols particulièrement agressifs</li> <li>. eaux particulièrement agressives (nappe phréatique)</li> <li>. pollutions ou agressions industrielles</li> <li>. atmosphère marine ou, site aquatique (marnage)</li> <li>. utilisation intensive de sels de déverglaçage)</li> </ul> | 1 - Dossier OA :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>. contexte géotechnique</li> <li>. facteurs de risque de désordres recensés</li> </ul> 2 - État de référence et suivi :<br>3 - Investigations <i>in situ</i> :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>. prélèvement de matériaux en contact direct avec le béton</li> <li>. analyse physico-chimique du matériau du remblai</li> <li>. carottage du béton du parement pour analyse physico-chimique</li> <li>. détermination de la durabilité du béton (épaisseur d'enrobage des aciers, profondeur de carbonatation, pourcentage des chlorures selon l'épaisseur de béton, etc.)</li> </ul> 4 - Recalcul :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>. pronostic sur l'évolution</li> </ul> |

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

## 6.3 Techniques d'investigation

### 6.3.1 Actualisation des mesures de déplacement et de suivi

Les programmes d'investigation listés dans les tableaux du paragraphe 6.2 vont s'appuyer principalement sur les moyens de mesure décrits dans le paragraphe 3.5, relatif à l'instrumentation. On soulignera que pour de nombreux ouvrages et, en particulier, les ouvrages anciens, la première inspection mettra en évidence la nécessité de mettre en œuvre une instrumentation minimale, constituée de repères topographiques et tubes inclinométriques, par exemple.

### 6.3.2 Réalisation de fouilles

Dans le cas où les observations visuelles et les relevés des différents appareils mettent en évidence des anomalies graves, listées dans le tableau I, et si les informations sur l'ouvrage sont insuffisantes (pas de dossier de récolement, caractéristiques des matériaux et des nappes incertaines, pas de bandes extractibles ou de nappes témoins), des prélèvements des matériaux et des géosynthétiques pourront s'avérer indispensables.

*Le prélèvement des matériaux du remblai* peut être envisagé de façon traditionnelle, par sondage, en veillant à adapter le diamètre du forage à la granulométrie du matériau. Dans le cas général des sols grenus, le carottage intact est difficile, on choisira plutôt la technique d'un prélèvement foisonné, à la tarière continue ou au *bucket*. Par contre, ces sondages seront implantés en limite arrière des nappes pour ne pas risquer la dégradation du massif renforcé.

Lors de ces prélèvements, on recherchera, principalement, les valeurs du pH réel, ou du coefficient de frottement, que l'on comparera avec les valeurs du calcul.

*Le prélèvement des nappes* est plus délicat. Nous suggérons également un sondage en gros diamètre (60 à 80 cm : matériel utilisé pour l'exécution des puits), implanté en limite arrière des nappes et limité en profondeur aux deux nappes supérieures.

Le prélèvement et l'échantillonnage des nappes se fera conformément à la norme NF G 38-011 et la dimension des éprouvettes sera choisie en fonction des types d'essais envisagés. En particulier, l'essai de résistance à la traction nécessite un échantillon de 150 mm × 100 mm au minimum entre mors.

Si le recouvrement en remblai traditionnel n'est pas trop important (4 à 5 mètres au plus), on peut envisager un sondage à la pelle mécanique, toujours en limite arrière du massif, ce qui permet de prélever le matériau et des morceaux de nappes géosynthétiques en partie supérieure.

À notre connaissance, il n'existe pas de procédés permettant le prélèvement de nappes, de dimensions suffisantes pour faire des essais de traction, en profondeur, dans les zones de plus fortes tractions.

## **6.4 Recalcul de l'ouvrage**

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

Ce calcul ne sera significatif que si tous les paramètres sont dûment justifiés. Il s'appuiera sur les données du dossier d'exécution, éventuellement corrigées sur la base de nouveaux essais (résistance au cisaillement du sol, rigidité des nappes, géométrie, surcharges, etc.).

# **7. Entretien et réparation\***

## **7.1 Entretien courant**

L'entretien courant des ouvrages en remblai renforcé par géosynthétiques consiste dans les opérations suivantes :

- enlèvement de la végétation nuisible,
- débouchage des drains,
- nettoyage des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux,
- entretien de la végétation, dans le cas des parements végétalisés.

## **7.2 Entretien spécialisé**

L'entretien spécialisé concerne essentiellement la protection du parement (végétalisé, en éléments préfabriqués, etc.) et l'amélioration des dispositifs d'évacuation des eaux de surface.

Dans le cas des parements végétalisés, il pourra être nécessaire de faire appel à un spécialiste qui proposera des techniques de remise en végétation et de nouveaux choix de végétaux en fonction des échecs antérieurs.

---

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

### 7.3 Réparations

Tous les projets de réparation envisagés après le diagnostic devront faire l'objet d'une étude au cas par cas par un spécialiste. En fonction des problèmes posés, du type d'ouvrage et de l'environnement, les techniques pourront être très différentes.

Les principales réparations que l'on peut être amené à effectuer sur un ouvrage en remblai renforcé par géosynthétiques peuvent être classées en fonction de l'importance de l'emprise disponible devant le parement.

Il s'agit essentiellement :

- de la mise en place d'un remblai de butée contre le parement,
- de la construction d'ouvrage de soutènement, à l'aval ou contre le parement (mur en béton armé, empilement d'éléments préfabriqués, gabions, etc.),
- de l'installation de parois et voiles ancrés,
- d'un renforcement par clouage (pour des parements à écailles + bandes),
- de la restauration de la structure à partir d'éléments rapportés, en cas d'altération locale (chocs, incendie),
- du rétablissement des fonds devant l'ouvrage en cas d'affouillements, et de la mise en place de dispositifs anti-affouillements (enrochements, gabions, etc.).

## 8. Bibliographie

### *Normes*

**pr EN 13251** - Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les travaux de terrassement, fondations et structures de soutènement, juillet **2000**.

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

**NF EN 963** - Géotextiles et produits apparentés - Échantillonnage et préparation des éprouvettes, **1995**.

**NF EN ISO 11058** - Géotextiles et produits apparentés - Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau normalement au plan, sans contrainte mécanique (ISO/FDIS 11058:1998), **1998**.

**NF EN ISO 12958** - Géotextiles et produits apparentés - Détermination de la capacité de débit dans leur plan, **1998**.

**NF EN ISO 12956** - Géotextiles et produits apparentés - Détermination de l'ouverture de filtration caractéristique, **1998**.

**Pr NF EN ISO 30318** - Géosynthétiques, géotextiles, produits apparentés aux géotextiles, géomembranes et produits apparentés aux géomembranes. Termes et définitions (G38-109).

**NF EN ISO 10319** - Essai de traction sur bandes larges, **1996**.

**NF EN ISO 10320** - Géotextiles et produits apparentés. Identification sur site (G38-105), **2000**.

**NF EN ISO 10321** - Géotextiles - Essai de traction pour joints/coutures par la méthode de la bande large, **1996**.

**NF EN ISO 13431** - Géotextiles et produits apparentés - Détermination du comportement au fluage en traction et de la rupture en fluage en traction, **1998**.

**ENV 12447** - Géotextiles et produits apparentés - Méthode de détermination de la résistance à l'hydrolyse.

**XP ENV 12224** - Géotextiles et produits apparentés - Détermination de la résistance aux essais climatiques, **1996**.

**XP ENV 12225** - Géotextiles et produits apparentés - Méthode pour la détermination de la résistance microbiologique par essai d'enterrement, **1996**.

**XP ENV 12226** - Géotextiles et produits apparentés - Essais généraux pour l'évaluation après les essais de durabilité, **1996**.

**ENV ISO 10722-1** - Géotextiles et produits apparentés - Essais pour évaluer les dégradations durant la mise en œuvre, **1998**.

**NF EN ISO 12236** - Géotextiles et produits apparentés - Essai de poinçonnement statique (essai CBR), **1996**.

**NF EN 918** - Géotextiles et produits apparentés - Essai de perforation dynamique (essai par chute d'un cône), **1996**.

**Pr EN ISO 12957-1** - Géotextiles et produits apparentés - Détermination des caractéristiques de frottement - Partie 1: Essai de cisaillement direct (ISO/DIS 12957-1:1997), **1997**.

**NF P 94-232-1** - Renforcement des sols - Ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures extensibles et souples - Partie 1 : Essai en place, par paliers, d'une bande d'armature, **2001**.

**XP ENV 1997-1** - Eurocode 7. Calcul géotechnique - Partie 1 : Règles générales (P 94-250), **1996**.

## ***Textes réglementaires***

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

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

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

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

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

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

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

### ***Documents guides***

*IQOA - Murs de soutènement - Guide méthodologique*, Bagnaux, SETRA, 27 pages.

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

*Les ouvrages de soutènement - Guide de conception générale*, SETRA - F9849, 1998, 154 pages.

### ***Logiciels***

Dimensionnement des ouvrages renforcés par géotextile. Programme CARTAGE, *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 142, mars-avril 1986, pp. 33-44.

*Analyse de stabilité des ouvrages géotechniques avec ou sans renforcements* - Programme TALREN, Montreuil, Terrasol.



# ANNEXE I

## Catalogue des défauts et désordres apparents

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

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

## Zone d'influence

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

| N°            | Défauts et désordres apparents   | Causes possibles  | Critères influençant la gravité  |
|---------------|--|---|--|
|               | <b>ZONE D'INFLUENCE EN PARTIE SUPÉRIEURE DU MASSIF RENFORCÉ</b>  |   |  |
|               | <b>STABILITÉ D'ENSEMBLE</b>  |   |  |
| <b>Z1</b>     | Fissuration du terrain (en arc de cercle)  | Amorce de grand glissement  | Continuité, longueur et ouverture des fissures<br>Présence et importance d'un rejet<br>Distance parement-fissure   |
| <b>Z1 bis</b> | Fissuration du terrain parallèlement à l'ouvrage   | Nature du matériau soutenu (fissure de retrait sous l'effet de la sécheresse)<br>Problème de structure de chaussée<br>Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval<br>Déformation (allongement) différée importante des nappes<br>Conséquence du défaut S1 | Continuité, longueur et ouverture des fissures<br>Présence et importance d'un rejet  |
| <b>Z2</b>     | Tassement du terrain   | Nature du matériau soutenu (érodable, défaut de compactage, tassement par imbibition)<br>Entraînement de fines<br>Amorce de rupture du massif<br>Rupture de canalisations enterrées<br>Sol support compressible   | Phénomène localisé ou étendu<br>Caractère évolutif (accélération du mouvement)<br>Risque de rupture des canalisations enterrées ou des ouvrages hydrauliques (buses)                                   |
| <b>Z3</b>     | Effondrement local du terrain soutenu  | Formation d'une cavité par entraînement des fines<br>Rupture d'une canalisation   | Importance de l'effondrement   |
| <b>Z4</b>     | Bourrelets de terrain  | Mouvement général du site localisé ou non à l'amont de l'ouvrage  | Phénomène localisé ou étendu   |
| <b>Z5</b>     | Érosion, ravinement du terrain   | Défauts du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux de surface   | Phénomène localisé ou étendu<br>Entraînement de matériau en tête de mur<br>Risque de chutes de matériaux en pied de mur  |
| <b>Z6</b>     | Inclinaison anormale d'arbres ou de poteaux  | Mouvements du massif renforcé<br>Grand glissement du site   | Une inclinaison vers l'amont peut être un indice de grand glissement<br>Une inclinaison vers l'aval peut indiquer un allongement excessif des nappes supérieures, associé à un basculement du parement |
| <b>Z7</b>     | Présence de végétation importante  | Absence ou manque d'entretien   |  |
| <b>Z8</b>     | Surcharge, accumulation anormale de matériaux en tête de mur (stockage dans la zone d'influence) ou construction récente |   | Matériaux polluants ou dangereux, surcharges supérieures aux hypothèses de calcul  |
| <b>Z9</b>     | Travaux intempestifs   | Tranchée, pose de poteaux   | Ampleur et profondeur des travaux  |



| N°  | Défauts et désordres apparents   | Causes possibles   | Critères influençant la gravité   |
|-----|--|--|---|
|     | <b>ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS D'UN MASSIF RENFORCÉ</b>                  |  |   |
|     | <b>STABILITÉ D'ENSEMBLE</b>  |  |   |
| Z10 | Fissuration du terrain à l'aval du mur                                     | Nature du matériau<br>Glissement d'ensemble en pied du mur   | Continuité et ouverture des fissures<br>Présence et valeur d'un rejet                   |
| Z11 | Tassement du terrain en pied du mur  | Nature du matériau<br>Problème d'exécution dans le cas d'un remblai  | Phénomène localisé ou étendu  |
| Z12 | Bourrelets de pied   | Poinçonnement du sol support par insuffisance de portance<br>Mouvement de rupture générale                           | Phénomène localisé ou étendu  |
| Z13 | Érosion, ravinement, affouillement en pied d'ouvrage                       | Instabilité du terrain, défaut d'évacuation des eaux collectées<br>Protection insuffisante contre les affouillements | Phénomène localisé ou étendu  |
| Z14 | Excavation, fouilles en pied de mur  |  | Localisation, ampleur et profondeur des travaux   |
| Z15 | Végétation importante  | Entretien insuffisant<br>Venues d'eau  | Empêche toute observation sur le parement   |
| Z16 | Inclinaisons anormales d'arbres, de poteaux                                | Instabilité du terrain superficiel d'assise<br>Mouvement général, révélateur d'un grand glissement                   | Caractère évolutif du phénomène   |
| Z17 | Accumulations de matériaux, surcharges à proximité ou adossées au parement |  | Poussée non prise en compte dans les calculs, notamment pour les parements indépendants |

## Équipements

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

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

## Drainage et assainissement

| N° | Défauts et désordres apparents  | Causes possibles  | Critères influençant la gravité   |
|----|---|---|---|
|    | <b>DRAINAGE INTERNE SPÉCIFIQUE À L'OUVRAGE RENFORCÉ</b>   |   |   |
| D1 | Ruissellement ou suintement le long des nappes en parement<br>Formation de concrétion             | Mauvaise collecte des eaux à l'arrière de l'ouvrage, dysfonctionnement des dispositifs de drainage<br>Infiltration d'eau depuis la chaussée | Importance des venues d'eau<br>Altitude par rapport au pied du mur<br>Entraînement de fines à travers le massif |
| D2 | Rabattement de la nappe phréatique non conforme au projet   | Dysfonctionnement ou sous-dimensionnement des dispositifs réalisés  | Formation d'une nappe phréatique mettant en cause la stabilité générale du massif                               |
| D3 | Colmatage ou altération du dispositif de drainage   | Manque d'entretien<br>Vandalisme<br>Défaut de réalisation   | Importance des venues d'eau affectant, ou susceptibles d'affecter, cet ouvrage                                  |
|    | <b>ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE DU MUR</b>   |   |   |
| D4 | Stagnation d'eau sur la plateforme  | Absence ou défaut du dispositif d'évacuation des eaux<br>Conséquence des déformations verticales du massif                                  | Risque d'infiltration d'eau<br>Risque d'infiltration de produits agressifs (par exemple produit hydrocarboné)   |
| D5 | Dégradation des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux (colmatage, mauvaise conception) | Défaut d'entretien<br>Tassements et déformations  | Risque d'infiltration d'eau<br>Risque d'infiltration de produits agressifs (par exemple produit hydrocarboné)   |
|    | <b>ASSAINISSEMENT EN CONTREBAS DU MUR</b>   |   |   |
| D6 | Stagnation d'eau sur la plateforme  | Absence ou défaut du dispositif d'évacuation des eaux   |   |
| D7 | Dégradation des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux (colmatage, mauvaise conception) | Défauts d'entretien<br>Mouvements de terrain  |   |

## Structure en remblai renforcé par éléments géosynthétiques

### Parements végétalisés

| N°           | Défauts et désordres apparents   | Causes possibles   | Critères influençant la gravité  |
|--------------|--|--|--|
|              | <b>DÉFORMATION DU MASSIF RENFORCÉ</b>  |  |  |
| <b>S1</b>    | Déformations des boudins et/ou déplacements relatifs des nappes en partie externe  | Sous-dimensionnement<br>Dégradation due à une végétation inadaptée<br>Circulations d'eau<br>Ouverture de fouille en pied<br>Affouillements<br>Mauvaise exécution   | Évolution tangible des déformations<br>Décalage anormal et évolutif entre deux niveaux   |
| <b>S2</b>    | Rupture par déchirure de certaines nappes<br>a - avec écoulements du matériau de remplissage<br>b - sans écoulement de matériau        | Nappes ou grilles externes inadaptées<br>Dégradation due à une végétation inadaptée<br>Mauvais entretien<br>Circulations d'eau<br>Matériau de remplissage anguleux, agressif mécaniquement<br>Mauvaise exécution ou mise en œuvre<br>Vandalisme  | Nombre et ampleur des déchirures<br>Influence à terme sur la partie interne du massif<br>Volume de terre déplacé   |
| <b>S3</b>    | Déversement localisé ou général de l'ouvrage, avec amorce de rupture par cisaillement et/ou écoulement du matériau frottant structurel | Sous-dimensionnement par mauvaise estimation des efforts<br>Sous-dimensionnement par mauvaise appréciation des caractéristiques mécaniques des nappes ou du matériau<br>Modification des caractéristiques de frottements internes, du matériau et/ou des géotextiles, à cause des effets de l'imbibition<br>Surcharge en tête de l'ouvrage<br>Dégradation des éléments de renforcement | Ampleur et caractère évolutif des désordres  |
|              | <b>AUTRES DÉFAUTS</b>  |  |  |
| <b>S4</b>    | Fissuration sans rejet sur la plateforme, au droit des nappes de renforcement  | Sous-dimensionnement des éléments de renforcement et mauvaise appréciation des déformations différées et/ou de l'évolution des caractéristiques mécaniques du matériau ou du géotextile  | Ampleur de la fissuration et vitesse d'évolution   |
| <b>S5</b>    | Fissuration avec rejet sur la plateforme, au droit des nappes de renforcement  | Possibilité d'une amorce de rupture  | Déformations caractéristiques d'une « loupe » de glissement : rejet, courbe refermée et affaissement local ayant une échelle en rapport avec les dimensions de l'ouvrage |
| <b>S6</b>    | Tassements localisés en surface, sans fissuration  | Sol support compressible<br>Défaut de compactage<br>Évolution du matériau par imbibition<br>Entraînement de fines par défauts de collecte des eaux   | Un défaut de type S5, mais masqué par effet de dalle des couches supérieures (chaussée, par exemple)   |
| <b>S7</b>    | Venues d'eau, suintement, érosion du matériau de végétalisation  | Mauvaise collecte des eaux<br>Végétalisation inadaptée et/ou entretien insuffisant   |  |
| <b>S7bis</b> | Présence d'une végétation néfaste  | Entretien insuffisant  | Importance de la végétation susceptible de détériorer les nappes   |

## Structure renforcée par éléments géosynthétiques

### Parements rigides avec espace visitable

| N°         | Défauts et désordres apparents  | Causes possibles   | Critères influençant la gravité  |
|------------|---|--|--|
|            | <b>DÉFORMATION DU MASSIF RENFORCÉ</b>   |  |  |
| <b>S8</b>  | Déformations des boudins et/ou déplacements relatifs des nappes   | Sous-dimensionnement<br>Circulations d'eau<br>Ouverture de fouille en pied<br>Mauvaise exécution   | Évolution tangible des déformations<br>Décalage anormal et évolutif entre deux niveaux<br>Contact nappes - parement préfabriqué  |
| <b>S9</b>  | Rupture par déchirure de certaines nappes<br>a - avec écoulement du matériau<br>b - sans écoulement de matériau   | Circulations d'eau<br>Matériau de remplissage anguleux, agressif mécaniquement<br>Mauvaise exécution<br>Vandalisme   | Nombre et ampleur des déchirures<br>Volume de matériau déplacé   |
| <b>S10</b> | Déversement localisé ou général de l'ouvrage<br>Obstructions locales de l'espace entre les boudins et le parement, avec amorce de rupture par cisaillement et/ou écoulement du matériau frottant structurel | Sous-dimensionnement par mauvaise estimation des efforts<br>Sous-dimensionnement par mauvaise appréciation des caractéristiques mécaniques des nappes ou du matériau<br>Modification des caractéristiques de frottement interne, du matériau et/ou des géotextiles, à cause des effets de l'imbibition<br>Surcharge en tête de l'ouvrage<br>Dégradation des éléments de renforcement | Ampleur et caractère évolutif des désordres  |
|            | <b>AUTRES DÉFAUTS ET DÉSORDRS</b>   |  |  |
| <b>S11</b> | Fissuration sans rejet sur la plateforme, au droit des nappes de renforcement   | Sous-dimensionnement des éléments de renforcement et mauvaise appréciation des déformations différées et/ou de l'évolution des caractéristiques mécaniques du matériau ou du géotextile  | Ampleur de la fissuration et vitesse d'évolution   |
| <b>S12</b> | Fissuration avec rejets sur la plateforme, au droit des nappes de renforcement  | Idem S11 + possibilité d'une amorce de rupture   | Déformations caractéristiques d'une « loupe » de glissement : rejet, courbe refermée et affaissement local ayant une échelle en rapport avec les dimensions de l'ouvrage |
| <b>S13</b> | Tassements localisés en surface, sans fissuration   | Sol support compressible<br>Défaut de compactage<br>Évolution du matériau par imbibition<br>Entraînement de fines par défauts de collecte des eaux   | Un défaut de type S12, mais masqué par effet de dalle des couches supérieures (chaussée, par exemple)  |
| <b>S14</b> | Tassements différentiels entre le massif renforcé et le parement  | Sol support compressible   |  |
| <b>S15</b> | Mise en butée de la dalle de transition entre le massif et le mur   | Mauvaise conception de l'ouvrage<br>Désordre de type S8  | Fissurations sur le mur en parement  |
| <b>S16</b> | Venues d'eau, suintement<br>Formation de mousses  | Mauvaise collecte des eaux   | Entraînement de fines, réduction des capacités de drainage des nappes et du matériau par colmatage   |
| <b>S17</b> | Altération du parement (fissuration de retrait, éclats, fers apparents, etc.)   | Mauvaise exécution, venues d'eau agressives, milieu ambiant agressif, etc.)  | Importance et étendue des altérations  |
| <b>S18</b> | Développement de végétaux   | Mauvais entretien<br>Parement insuffisamment opaque  | Dégradation des nappes retournées  |

## Structure renforcée par éléments géosynthétiques Parements rigides de type écailles, solidaires des bandes

| N°  | Défauts et désordres apparents  | Causes possibles  | Critères influençant la gravité  |
|-----|---|---|--|
|     | <b>DÉFORMATION DU MASSIF RENFORCÉ</b>   |   |  |
| S19 | Déversement localisé ou général<br>Décalages en plan ou défaut d'alignement de certains éléments du parement                      | Sous-dimensionnement par mauvaise estimation des efforts<br>Sous-dimensionnement par mauvaise appréciation des caractéristiques des nappes ou du matériau<br>Modification des caractéristiques de frottements internes, du matériau et/ou des géotextiles, à cause des effets de l'imbibition<br>Surcharge en tête de l'ouvrage<br>Dégradation des éléments de renforcement | Ampleur et caractère évolutif des désordres  |
|     | <b>DÉFAUTS ET DÉSORDRES DU PAREMENT</b>   |   |  |
| S20 | Fissuration localisée sur une ou plusieurs écailles   | Faiencage, retrait du béton   |  |
| S21 | Fissuration importante sur de nombreuses écailles   | Sous-dimensionnement des écailles, modification des sollicitations, etc.  | Ouverture de la fissuration  |
| S22 | Altération des écailles (fissures de retrait, éclats, fers apparents, etc.)   | Mauvaise exécution, venues d'eau agressives, milieu ambiant, agressif, etc.   |  |
|     | <b>AUTRES DÉFAUTS ET DÉSORDRES</b>  |   |  |
| S23 | Fissuration sans rejet sur la plateforme, au droit des nappes de renforcement   | Sous-dimensionnement et mauvaise appréciation des déformations différées et/ou de l'évolution des caractéristiques mécaniques du matériau ou du géotextile  | Ampleur et évolution des vitesses  |
| S24 | Fissuration avec rejet sur la plateforme, au droit des nappes de renforcement   | Possibilité d'une amorce de rupture   | Déformations caractéristiques d'une « loupe » de glissement : rejet, courbe refermée et affaissement local ayant une échelle en rapport avec les dimensions de l'ouvrage |
| S25 | Tassements localisés en surface, sans fissuration   | Sol support compressible<br>Défaut de compactage<br>Évolution du matériau par imbibition<br>Entraînement de fines par défauts de collecte des eaux  | Un défaut de type S24, mais masqué par effet de dalle des couches supérieures (chaussée, par exemple)  |
| S26 | Venues d'eau, suintements à certains niveaux dans le parement<br>- avec écoulement de matériaux<br>- sans écoulement de matériaux | Mauvaise collecte des eaux  | Entraînement de fines, réduction des capacités de drainage des nappes et du matériau par colmatage   |
| S27 | Développement de végétaux sur le parement   | Mauvais entretien + venues d'eau  |  |



## ANNEXE II

### Les critères pour une cotation IQOA

## CLASSES D'ÉTAT DE LA COTATION IQOA

### CLASSE 1

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

### CLASSE 2

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

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

### CLASSE 2 E

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

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

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

### CLASSE 3

Ouvrage

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

### CLASSE 3U

Ouvrage

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

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

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



## CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA

### ■ Zone d'influence (classe 1 à 3U)

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

- tassement, fissuration et bourrelets des terrains liés à des déplacements de la structure,
- effondrement des terrains soutenus du fait de l'entraînement de matériaux,
- affouillements et excavations en pied d'ouvrage,
- glissement d'ensemble.

#### CLASSE 2

- surcharge, accumulation anormale de matériaux en tête de murs,
- érosion et ravinement du sol.

#### CLASSE 1

- présence de végétation nuisible,
- accumulation de matériaux, surcharges à proximité ou adossés au parement.

### ■ Équipements (classe 1 à 2E)

- cotation selon les modalités de la méthode IQOA.

### ■ Drainage et assainissement (classe 1 à 2E)

#### CLASSE 2E

- ruissellement ou suintement le long des nappes en parement,
- rabattement de la nappe phréatique non conforme au projet,
- écoulement de fines du matériau de remblai,
- défaut du système d'assainissement entraînant des ruissellements d'eau chargée en agents agressifs,
- colmatage du système de drainage interne dû à une altération ou à un manque d'entretien,
- stagnations d'eau sur l'ouvrage.

#### CLASSE 2

- stagnations d'eau en pied de l'ouvrage.

## ■ Structure (classe 1 à 3U)

### CLASSE 3U

- glissement d'ensemble,
- mouvement important de l'ouvrage (glissement, tassement, etc.) à caractère évolutif,
- dégradation importante et généralisée des nappes visible au niveau des parements,
- déchirures multiples et/ou importantes des nappes géosynthétiques,
- dégradation très importante et généralisée (fractures, éclats, etc.) des parements solidaires (écailles, par exemple).

### CLASSE 3

- inclinaison anormale du parement susceptible d'évoluer défavorablement à moyen ou long terme,
- déplacement localisé de certains éléments du parement (écailles) avec fuite du matériau.

### CLASSE 2E

- déchirure localisée de la nappe et fuite mineure de matériau (cotation en fonction des risques compte tenu de ce qui est soutenu),
- altération des parements béton indépendants (fissuration, éclats),
- présence de végétation importante entre les éléments du parement.

### CLASSE 2

- inclinaison anormale mais stabilisée,
- déplacement vertical compatible avec les déformations admissibles,
- défauts ponctuels d'assemblage entre éléments du parement (stabilisé),
- altération localisée des parements ou décalages stabilisés correspondant à un défaut de construction.

### CLASSE 1

- défauts mineurs.

## **Annexe A** **67**

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

|  |    |
|--|----|
| 1. Reconnaissance                              | 68 |
| 2. Préparation de l'intervention               | 68 |
| 3. Intervention <i>in situ</i>                 | 69 |
| 4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée | 70 |
| 5. Rédaction de la note de synthèse            | 70 |
| 6. Réunion de synthèse                         | 70 |

## **Annexe B** **71**

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

## **Annexe C** **77**

### **Fiche de synthèse IQOA**



# ANNEXE A

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

# 1. Reconnaissance

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

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

Il est rappelé que :

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

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

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

## 2. Préparation de l'intervention

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

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

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

### 3. Intervention *in situ*

Elle comprend pour l'équipe d'intervention :

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

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

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

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

## 4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée

Ce rapport sera conforme au modèle de cadre de l'annexe B. Il comprendra obligatoirement : un chapitre données administratives et de repérage du soutènement,

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

## 5. Rédaction de la note de synthèse

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

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

## 6. Réunion de synthèse

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

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

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



## ANNEXE B

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

N° de l'ouvrage :../.../..

Date : ../.../..

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

### **1. DONNÉES ADMINISTRATIVES ET DE REPÉRAGE**

*1.1 Nom du soutènement*

*1.2 Service gestionnaire*

*1.3 Commune*

*1.4 Voie de rattachement*

1.4.1 Type de voie

1.4.2 Numéro de voie

1.4.3 Pr + Abscisse début du soutènement

*1.5 Autre voie concernée par le soutènement*

### **2. EMPLACEMENT DU SOUTÈNEMENT**

*2.1 Localisation du soutènement*

*2.2 Position du soutènement*

*2.3 Éloignement du soutènement par rapport aux voies*

### **3. DESCRIPTION DU SOUTÈNEMENT**

*3.1 Géométrie du soutènement*

*3.2 Constitution*

*3.3 Modifications*

*3.4 Autres ouvrages liés au soutènement*

### **4. FACTEURS DE RISQUE DE DÉSORDRES**

N° de l'ouvrage :../../..

Date : ../../..

## 5. SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE

### *5.1 Documents de référence*

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

5.1.2 Date (ou année) de la dernière inspection détaillée

5.1.3 Dossier d'ouvrage (emplacement)

### *5.2 Investigations ou suivis spécifiques mis en œuvre*

*(depuis la dernière action de surveillance)*

### *5.3 Régime de surveillance (périodicité des actions de surveillance)*

### *5.4 Mesures de sécurité particulières*

### *5.5 Conditions d'exécution de l'IDP*

5.5.1 Date

5.5.2 Ingénieur(s) responsable(s)

5.5.3 Équipe d'inspection

5.5.4 Moyens mis en œuvre

5.5.5 Météo

5.5.6 Température ambiante

5.5.7 Particularités de l'intervention

## 6. CONSTATATIONS

### *6.1 Zone d'influence*

#### ■ En partie supérieure du soutènement

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

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

#### ■ En contrebas du soutènement

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

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

### *6.2 Équipements*

#### ■ En partie supérieure du soutènement

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

N° de l'ouvrage : ../../..

Date : ../../..

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

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

*Autres équipements.*

#### ■ En contrebas du soutènement

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

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

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

*Autres équipements.*

### 6.3 Drainage et assainissement

#### ■ Interne

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

#### ■ En partie supérieure du soutènement

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

#### ■ En contrebas du soutènement

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

### 6.4 Structure

#### ■ Soutènement

#### ■ Fondations

#### ■ Élément de renforcement ou de réparation antérieur

N° de l'ouvrage :../../..

Date : ../../..

## **7. MESURES EFFECTUÉES DANS LE CADRE DE L'INSPECTION**

## **8. ESSAIS, RECONNAISSANCES**

## **9. NOTE DE SYNTHÈSE**

*A - Conclusions de la dernière action de surveillance*

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

*C - Conclusions de l'inspection détaillée*

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

C1.1 - Zone d'influence

C1.2 - Équipements

C1.3 - Drainage et assainissement

C1.4 - Structure

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

**C3 - Propositions de mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde**

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

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

## **10. ANNEXES AU RAPPORT**

**Annexe Plans de l'ouvrage**

**Annexe Plans et schémas des défauts et des désordres**

**Annexe Dossier photographique**



# ANNEXE C

## Fiche de synthèse IQOA

## FICHE DE SYNTHÈSE

Identification de l'ouvrage :

| ZONE D'INFLUENCE                     |        |   |
|--------------------------------------|--------|---|
|                                      | CDOA   |   |
|                                      | CLASSE | S |
| <b>En partie supérieure</b>          |        |   |
| <b>En contrebas</b>                  | CLASSE | S |
|                                      |        |   |
| <b>CLASSE DE LA ZONE D'INFLUENCE</b> |        |   |

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

| DRAINAGE / ASSAINISSEMENT |        |   |
|---------------------------|--------|---|
|                           | CDOA   |   |
|                           | CLASSE | S |
| - Interne                 |        |   |
| - En partie supérieure    |        |   |
| - En contrebas            |        |   |
| <b>CLASSE DU DRAINAGE</b> |        |   |

| STRUCTURE                     |        |   |
|-------------------------------|--------|---|
|                               | CDOA   |   |
|                               | CLASSE | S |
| <b>CLASSE DE LA STRUCTURE</b> |        |   |

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

| JUSTIFICATIFS DES COTATIONS DE SYNTHÈSE |
|---|
|   |





**Document publié par le LCPC** : sous le numéro 51123113  
**Conception et réalisation** : LCPC-IST, Marie-Christine Pautré  
**Dessins** : LCPC-IST, Philippe Caquelard  
**Crédits photographiques** : Réseau des LPC - Services Gestionnaires - SETRA  
**Flashage-Impression** : Bialec - Nancy (France)  
**Dépôt légal** : 3e trimestre 2003 - N° 58962



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.