

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 poutres et voiles ancrés
par tirants précontraints

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 poutres et voiles ancrés par tirants précontraints

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), rédacteur du présent fascicule
- A. Lelièvre (LRPC de Rouen)
- B. Mahut (LCPC), animateur
- D. Malaterre (LRPC de Toulouse)
- C. Maurel (SETRA), rédacteur du présent fascicule
- M. Michel (LRPC de Lille)
- C. Mieussens (LRPC de Toulouse)
- N. Odent (SETRA), représentant du maître d'ouvrage
- L. Philippoteaux (LRPC de Strasbourg)
- M. Pioline (LRPC de Rouen)
- F. Renaudin (LRPC de Strasbourg)
- G. Sève (LRPC de Nice), rédacteur du présent fascicule
- J.-P. Sudret (LRPC d'Autun)

Le groupe de travail remercie :

- B. Godart (LCPC)
- J. Magadoux (SNCF)
- J.-P. Magnan (LCPC)
- P. Roenelle (LRPC de Lyon)

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

Pour commander cet ouvrage :

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

58, boulevard Lefebvre
F-75732 PARIS CEDEX 15

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

Prix : 23 Euros HT

En couverture : Ouvrage ancré sur la route d'accès au tunnel du Fréjus.

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 : 2-7208-3115-8

Sommaire

■ *Présentation générale commune à tous les fascicules*5



RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX POUTRES ET VOILES ANCRÉS PAR TIRANTS PRÉCONTRAINTS

1. Introduction	11
2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi	11
2.1 <i>Principe de fonctionnement</i>	11
2.2 <i>Domaine d'emploi</i>	12
3. Description de l'ouvrage	14
3.1 <i>Structure</i>	14
3.1.1 <i>Le parement</i>	14
3.1.2 <i>Les tirants</i>	16
3.2 <i>Zone d'influence</i>	26
3.3 <i>Équipements</i>	27
3.4 <i>Drainage</i>	27
3.5 <i>Dispositifs de suivi</i>	27
4. Origine des défauts et désordres	30
4.1 <i>Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage</i>	30
4.2 <i>Défauts d'exécution</i>	30
4.3 <i>Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques</i>	30
4.4 <i>Défaut d'entretien</i>	30

5. Inspection détaillée **31**

<i>5.1 Organisation et déroulement</i>	31
<i>5.2 Relevé des défauts et désordres</i>	32
5.2.1 Relevé des défauts et désordres	32
5.2.2 Relevé des dispositifs de suivi	33
<i>5.3 Facteurs de risque de désordres</i>	34
<i>5.4 Prédiagnostic</i>	35
<i>5.5 Cotation IQOA</i>	35

6. Diagnostic **38**

<i>6.1 Démarche générale</i>	39
<i>6.2 Du prédiagnostic au diagnostic</i>	39
<i>6.3 Techniques d'investigation</i>	41
6.3.1 Suivi des déformations de l'ouvrage	41
6.3.2 Géométrie et nature des parements en béton armé	42
6.3.3 Tension dans les tirants	42
6.3.4 Grands glissements	42
6.3.5 Sols	43
6.3.6 Nappe	44
<i>6.4 Recalcul de l'ouvrage</i>	44

7. Entretien et réparation **44**

<i>7.1 Entretien courant</i>	44
<i>7.2 Entretien spécialisé</i>	44
<i>7.3 Réparations</i>	44

8. Bibliographie **45**

ANNEXE I CATALOGUE DES DÉFAUTS ET DÉSORDRS APPARENTS	47
ANNEXE II LES CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA	55
ANNEXE III PROTECTION DES TIRANTS CONTRE LA CORROSION : RÉCAPITULATIF DES DIFFÉRENTS TYPES DE PROTECTION	59

■ Annexes communes à tous les fascicules **63**

ANNEXE A ÉLÉMENTS D'UN CAHIER DES CHARGES TYPE D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE (IDP) D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	65
ANNEXE B MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	69
ANNEXE C FICHE DE SYNTHÈSE IQOA	75

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 POUTRES ET VOILES ANCRÉS PAR TIRANTS PRÉCONTRAINTS



1. Introduction

Le présent guide s'applique aux ouvrages de soutènement constitués de voiles ou de poutres ancrés par des tirants précontraints. N'entrent pas dans son champ d'application les ouvrages ancrés par tirants passifs, les parois clouées et les ouvrages de soutènement ancrés de type rideau fonctionnant avec la mise en butée du sol devant la partie enterrée : parois moulées, berlinoises ou palplanches. Ces ouvrages font l'objet de documents spécifiques de la même série. Toutefois, ce document pourra apporter une aide à l'inspection et au diagnostic de leurs tirants d'ancrage précontraints, le cas échéant.

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

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

2.1 Principe de fonctionnement

Les voiles ancrés sont des ouvrages de soutènement réalisés en déblai, par terrassement du sol en place, de haut en bas, en une seule passe ou en plusieurs si la hauteur de l'ouvrage ou les conditions de stabilité des talus durant les travaux le justifient.

Dans le plus simple des cas, ils sont constitués d'un voile en béton armé présentant un fruit parfois assez important et ancré par deux ou plusieurs lits de tirants d'ancrage précontraints. Le voile peut être coulé en place ou constitué partiellement d'éléments préfabriqués, et réalisé par « tranches », lorsque la hauteur le justifie. Celles-ci peuvent être situées dans un même plan (voile unique) ou dans des plans décalés vers l'aval (ouvrage disposé en gradins). Les

voiles ancrés n'étant pas conçus pour retenir les eaux d'infiltration ou celles d'une nappe, ils comprennent généralement un dispositif de drainage et d'assainissement adéquat, constitué d'un réseau de barbacanes et, bien souvent aussi, de drains subhorizontaux plus ou moins profonds, ainsi que de dispositifs de collecte des eaux superficielles (Fig. 1).

D'une manière générale, on désigne par **poutre ancrée** un voile épais de faible hauteur qui ne comporte en principe qu'un seul lit de tirants d'ancrage précontraints. L'ouvrage lui-même est généralement constitué de plusieurs poutres, disposées à différents niveaux et situées dans un même plan incliné ou sur plusieurs plans décalés vers l'aval.

La réalisation des voiles et des poutres ancrées nécessite généralement, dans les terrains meubles du moins, après la phase de terrassement, l'exécution préalable d'un voile de protection, cloué ou non, le plus souvent réalisé en béton projeté. Pour des poutres ancrées, ce voile peut assurer un rôle permanent de confinement du sol entre les poutres (Fig.2).

L'ouvrage peut être également constitué de **plaques de réaction** en béton armé, en général carrées, indépendantes, coulées en place ou préfabriquées, et ancrées individuellement.

Les têtes des tirants d'ancrage peuvent être disposées à l'extérieur du béton des voiles, des poutres ou des plaques ou noyées dans celui-ci.

Pour les poutres ancrées, un traitement architectural de l'ouvrage consiste parfois à rapporter devant celles-ci des éléments préfabriqués spécialement conçus à cet effet.

Ces ouvrages sont généralement utilisés sur des versants pour la réalisation de plates-formes routières ou autoroutières en déblai. Ils ont pour rôle d'assurer la stabilité des talus ainsi réalisés et leur dimensionnement est justifié vis-à-vis de la stabilité générale. Les tirants sont donc scellés au-delà de la ligne de rupture potentielle, en recherchant généralement des horizons résistants, ce qui occasionne parfois de très grandes longueurs libres.

2.2 *Domaine d'emploi*

Les voiles et poutres ancrés sont principalement utilisés dans le domaine routier pour la réalisation d'ouvrages de soutènement en déblai et/ou d'ouvrages de stabilisation lors de l'exécution de travaux de terrassement sur versants, notamment en site montagneux.

Les poutres ancrées peuvent être employées seules ou en complément d'ouvrages exécutés en remblai, notamment lorsque la réalisation de ces derniers modifie les conditions de stabilité du talus aval.

Ces ouvrages sont réalisables dans pratiquement tous les terrains, bien que certains d'entre eux, comme par exemple les éboulis ouverts, les terrains de faibles caractéristiques mécaniques, peu stables ou qui sont le siège de nappes peuvent poser de délicats problèmes d'exécution (stabilité de talus durant les terrassements justifiant un phasage particulier ou une stabilisation locale provisoire, exécution des tirants d'ancrage, etc.).

Les hauteurs de soutènement sont très variables. Elles peuvent être de quelques mètres dans le cas de petits voiles ancrés et atteindre plusieurs dizaines de mètres, notamment lorsqu'il est procédé à des terrassements profonds sur des versants en forte pente.

Les plaques ancrées sont plus généralement utilisées pour la stabilisation de versants de pente moyenne, existants ou modifiés à la suite de travaux. Elles sont souvent réparties sur la plus grande partie du site.

La distance entre lits de tirants d'ancrage précontraints est généralement comprise entre 3 et 6 m, voire plus parfois. Les tensions d'ancrage peuvent varier de quelques centaines à près de 2 000 kN.

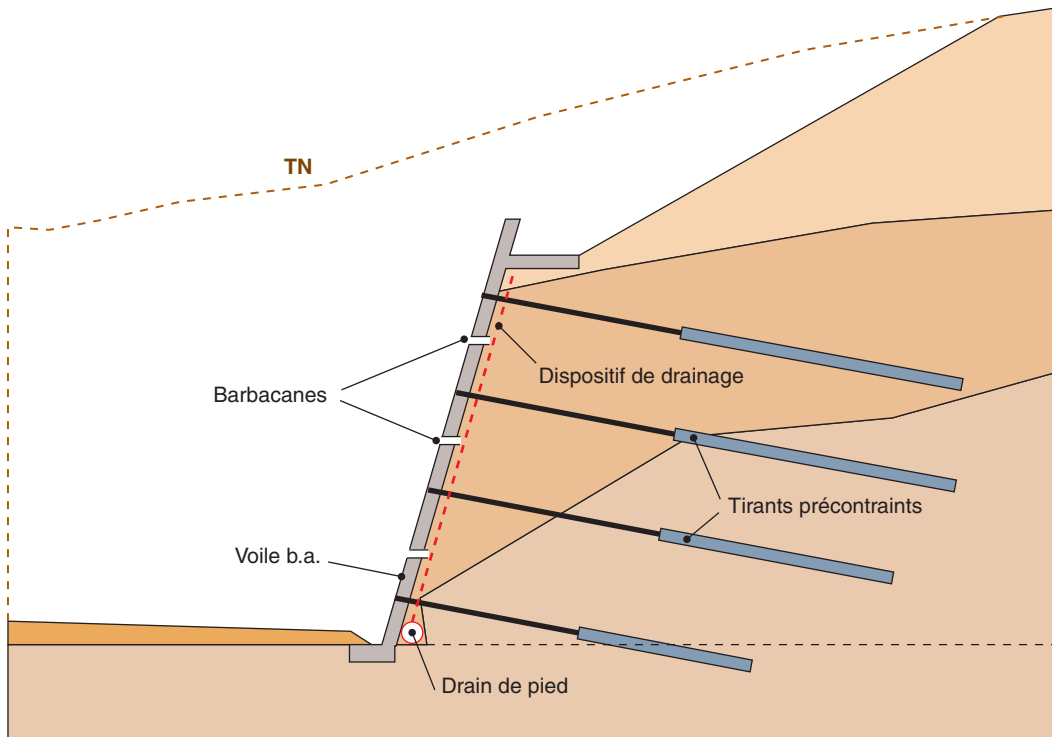


FIGURE 1 - Voile ancré.

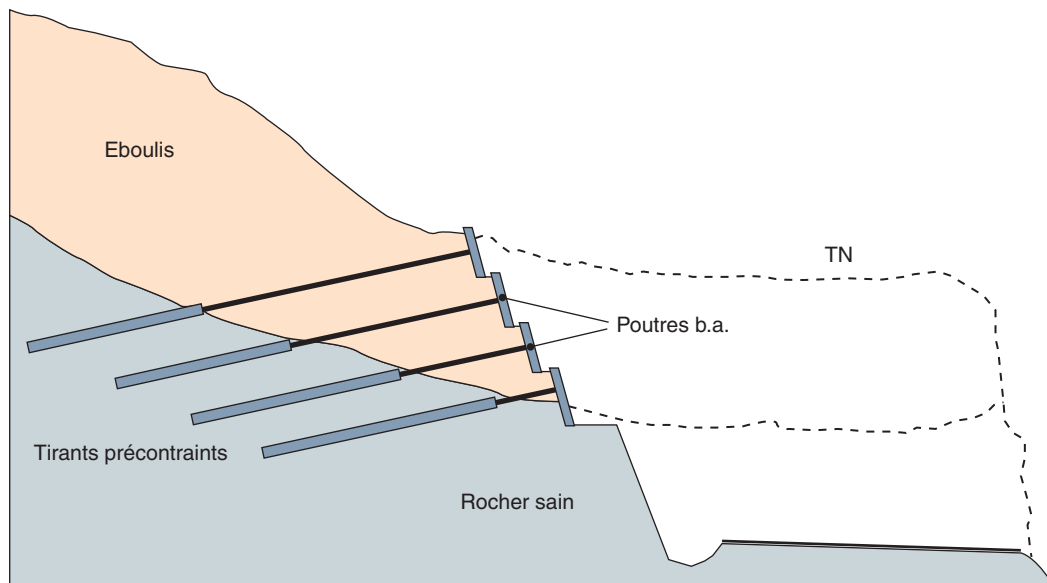


FIGURE 2 - Poutres ancrées.

3. Description de l'ouvrage

3.1 Structure

3.1.1 Le parement

Le parement de ces ouvrages est la structure résistante en béton armé sur laquelle s'appuient les tirants d'ancrage. Il n'est pas à confondre avec le parement architectural coulé en place ou préfabriqué, qui reste bien souvent le seul visible, mais qui n'a généralement aucun rôle résistant dans la structure.

Les différents types de parement sont :

- des voiles continus en béton armé coulés en place,
- des structures constituées de voiles et de poteaux en béton armé, partiellement préfabriqués,
- des poutres en béton armé coulées en place ou préfabriquées, fréquemment décalées en plan (risbermes) (Fig. 3 et 4),
- des plaques disjointes, en béton armé également.

Les ouvrages sont le plus souvent réalisés par phases, pour des raisons évidentes de stabilité. Chaque phase comprend en principe : un terrassement en déblai, par passes horizontales successives si nécessaire, la mise en oeuvre de tirants d'ancrage, la réalisation du parement, et enfin la mise en tension des tirants après que le parement a atteint une résistance suffisante (Fig. 5).

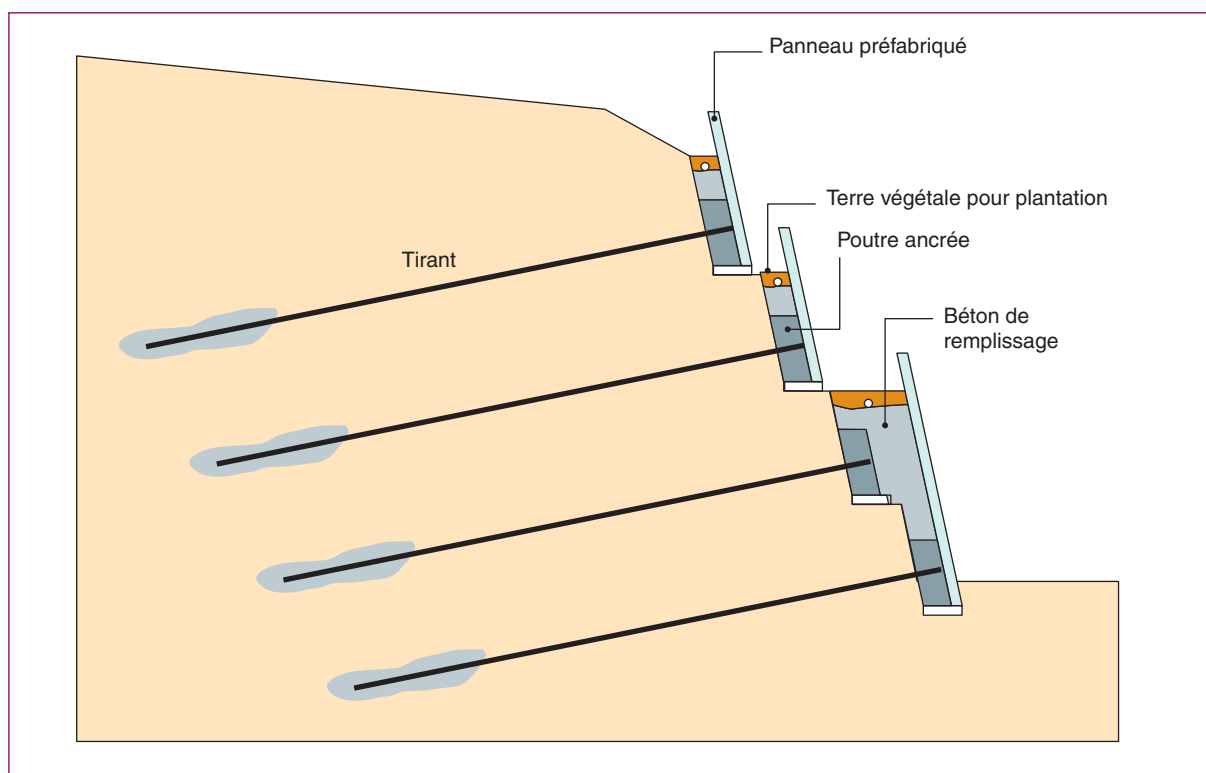


FIGURE 3 - Coupe d'un ouvrage ancré avec risbermes.



FIGURE 4 - *Vue d'un ouvrage ancré avec risbermes.*



FIGURE 5 - *Exécution d'un voile ancré.*

La stabilité de l'ouvrage pendant les phases provisoires de travaux (stabilité générale, mais aussi locale après chaque phase de terrassement) est souvent le critère déterminant pour le choix des hauteurs et des longueurs de passes de terrassement (variant de 1 à 3 mètres en général). Aussi n'est-il pas rare de procéder à la réalisation d'un voile provisoire cloué en béton projeté pour assurer la stabilité provisoire pendant ces phases d'exécution. Mais il convient de rappeler que ce voile peut assurer un rôle permanent de confinement du sol entre les poutres et, à ce titre, faire partie intégrante de l'ouvrage définitif (Fig. 6).

Il est fréquent également, et de bonne construction, de prévoir, dès la conception des ouvrages, la réalisation de réservations dans les parements pour des tirants supplémentaires (ainsi que les renforcements d'armatures nécessaires). Cette disposition permettra d'exécuter, dans les meilleures conditions, de nouveaux tirants d'ancrage éventuels palliant une défaillance des tirants existants durant la vie de l'ouvrage.

Les têtes des tirants d'ancrage sont disposées à l'extérieur ou à l'intérieur des voiles, des poutres ou des plaques. Dans ce dernier cas, elles sont noyées dans le béton ou disposées dans des réservations prévues à cet effet.



FIGURE 6 - *Exécution de poutres ancrées.*

3.1.2 Les tirants

Schématiquement, les tirants d'ancrage précontraints sont constitués d'une armature de précontrainte (barres, fils, torons, etc.) qui est introduite dans un forage et scellée au terrain dans sa partie inférieure, par injection d'un coulis de ciment ou d'un mortier, avant d'être mise en tension et bloquée par une tête d'ancrage contre la structure ou l'élément de structure à ancrer.

On distingue ainsi deux parties pour l'armature : la longueur libre proche du voile, qui prend naissance sous la tête d'ancrage, et la longueur de scellement, qui la prolonge jusqu'à son autre extrémité (Fig. 7a). C'est par sa longueur de scellement, généralement située dans des couches de sol profondes et résistantes, que l'armature transmet au terrain les efforts qui la sollicitent. Sur sa longueur libre, l'armature, non scellée au terrain, est protégée par une gaine ou par un tube, à l'intérieur duquel elle peut coulisser librement, sans transmettre d'effort au terrain environnant.

Pour certains types de tirants, l'armature est scellée dans un tube qui est lui-même scellé au terrain, de telle sorte qu'armature et tube présentent chacun une longueur libre et une longueur de scellement qui ne se confondent pas nécessairement (Fig.7b).

Il existe une très grande variété de tirants d'ancrage précontraints, qui peuvent présenter entre eux des différences plus ou moins importantes, par exemple dans leur technologie et dans leur mise en œuvre. Pour l'Europe seulement, environ une quarantaine de brevets ont été déposés entre 1950 et 1970.

Il convient par ailleurs de signaler que les tirants d'ancrage peuvent être utilisés à titre provisoire ou à titre permanent (ou définitif). La technologie des tirants est alors différente, dans la mesure notamment où la nature de la protection des armatures et le type, la qualité et la mise en œuvre des produits utilisés en dépendent largement. Les tirants provisoires sont en général prévus pour des phases de travaux et leur durée d'utilisation est limitée à 1 ou 2 ans ; ils ne sont donc pas concernés par le présent document.

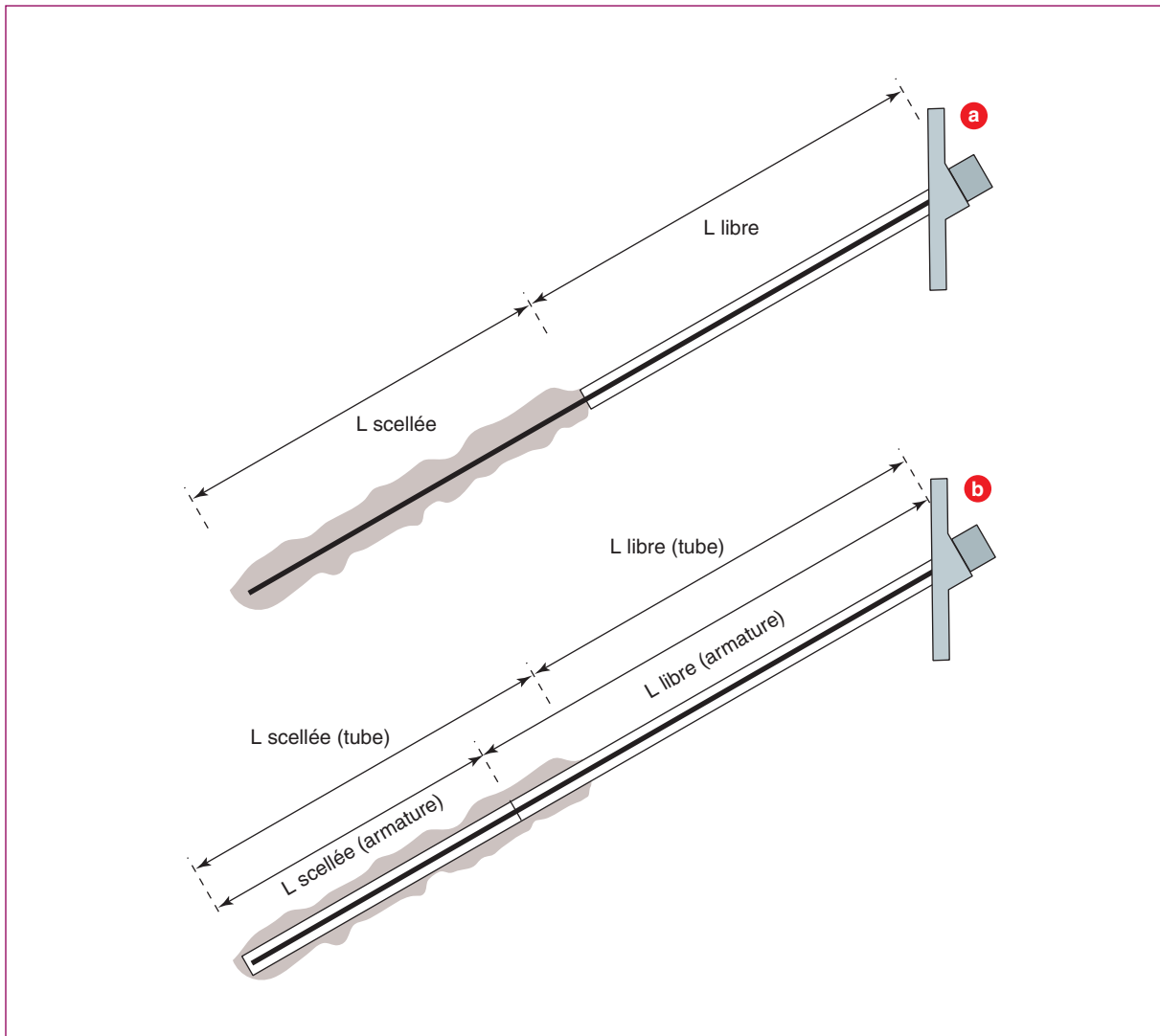


FIGURE 7 - Longueur libre et longueur scellée.

a. Armature directement scellée au terrain.

b. Armature scellée dans un tube à l'aide d'un coulis, le tube étant lui-même scellé au terrain.

◆ Armatures

En pratique, certains tirants d'ancrage ne sont commercialisés qu'avec un type d'armature, dont ils portent parfois le nom. Il s'agit d'armatures de précontrainte normalement agréées par la Commission Interministérielle de la Précontrainte*. Dans le cas de poutres et voiles ancrés, les fortes capacités des tirants rendent souvent nécessaire le recours à des câbles.

Sur toute leur longueur de scellement, les armatures, lorsqu'elles sont constituées de fils, de torons ou de câbles, peuvent être disposées soit de manière rectiligne, soit en fuseaux à l'aide d'écarteurs et de ligatures. Cette dernière disposition, qui contribue à améliorer leur ancrage, est la plus courante.

* Cette procédure d'agrément est appelée à être remplacée par une procédure de certification.

Les armatures de ces tirants précontraints sont soumises à des contraintes permanentes et élevées. Le risque de corrosion sous tension est donc important en l'absence de protection efficace.

Depuis 1972, des recommandations nationales sur les tirants d'ancrage (TA72, TA77, TA86 et TA95) définissent différentes classes de protection contre la corrosion : P0, P1 et P2, cette dernière étant exigée pour les tirants d'ancrage précontraints permanents*. Toutefois, dans les ouvrages plus anciens, des tirants permanents peuvent avoir une protection moins efficace que celle exigée aujourd'hui. On trouvera en annexe III un récapitulatif des différents types de protection utilisés depuis 1972.

◆ Têtes d'ancrage

Les têtes des tirants d'ancrage sont disposées à l'extérieur ou à l'intérieur de la structure ancrée (voile, poutre ou plaques). Dans ce dernier cas, elles sont soit noyées dans le béton, auquel cas elles sont tout à fait inaccessibles, soit disposées dans des réservations prévues à cet effet. Lorsqu'elles ne sont pas directement noyées dans le béton de la structure, les têtes d'ancrage sont en principe protégées par un capot rempli d'un produit approprié.

La tête des tirants d'ancrage, ainsi d'ailleurs que la partie de l'armature directement située sous la plaque d'appui, sont des zones particulièrement exposées aux risques de corrosion (Fig. 8).

La tête d'ancrage d'un tirant précontraint est constituée par :

- la tête d'ancrage proprement dite (ancrage actif dont la constitution dépend de l'armature et du procédé de précontrainte retenus), dans laquelle sont bloqués les fils, torons, câbles ou barres qui constituent l'armature ;
- la plaque d'appui, qui transmet l'effort à la structure ancrée et sur laquelle est généralement soudé un tube « trompette » (métallique) destiné à recouvrir l'extrémité de la gaine plastique de protection de l'armature du tirant pour assurer la continuité de cette protection ;
- éventuellement un capot ou une coiffe, fixé de façon étanche sur la plaque d'appui, et rempli d'un produit de protection contre la corrosion destiné à protéger la tête d'ancrage. Les différents produits de protection contre la corrosion qui ont été utilisés sont : des graisses anticorrosives, des cires pétrolières, des mélanges bentonite-ciment (si le tirant ne doit pas être remis en tension), ou encore des résines souples (*cf.* annexe III : les différents produits de protection). On trouve dans ce cas sur les capots des dispositifs pour l'injection et la réinjection du produit de protection : bouchon et évent.

La réinjection de la tête d'ancrage est particulièrement importante pour une bonne protection. En effet, compte tenu de la décantation des produits injectés, il est très fréquent de constater, lorsqu'il n'a pas été procédé à une réinjection, un remplissage partiel du capot et l'absence de toute protection sur 20 à 30 cm derrière la tête. Seule la réinjection avec contrôle du remplissage grâce à un trou d'évent situé en partie haute du capot peut garantir un bon cachetage (Fig. 9).

Les figures 8 et 9 illustrent deux exemples de têtes d'ancrage, mais les dispositions de détail peuvent varier sensiblement selon :

- le procédé de précontrainte et la constitution de l'armature (type de câbles ou de barre),
- la nécessité ou non de contrôler ou de modifier ultérieurement la tension dans le tirant (*cf.* paragraphe 3.5),
- les procédés de l'entreprise,
- des considérations architecturales ou esthétiques.

* La norme européenne NF EN 1537 est appelée à se substituer à ces recommandations nationales.

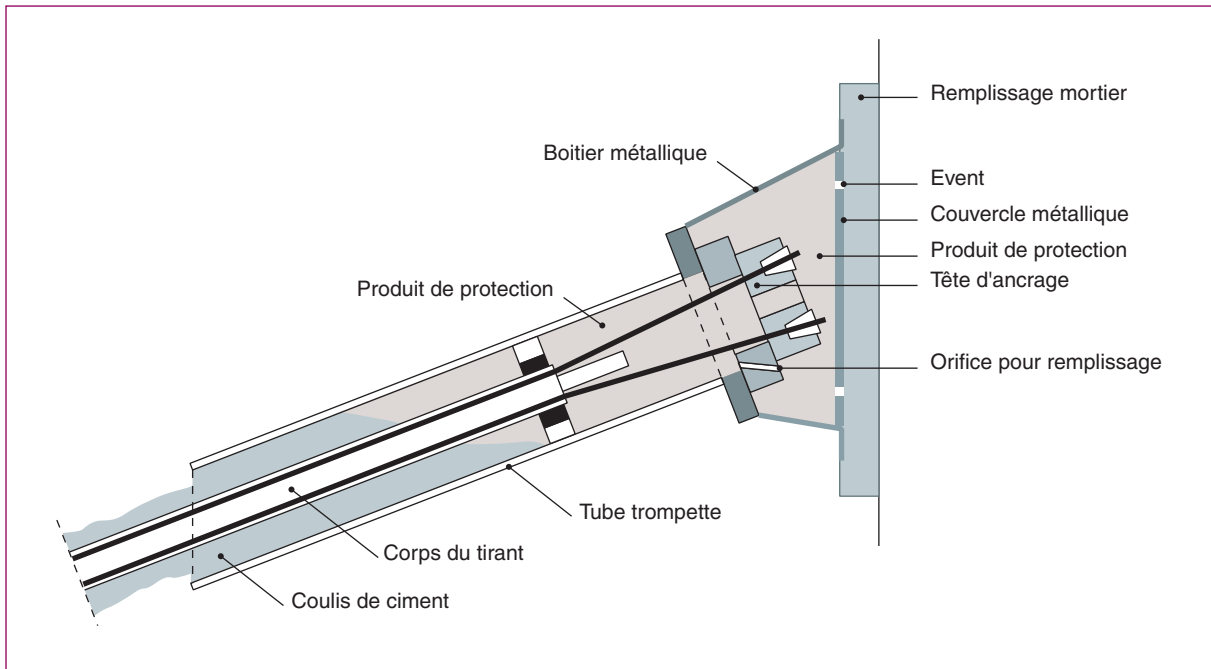


FIGURE 8 - Tête d'ancrage noyée dans une paroi en béton armé.

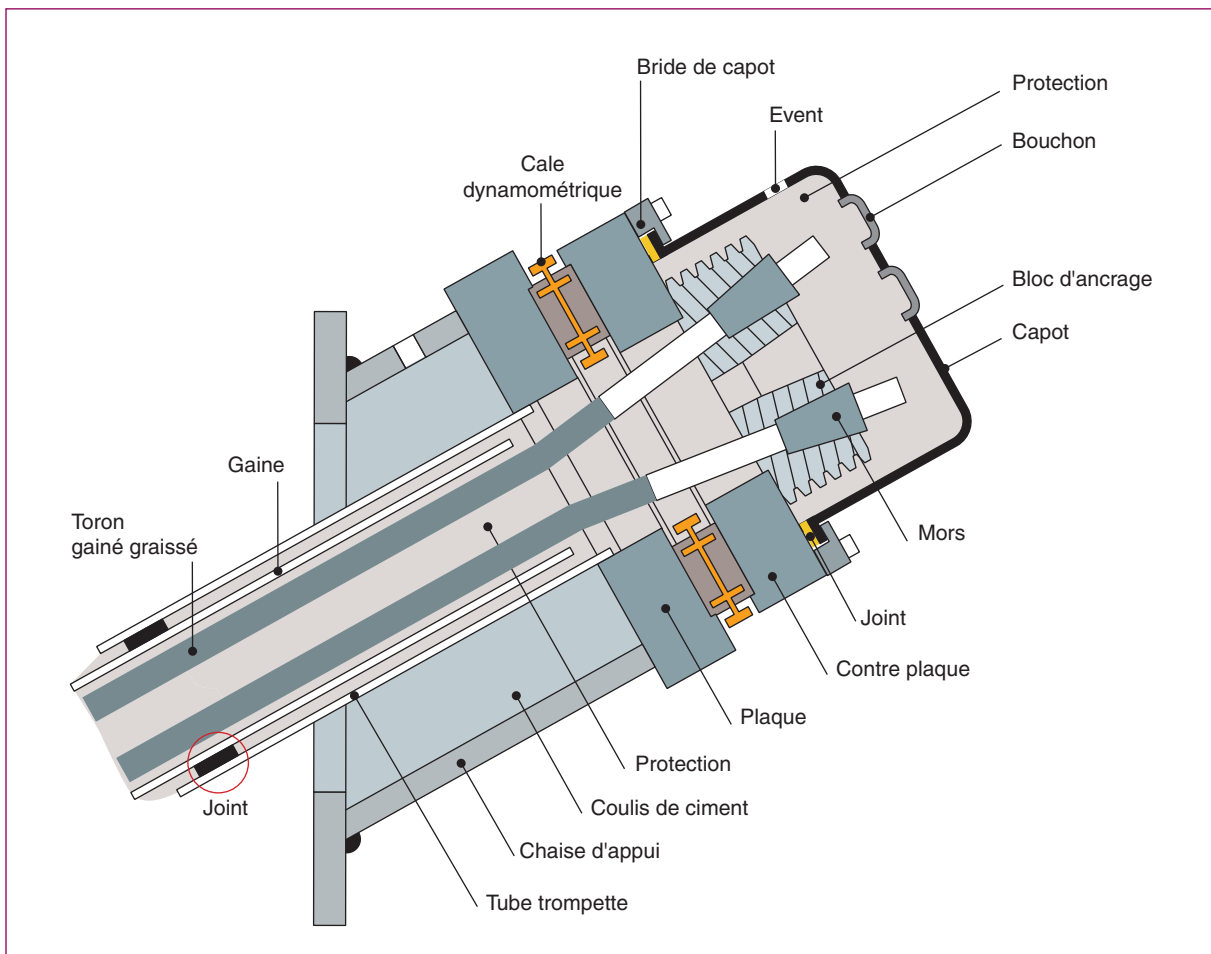


FIGURE 9 - Tête d'ancrage avec capot de protection dépassant du parement.

◆ Corps des tirants

Le corps des tirants d'ancrage comprend, comme leur armature, deux parties distinctes : la première prend naissance sous la tête d'ancrage et constitue la longueur libre de celui-ci, et la seconde prolonge celle-ci jusqu'à l'extrémité inférieure du tirant et constitue sa longueur de scellement.

Lorsque l'armature du tirant est directement scellée au terrain, la longueur libre et la longueur de scellement de l'armature sont respectivement confondues avec la longueur libre et la longueur de scellement du tirant. Il peut ne pas en être de même lorsque l'armature est scellée dans un tube lui-même scellé au terrain.

Longueur libre

Sur sa longueur libre, en section courante, l'armature des tirants d'ancrage est protégée par une gaine métallique ou plastique, à l'intérieur de laquelle elle peut se déplacer librement lors de sa mise en tension. L'espace compris entre l'armature et la gaine est en principe rempli d'un produit de protection après mise en tension de l'armature. Ce produit peut être rigide (de type coulis de ciment), souple ou liquide (de type cire pétrolière, bitume, graisse anticorrosive ou résine souple).

Certains tirants d'ancrage peuvent présenter ce qui est souvent appelé une « double protection » de l'armature dans sa partie libre. Elle se distingue de celle décrite ci-dessus par la présence supplémentaire, autour de l'armature, d'une première gaine de protection (plastique ou métallique). Dans ces cas, l'espace entre cette première gaine et

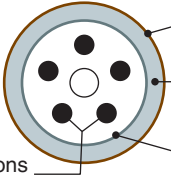
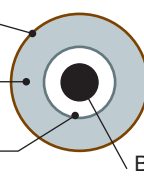
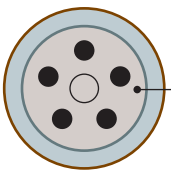
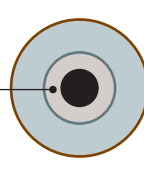
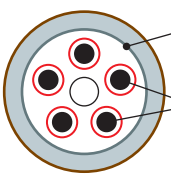
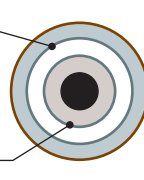
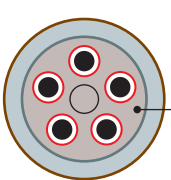
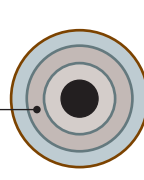
Armature constituée :		Description
de câbles ou torons	d'une barre	
		Armature simplement protégée par une gaine plastique étanche
		Remplissage de l'espace entre la gaine de protection et l'armature par un produit de protection
		" Double protection de l'armature " (ex : torons gainés - graissés)
		Double protection de l'armature avec remplissage de l'espace compris entre les différentes gaines de protection

FIGURE 10 - Différents systèmes de protection du tirant sur sa partie libre.

l'armature est généralement rempli d'un produit souple de protection au cours de la fabrication de l'armature ou du tirant (cas des torons gainés graissés, par exemple) et l'espace entre les deux gaines est soit libre, soit rempli d'un produit de protection, le plus souvent rigide, mis en oeuvre avant ou après mise en tension de l'armature (Fig. 10).

La continuité de la protection de l'armature entre la partie libre et la tête d'ancrage est assurée (au moins pour les classes de protection P1 et P2) par un tube trompette, généralement métallique et soudé à la plaque d'appui, qui recouvre partiellement la gaine de protection extérieure. La classe P2 nécessite une très bonne étanchéité au droit du recouvrement entre la trompette et la gaine de protection de la partie libre (depuis 1986, la longueur minimale de recouvrement est de 30 cm et la présence d'un joint torique est obligatoire).

Longueur scellée

On peut classer les tirants selon leur mode de scellement au terrain, qui conditionne également le degré de protection de l'armature vis-à-vis de la corrosion :

◆ **Les tirants d'ancrage à armature directement scellée au terrain**

L'armature est scellée nue au terrain. Seul le coulis de ciment tient lieu de protection contre la corrosion (une protection éventuelle par galvanisation ou peinture n'est pas prise en compte).

Depuis 1986, ce type de protection n'est admis que pour des tirants provisoires dans certaines conditions (classe P1), car on suppose qu'il peut exister un défaut local d'enrobage de l'armature, notamment dans sa partie la plus sollicitée, située immédiatement sous la longueur libre.

Cependant, cette méthode a longtemps été acceptée comme protection de tirant permanents et peut donc être rencontrée pour les tirants d'ouvrages construits avant 1986 ; dans ce cas, ceux-ci seront plus sensibles à une éventuelle corrosion, et donc à surveiller plus particulièrement.

On distingue deux types de scellement selon la capacité d'ancrage que l'on souhaite obtenir :

➤ **Injection de scellement en une seule opération** : l'armature est nue sur la longueur de scellement et protégée sur la longueur libre par une gaine plastique lisse obturée à sa base. L'injection de scellement est effectuée à partir du tube de forage, lors de la remontée de celui-ci, ou à l'aide d'un petit tube, généralement plastique, solidaire du tirant et descendu jusqu'à la base du forage (Fig. 11) (cf. Fig. 14a : tirant de type P1/IGU).

➤ **Injection de scellement par passes et par phases** : les tirants d'ancrage de ce type se différencient des précédents par la présence à côté de l'armature, d'un tube à manchettes, métallique ou plastique, du type de ceux couramment employés pour le traitement des sols meubles par injection. L'injection s'effectue par passes (manchette par manchette), à l'aide d'un double obturateur descendu dans le tube d'injection, et en principe par phases (multi-injection). Ce procédé permet d'obtenir des capacités d'ancrage supérieures à celles du précédent (Fig. 12) (cf. Fig. 14b : tirant de type P1/IRS).

Lorsque l'armature est constituée de torons, la gaine de protection qui entoure l'armature sur sa longueur libre est généralement de gros diamètre, et le tube à manchettes est disposé à l'intérieur de celle-ci, et au centre du faisceau de câbles (Fig. 12).

Lorsque l'armature est constituée d'une barre unique, la gaine de protection qui entoure l'armature sur sa longueur libre est généralement de petit diamètre, et le tube à manchettes est disposé à l'extérieur de celle-ci. L'espace annulaire entre la gaine et la barre, trop mince dans ce cas pour être injecté correctement une fois le tirant en place, est injecté ou rempli (si nécessaire) durant la fabrication du tirant.

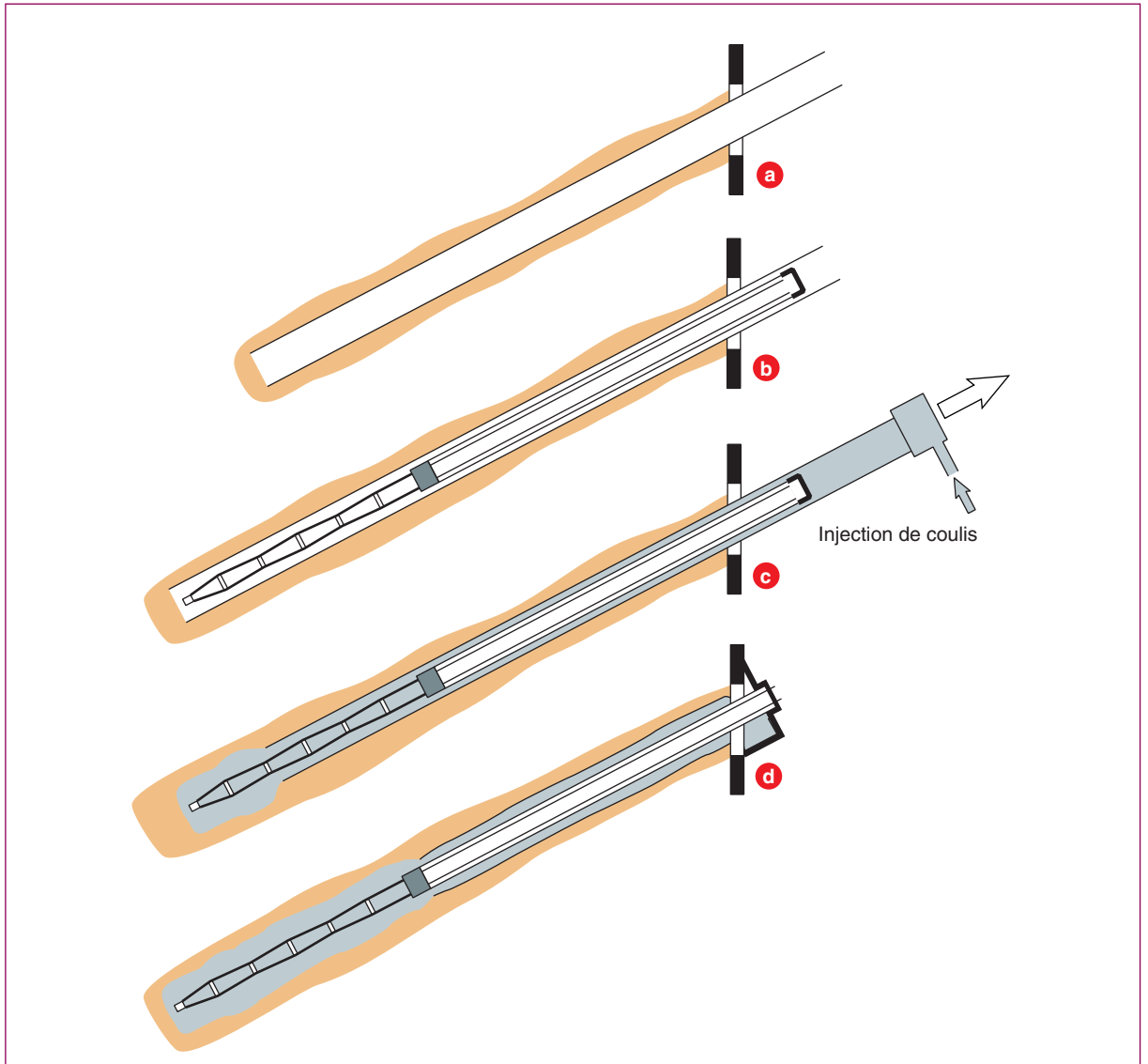


FIGURE 11 - Phasage de réalisation d'un tirant à armature directement scellée dans le sol.

- a. Forage à l'abri d'un tube provisoire.
- b. Insertion du tirant dans le tubage.
- c. Remontée du tubage et injection simultanée du coulis de scellement du tirant.
- d. Mise en tension et blocage de l'armature.

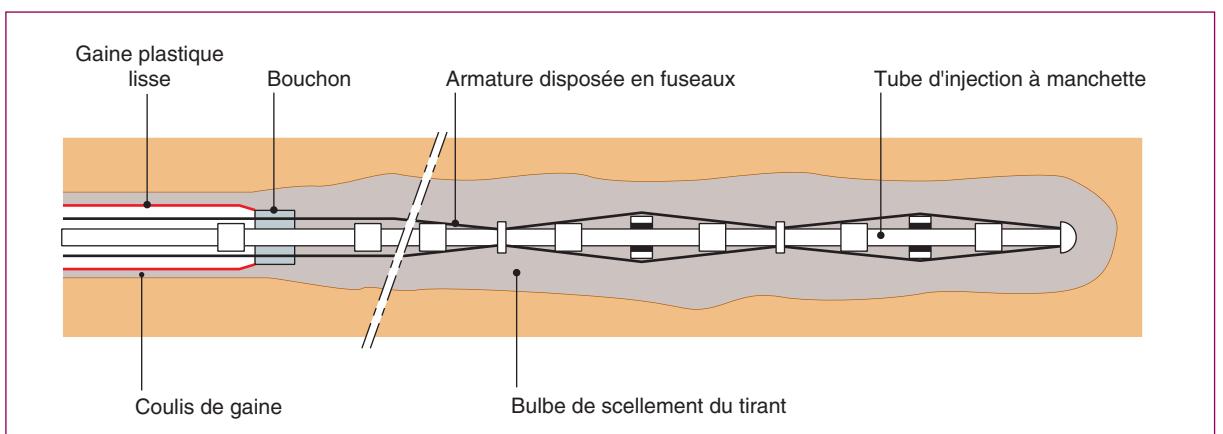


FIGURE 12 - Tirant à armature directement scellée dans le sol
(injection sous pression à l'aide d'un tube à manchettes, armature constituée de torons).

Ces tirants d'ancrage ont été parmi les premiers utilisés en France de manière quasi industrielle, et sont encore très couramment employés. Ils sont tous dérivés du tirant IRP* qui se distingue principalement par la présence supplémentaire d'un séparateur gonflable disposé entre la partie scellée et la partie libre du tirant. Gonflé dans le forage après insertion du tirant, ce séparateur a pour but, en isolant la zone de scellement de l'armature, de permettre une montée en pression plus rapide (avant durcissement du coulis de gaine) et d'atteindre des pressions élevées pour l'injection du scellement en diminuant les risques de résurgence du coulis et d'injection du terrain autour de la partie libre du tirant.

◆ Les tirants d'ancrage à armature protégée par une gaine ou par un tube

Les tirants d'ancrage de ce type se caractérisent par le fait que leur armature est protégée, sur la longueur totale du tirant (y compris la longueur de scellement), par une gaine (tube mince plastique ou métallique) ondulée ou crénelée pour en améliorer l'adhérence, ou par un tube métallique épais à adhérence renforcée.

Cette protection par gaine continue est obligatoire depuis 1986 pour les tirants d'ancrage précontraints permanents (classe P2).

On distingue là encore deux types de scellement selon la capacité d'ancrage que l'on souhaite obtenir :

➤ **Injection de scellement effectuée en une seule opération** : ces tirants ne se différencient des tirants à armature directement scellée au terrain en une seule opération que par la présence supplémentaire, dans la partie scellée, d'une gaine de protection ondulée ou crénelée, le scellement au terrain du tirant ainsi constitué s'effectuant comme précédemment. Il est généralement procédé au scellement de l'armature dans le tube soit durant la fabrication du tirant, avant son introduction dans le forage (par exemple, tirant de type TMP de la société SIF BACHY), soit simultanément au scellement du tirant dans le sol, par un procédé adapté (par exemple, tirant de type TMS de la société SIF BACHY) (*cf.* Fig. 14c : tirant de type P2/IGU).

➤ **Injection de scellement effectuée par passes et par phases** : le procédé le plus classique dans le cas où l'armature est constituée de torons consiste à utiliser directement le tube protecteur (métallique sur toute la longueur ou prolongé par la gaine plastique lisse de protection de la longueur libre du tirant) comme tube à manchettes pour le sceller au terrain. À cet effet, il est muni sur toute sa hauteur de scellement de manchettes régulièrement espacées. Une fois le tube scellé au terrain, par passes et aussi par phases si nécessaire, l'armature est introduite dans le tube et scellée à celui-ci par injection d'un coulis à partir d'un petit tube plastique (*cf.* Fig. 14d : tirant de type P2 / IRS). Ce procédé, s'il présente l'avantage d'être simple tout en permettant de procéder à une injection de scellement du tirant au terrain par passes et par phases, peut présenter toutefois l'inconvénient de ne pas permettre une nouvelle injection si les essais de mise en tension indiquent un défaut d'ancrage.

Le premier tirant d'ancrage de ce type a été mis au point en France par la société SIF BACHY. Il s'agit du tirant TMD, qui était couramment utilisé pour la réalisation de tirants d'ancrage définitifs de capacité d'ancrage supérieure à 800 kN (Fig. 13). Ce procédé, qui consiste à utiliser le tube protecteur comme tube à manchettes, s'est par la suite assez largement répandu.

Un autre procédé de ce type assez couramment utilisé pour les tirants dont l'armature est constituée d'une barre unique, consiste à présceller l'armature dans le tube durant la fabrication du tirant, avant l'introduction de celui-ci dans son forage, puis à sceller l'ensemble dans le terrain, sur la longueur désirée, à l'aide d'un tube à manchettes fixé le long du tirant.

* Procédé de la Société Solétanche.

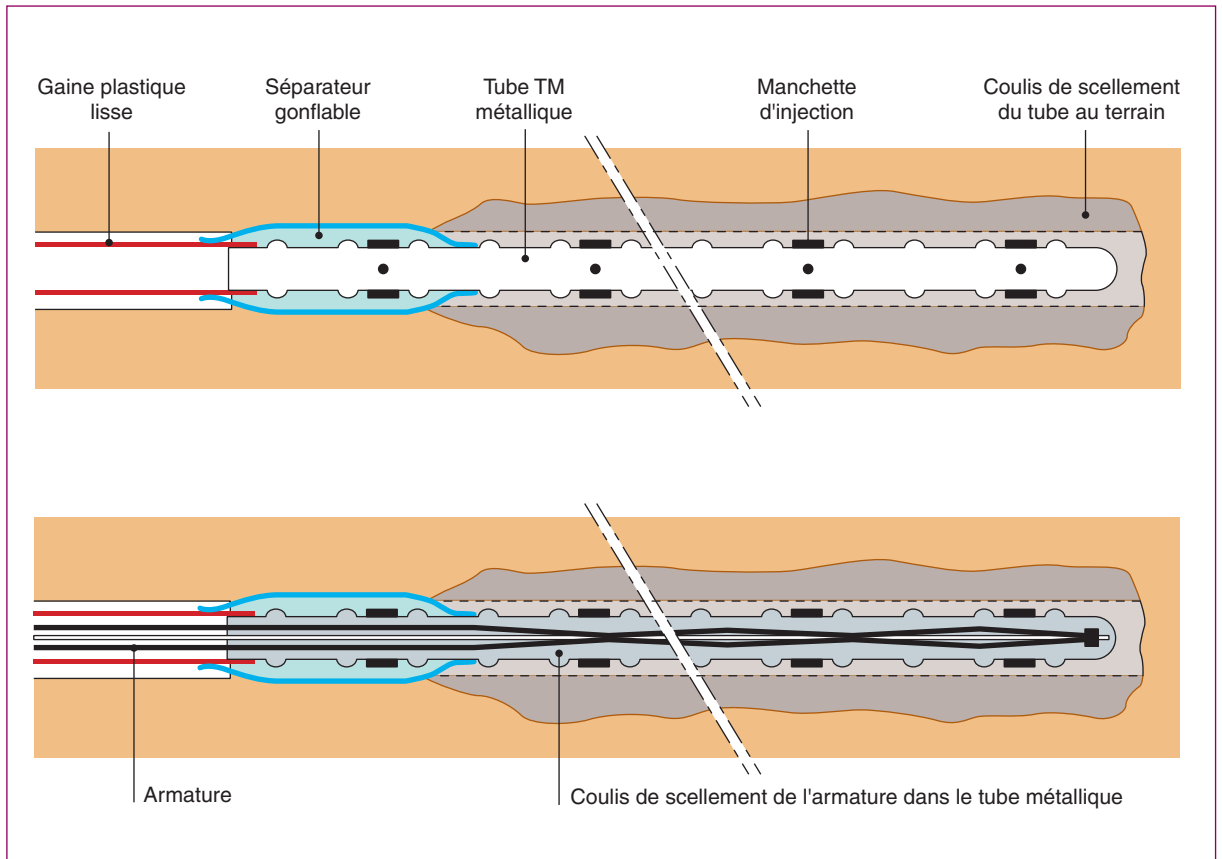


FIGURE 13 - Tirant à armature protégée par un tube métallique scellé dans le sol (tirant TMD).

Enfin, il convient de signaler l'existence également de tirants de ce type qui présentent la particularité de solliciter en compression le scellement du tirant au terrain, dans le but de limiter la fissuration du bulbe de scellement. Dans ce cas, le tube de protection est un tube métallique épais, et l'armature est fixée à la base de celui-ci, par une technologie appropriée.

◆ Les tirants d'ancrage au rocher

En règle générale, les tirants d'ancrage scellés au rocher se distinguent des tirants d'ancrage scellés en terrains meubles par les conditions de réalisation du forage, et éventuellement de « préparation » du terrain avant leur insertion dans ce forage plutôt que par leur technologie.

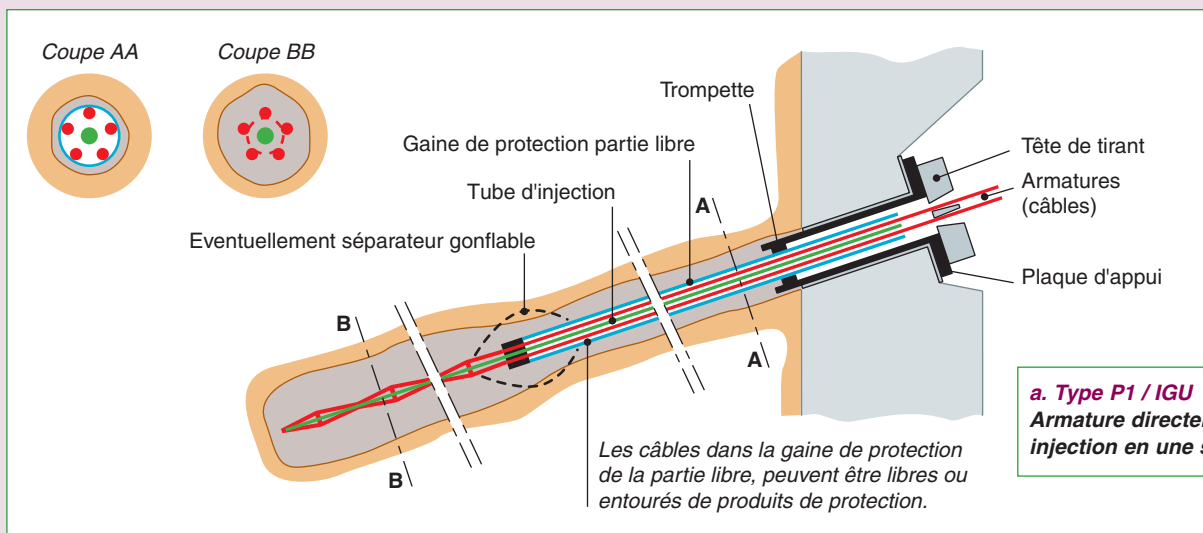
Pour du rocher résistant, des capacités d'ancrage élevées peuvent être obtenues sans qu'il soit nécessaire de recourir à des forages de trop gros diamètre, à des longueurs de scellement très importantes ou à une injection de scellement sous forte pression. Presque tous les tirants d'ancrage ayant une capacité utile supérieure à 2500 kN sont scellés au rocher.

Lorsque le rocher est sain et résistant, les tirants d'ancrage sont généralement scellés à celui-ci par injection gravitaire ou sous faible pression d'un coulis de ciment, à partir d'un tube descendu le long du tirant.

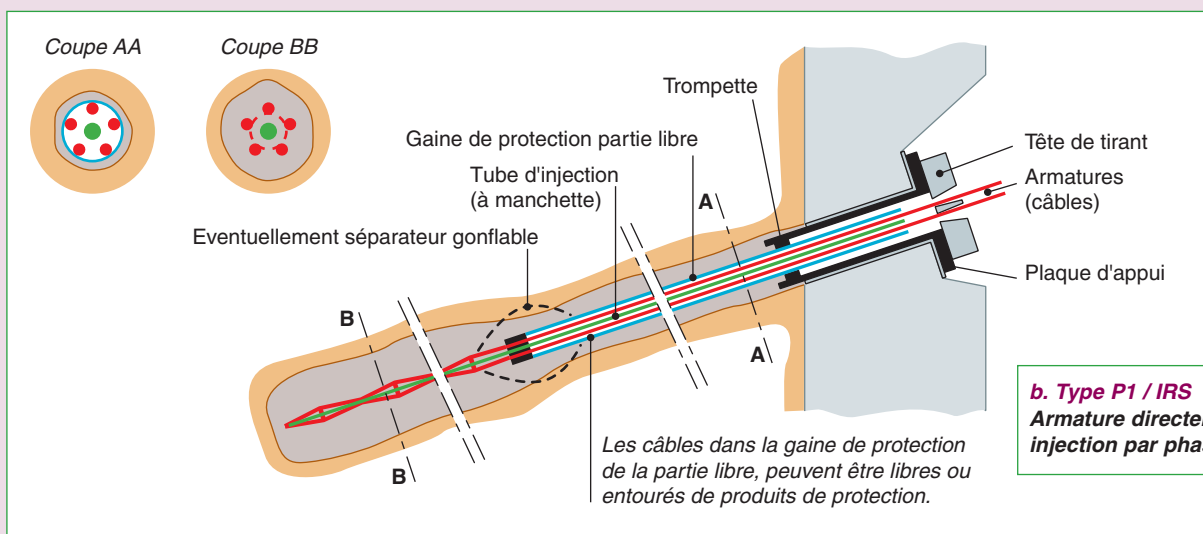
Toutefois, pour assurer un bon scellement du tirant au rocher, en évitant notamment que le coulis ne se « disperse » dans des fissures ou ne se délave si celles-ci sont le siège de circulations d'eau, et pour limiter les risques de fissuration du coulis, il est généralement procédé à un contrôle de l'étanchéité de la paroi du forage avant l'insertion du tirant dans celui-ci, et si nécessaire, à un traitement préalable du terrain par injection à partir du forage.

FIGURE 14

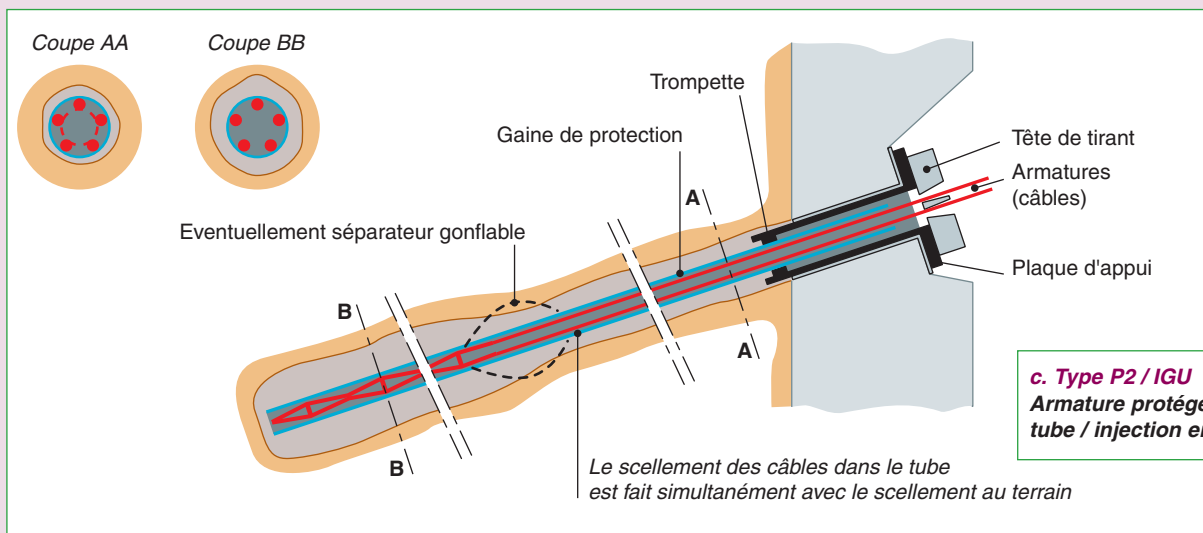
Les différents types de tirants



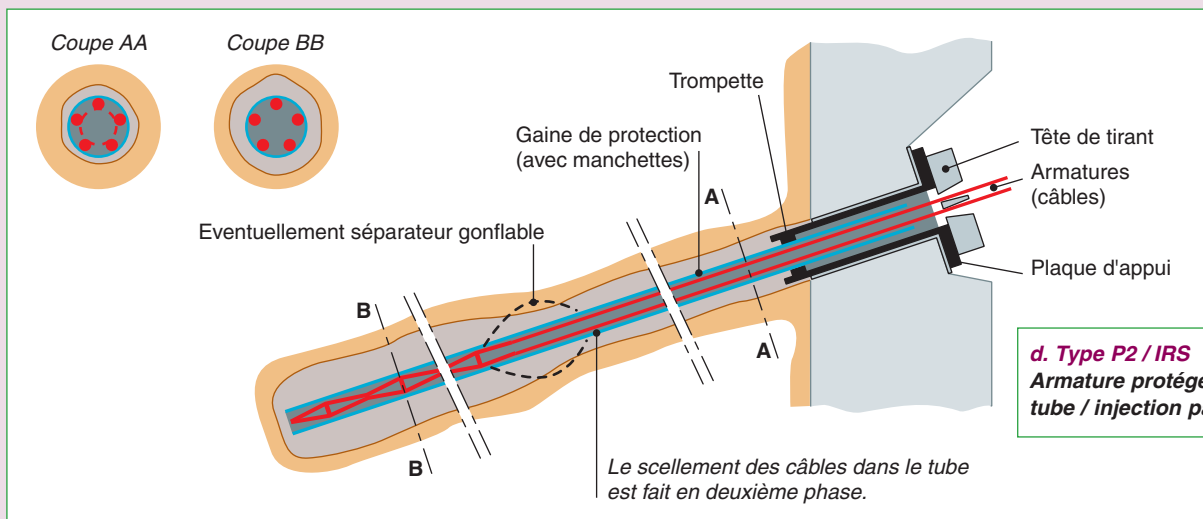
a. Type P1 / IGU
Armature directement scellée au terrain,
injection en une seule opération



b. Type P1 / IRS
Armature directement scellée au terrain,
injection par phases et par passes



c. Type P2 / IGU
Armature protégée par une gaine ou un
tube / injection en une seule opération



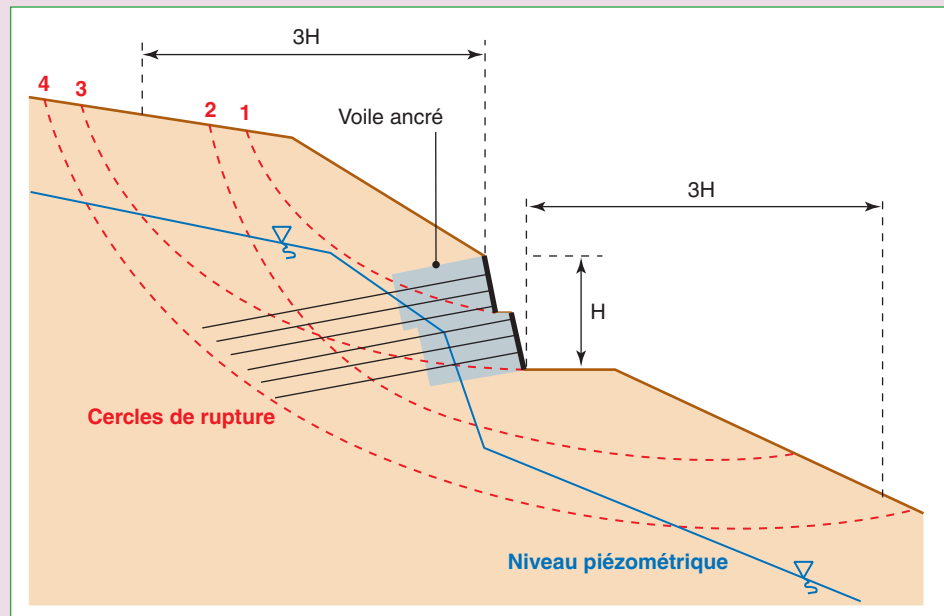
d. Type P2 / IRS
Armature protégée par une gaine ou un
tube / injection par phases et par passes

3.2 Zone d'influence

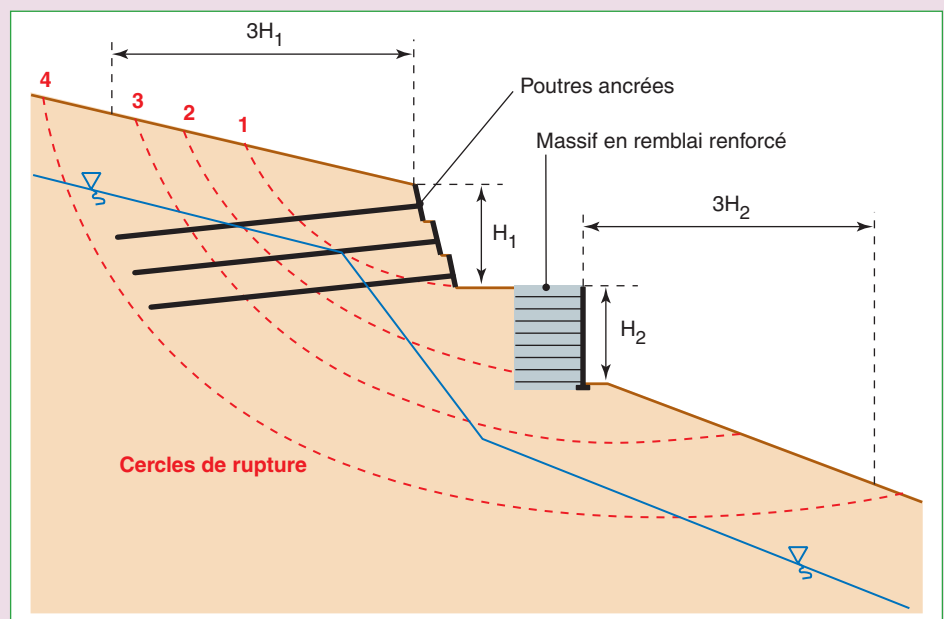
Les ouvrages constitués de voiles ou de poutres ancrés étant généralement réalisés sur des versants, leur stabilité peut avoir une influence directe sur celle de l'ensemble de la pente, et réciproquement, de telle sorte que leur zone d'influence peut s'étendre très largement au-delà de celle de leur emprise en plan. Cette emprise d'ailleurs ne se limite pas à la seule emprise des parements mais concerne également les zones de scellement des tirants, qui peuvent concerner des zones profondes et très éloignées des parements.

Aussi, bien qu'aucun document ne définisse la zone d'influence de ces ouvrages, il est d'usage dans la pratique courante, lors de l'étude de la stabilité de ces derniers, de considérer que cette zone est celle englobant les tirants, limitée à l'amont et à l'aval de l'ouvrage, à une distance horizontale égale à trois fois la hauteur de celui-ci, comptée respectivement à partir de sa crête et de son pied (Fig. 15).

FIGURE 15
Zone d'influence



a. Cas d'un seul ouvrage (voile ancré).



b. Cas de deux ouvrages (massif en remblai renforcé et poutres ancrées).

Il est à noter que l'étendue de la zone ainsi définie peut devenir très importante lorsque l'ouvrage présente un fruit important sur une forte hauteur.

En tout état de cause, la surveillance des ouvrages construits sur versants ne peut être dissociée de celle des versants eux-mêmes, et cela tout particulièrement lorsque ces derniers peuvent être l'objet de mouvements ou que leur stabilité générale naturelle n'est pas assurée dans des conditions très satisfaisantes.

3.3 Équipements

Ce type de murs de soutènement étant souvent des murs amont, stabilisant le terrain au-dessus de la route, il y a très peu d'équipements en tête.

En revanche, ce type d'ouvrage de soutènement peut être associé à d'autres ouvrages de soutènement, et notamment à des massifs en remblai renforcé et à des murs cloués.

3.4 Drainage

Un système de drainage est la plupart du temps associé à ces ouvrages. Ce système de drainage est constitué d'un voile drainant, continu ou non, disposé à l'arrière du parement, accompagné d'un drainage longitudinal en pied de voile arrière débouchant sur un exutoire, et de barbacanes en partie inférieure du voile.

Des drains subhorizontaux sont aussi souvent prévus dans le cas de circulations d'eau plus importantes ou de nappe continue ; ils participent alors directement à la stabilité de l'ouvrage, voire à la stabilité d'ensemble.

Pour certains ouvrages exposés au gel, des dispositions particulières sont parfois adoptées pour protéger les dispositifs de drainage contre l'action du gel.

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

3.5 Dispositifs de suivi

En règle générale, on intègre à l'ouvrage, dès sa construction, des systèmes de suivi permettant la réalisation de mesures, ces systèmes devant être prévus dès la conception de l'ouvrage.

Pour tous ces dispositifs, la réalisation d'un point zéro de mesure dès la mise en service de l'ouvrage est primordiale, pour ne pas imputer à l'ouvrage en service des déformations acquises lors de la construction.

◆ Dispositifs de mesure de la tension dans les tirants

Les moyens usuels de contrôle de la tension sont essentiellement :

➤ la mise en place dès l'exécution du tirant d'une cale dynamométrique de mesure permanente de la tension. Ces cales dynamométriques peuvent être à lecture directe avec un cadran gradué, ou connectées à une centrale de mesure (système hydraulique).

La fiabilité dans le temps de ce dispositif est mal connue et il est apparemment sensible aux facteurs climatiques ;

➤ pour les tirants à câbles, la mise en place d'une tête d'ancrage fileté permettant le pesage ultérieur du tirant (mesure de la tension existante par mise en légère surtension par rapport à la tension effective) ;

➤ pour les barres, la réservation d'une longueur suffisante d'armature au-delà de la tête d'ancrage pour permettre la détermination de l'effort d'ancrage par mise en tension de l'armature au vérin annulaire, ce qui ne nécessite qu'une longueur supplémentaire égale à celle de l'écrou de blocage.

D'autres dispositifs existent, tels les jauges de déformation placées sur les câbles à l'exécution, mais ils ne sont que rarement utilisés (cas d'ouvrages nécessitant un suivi particulier, expérimentations).

On rappelle que les recommandations T.A. recommandent de contrôler périodiquement la tension d'un certain pourcentage des tirants définitifs d'un ouvrage (10 % en général), et de prévoir des dispositifs (têtes filetées) permettant la remise en tension de tous les tirants contrôlés ainsi que de ceux qui les encadrent (Fig. 16).

FIGURE 16

Tête de tirant d'ancrage précontraint équipée d'un dispositif permanent de mesure de la tension



a. À lecture directe.



b. À lecture indirecte.

◆ Protections démontables des têtes d'ancrage

La tête d'ancrage étant la seule partie visible du tirant, il est très important de pouvoir l'inspecter avec attention, afin de détecter au plus tôt sur les parties visibles d'éventuels indices de désordres : une éventuelle corrosion, des infiltrations d'eau, un mauvais état des événements, une fissuration des cachetages, des dépôts minéraux, etc. De plus, l'examen des caractéristiques de la tête peut parfois permettre d'identifier le type de tirant rencontré.

À cet effet, les têtes, lorsqu'elles sont apparentes, sont protégées par un capot dont le démontage rend possible ces examens.

En outre, les têtes peuvent être masquées pour ne pas affecter l'esthétique du parement. Dans ce cas, l'utilisation de plaques ou autres dispositifs démontables les laissent accessibles pour ces inspections (Fig. 17).

Lorsque les têtes ont été totalement noyées dans le voile ou la poutre, elles ne sont pas visitables et toute inspection est impossible.

Dans le cas de murs de grande hauteur ou en site montagneux, il peut être nécessaire de prévoir des moyens spécifiques (nacelles, travaux acrobatiques) pour accéder au niveau des têtes de tirants.



FIGURE 17 -
Dispositif masquant la tête de tirant.

◆ Dispositifs de mesure de déplacements (des voiles et de la zone d'influence)

Les dispositifs les plus couramment utilisés sont :

- la topographie à distance : mise en place de cibles sur le parement dès la construction,
- les inclinomètres en forage à l'arrière de l'ouvrage (en cas de site instable),
- les clinomètres et nivelles sur les voiles ou les poutres.

◆ Dispositifs de suivi des niveaux piézométriques

Les différents dispositifs sont :

- les piézomètres à tube ouvert (plus courants),
- les sondes de pression interstitielles (plus rares).

4. Origine des défauts et désordres

4.1 Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage

- Caractère instable du site mal pris en compte.
- Défaut de conception (longueurs ou capacités des tirants insuffisantes).
- Défaillance des scellements (insuffisance de résistance, fluage).
- Défaut de résistance ou de raideur du sol derrière le parement.
- Tirants (ou têtes) mal protégés.

4.2 Mauvaise exécution

- Défauts d'exécution.
- Défauts d'exécution des scellements.
- Défaut dans la protection des tirants (mauvaise injection de la gaine ou du capot).
- Défaut de blocage des armatures des tirants.

4.3 Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques

- Travaux divers pendant la vie de l'ouvrage (rehaussement du mur, terrassement en pied ou à l'aval de l'ouvrage, etc.).
- Problèmes hydrogéologiques (modification des niveaux de nappe, système de drainage défaillant).
- Mouvements entraînant une modification de la distribution des efforts dans les tirants.
- Séismes.
- Défaut de protection des têtes de tirants contre les chocs de véhicules.
- Corrosion des aciers ou dégradation du béton en raison de :
 - l'agressivité du milieu (sels de déverglaçage, environnement marin, industriel, etc.),
 - un mauvais choix de matériau,
 - une protection inefficace.
- Entraînement de matériaux derrière le parement par des circulations d'eau parasites ou un système de collecte mal entretenu.

4.4 Défaut d'entretien

- Vandalisme (détérioration des capots).
- Mauvaise réfection de l'étanchéité des têtes après visite périodique ou mesure de la tension des tirants.
- Défauts d'entretien des barbacanes.

5. Inspection détaillée

5.1 Organisation et déroulement

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

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

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

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

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

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

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

- de disposer de fonds de plans pour les relevés des défauts et désordres ;
- de faire le point sur les parties de l'ouvrage accessibles ou non (têtes de tirants) et les moyens à mettre en œuvre : passerelle, nacelle élévatrice, bateau, démontage d'éléments du parement, démolition et reconstitution des cachetages, démontage et réinjection des capots de protection, travaux acrobatiques, 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 (exécution des tirants, stabilité des terrassements provisoires, venues d'eau, etc.),
- les rapports d'inspections détaillées antérieures et notamment celui de l'inspection détaillée initiale.

Et depuis la dernière inspection détaillée :

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2 Relevé des défauts et désordres

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

5.2.1 Relevé des défauts et désordres

On se référera à l'annexe I pour consulter le catalogue des défauts et désordres apparents.

En ce qui concerne l'inspection des têtes de tirants équipées de capots démontables, il sera nécessaire de définir pour chaque ouvrage, selon la facilité d'accès à la tête des tirants, le nombre de têtes qui seront visitées à chaque inspection. La visite des têtes nécessite d'approcher suffisamment la tête du tirant pour démonter le capot, évaluer l'état de la protection, observer d'éventuelles traces de venues d'eau ou de corrosion, des déformations éventuelles, ou tout autre désordre ou indice suspect.

En l'absence de désordres déjà constatés, il n'est pas nécessaire de visiter l'ensemble des têtes à chaque inspection. Il y aura lieu dans ce cas de s'attacher à visiter prioritairement les zones suspectes, s'il y en a :

➤ Dans le cas où l'accès aux têtes de tirants est possible, éventuellement par des moyens spécialisés (nacelle, travaux acrobatiques), il est proposé d'en inspecter 10 % à chaque inspection. Les tirants à visiter à chaque inspection seront de préférence répartis sur l'ensemble de la surface de l'ouvrage.

En cas de défaut ou désordre constaté sur une tête de tirant, il sera évidemment nécessaire de la visiter à nouveau lors de l'inspection suivante, en plus des tirants normalement visités.

De même, si l'on constate lors d'une inspection une majorité des tirants visités présentant des défauts, il sera nécessaire de visiter des têtes de tirants supplémentaires, voire l'ensemble.

➤ Dans le cas où l'accès aux têtes de tirants est particulièrement difficile et nécessite des moyens spécialisés très lourds (cas d'un voile de très grande hauteur, d'un site très escarpé), on pourra admettre de ne pas visiter les têtes de tirant à chaque inspection détaillée, mais toutes les deux ou trois inspections. L'analyse des facteurs de risque par des spécialistes permettra de définir la fréquence de ces investigations.

➤ Dans le cas où les têtes sont noyées dans la paroi, elles ne pourraient pas être visitées. Dans ce cas, l'analyse des facteurs de risque par des spécialistes permettra de définir si une investigation particulière est tout de même nécessaire pour établir le diagnostic .

5.2.2 Relevé des dispositifs de suivi

Lors de la préparation des inspections, on devra programmer l'éventuel relevé des dispositifs de suivi existant sur l'ouvrage ; ceux qui nécessitent des moyens et matériels importants seront effectués par des équipes spécialisées.

Le relevé des dispositifs de suivi comprendra notamment les mesures suivantes :

◆ Mesures de déplacements

On peut admettre pour ces mesures de déplacement de ne procéder à leur relevé que lors d'une inspection sur deux si aucun indice suspect n'a été relevé lors des dernières inspections et visites, et si aucun événement particulier susceptible de créer des désordres n'est survenu.

En cas d'absence de mouvement, il est important de maintenir une telle fréquence minimum des relevés, ne serait-ce que pour vérifier l'état des dispositifs de mesure, et leur assurer un minimum d'entretien.

Toutefois, l'analyse des facteurs de risque et notamment l'existence d'un site propice à une instabilité générale, peut conduire à procéder à ces relevés lors de chaque inspection, voire de manière plus fréquente si l'ouvrage fait l'objet d'un suivi particulier.

◆ Mesures de tension dans les tirants

➤ Si des systèmes de mesure permanente de la tension existent (cales dynamométriques), il conviendra de les relever à l'occasion de chaque inspection. S'il s'agit de cales à lecture directe, le relevé pourra être fait par l'équipe chargée de l'inspection (il pourra être nécessaire de se munir d'une paire de jumelles). S'il s'agit de cales à mesure indirecte, le relevé sera commandé à une société spécialisée, de préférence à la même période que l'inspection.

➤ Si, à défaut de cales dynamométriques, un certain nombre de tirants de l'ouvrage sont munis de têtes filetées permettant la mesure de leur tension à l'aide d'un vérin hydraulique (pesage), le nombre de tirants à peser et la fréquence des relevés devront être définis par des spécialistes

en fonction des facteurs de risque. On peut proposer, par homogénéité avec les recommandations T.A., de procéder, dans les cas courants, au pesage de 10 % des tirants de l'ouvrage à l'occasion de chaque inspection.

5.3 Facteurs de risque de désordres

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

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

Facteurs de risque de désordres liés à l'environnement

■ Le site

➤ ouvrage sur pente instable.

■ Le sol

➤ sols agressifs (composition chimique, conductivité, pH, présence de sels solubles, de matières organiques ou de micro-organismes) ;

➤ sols évolutifs (tassements, déformation, évolution de la résistance, dans le cas notamment de sols fins, mais aussi de remblais mal consolidés) ;

➤ sols hétérogènes susceptibles de conduire à des efforts mal répartis ;

➤ sols ayant pu conduire à des difficultés de mise en œuvre et l'utilisation de moyens spécifiques pour le forage et scellement des tirants (présence dans le sol d'obstacles à la pénétration, blocs, éboulis, poches de dissolution) ;

➤ sols gélifs.

■ L'eau

➤ eaux agressives (eaux douces, eaux saumâtres, eaux séléniteuses, eaux magnésiennes) ;

➤ présence d'une nappe (phénomène aggravé lorsque la nappe présente des fluctuations significatives) ;

➤ présence de conduites d'eau à proximité de l'ouvrage (risque de rupture).

■ L'atmosphère (marine, pollution industrielle, climat humide)

■ Les conditions climatiques particulières, et notamment le gel

■ Les conditions d'exploitation des ouvrages

➤ utilisation importante de sels de déverglaçage ;

➤ sollicitations particulières (surcharges en tête, chocs, etc.) ;

➤ ouverture de fouilles en pied d'ouvrage.

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

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

■ Ouvrage avec tirants précontraints de conception ancienne, susceptibles d'être mal

protégés contre la corrosion et présentant un risque plus significatif de corrosion fissurante sous tension.

■ **Difficultés reconnues lors de l'exécution de l'ouvrage (déplacements de l'ouvrage durant la construction, mise en œuvre des tirants).**

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

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

5.4 Prédiagnostic

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

Dans certains cas, le relevé des défauts et désordres permet d'aboutir directement au diagnostic (cas de causes évidentes) : défauts à la mise en œuvre, par exemple.

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

Pour les plus conséquentes, les hypothèses pouvant être formulées au stade du prédiagnostic sont les suivants (liste non-exhaustive, Fig. 18) :

- Insuffisance de résistance du voile ou des poutres.
- Grand glissement.
- Rupture ou risque de rupture de l'armature des tirants.
- Défaillance du scellement des tirants.
- Insuffisance de rigidité en plan.
- Insuffisance de capacité portante ou de raideur du sol derrière le voile.
- Défaillance du système de drainage.

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

C'est le cas par exemple du grand glissement ou encore d'une rupture de tirants.

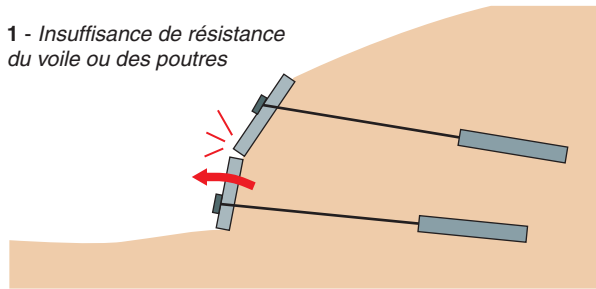
5.5 Cotation IQOA

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

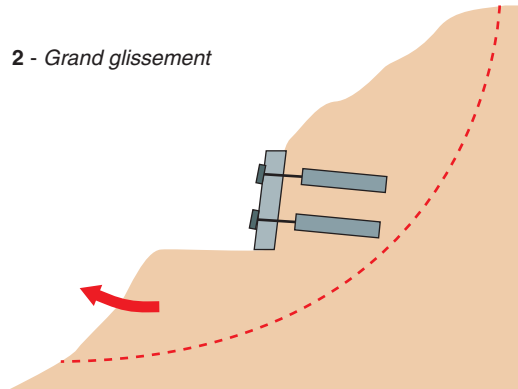
FIGURE 18

Modes de ruine des poutres et voiles ancrés par tirants précontraints

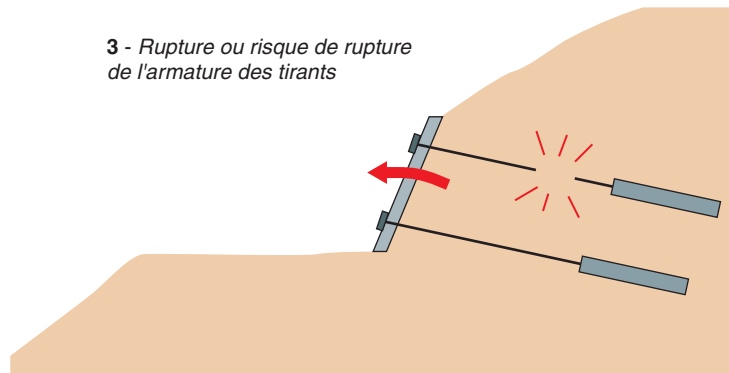
1 - Insuffisance de résistance du voile ou des poutres



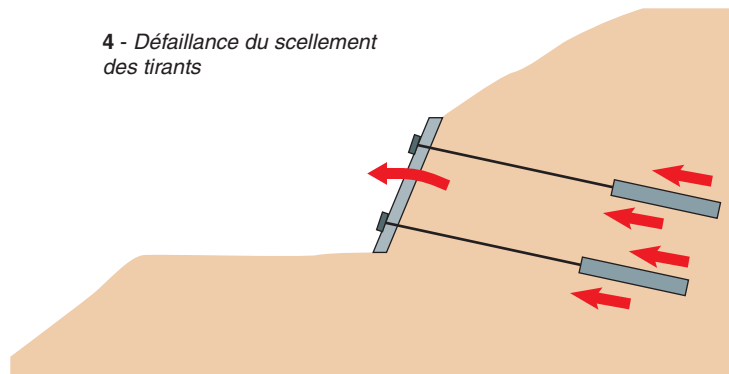
2 - Grand glissement



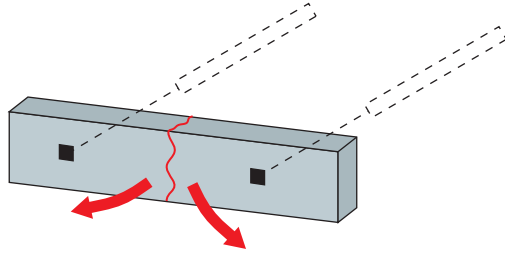
3 - Rupture ou risque de rupture de l'armature des tirants



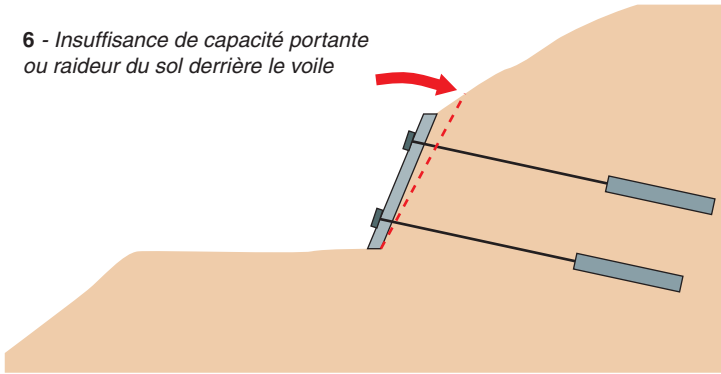
4 - Défaillance du scellement des tirants



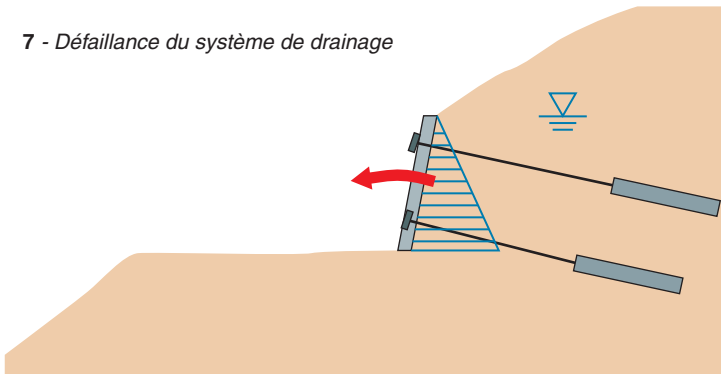
5 - Insuffisance de rigidité en plan



6 - Insuffisance de capacité portante ou raideur du sol derrière le voile



7 - Défaillance du système de drainage



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

La démarche qui permet, à partir de l'inspection détaillée, d'aboutir à un diagnostic de l'ouvrage est décrite par le synoptique (Fig. 19).

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

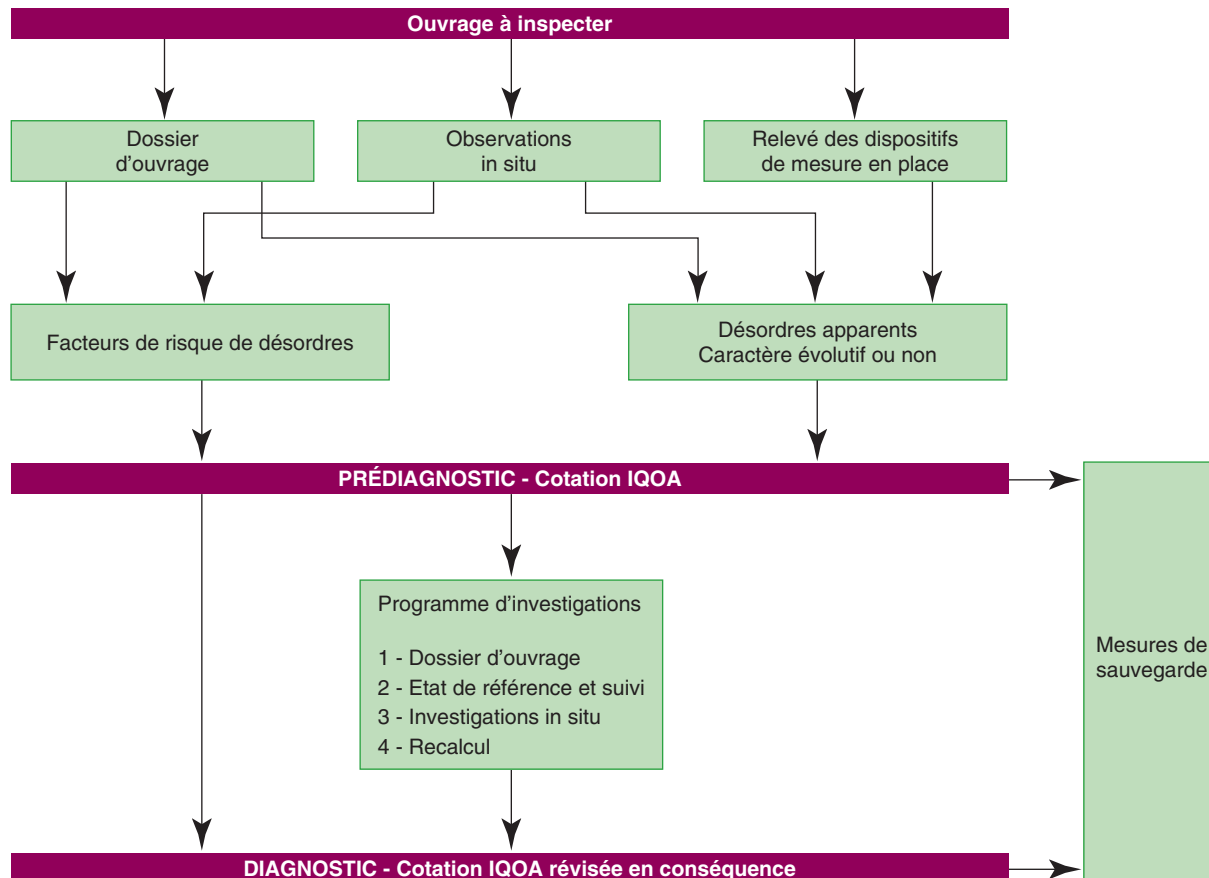


FIGURE 19 - Démarche de diagnostic.

6.2 Du prédiagnostic au diagnostic

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

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

Comme cela a été souligné au début du chapitre, l'absence de 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 du parement ainsi que le relevé des tensions dans les tirants paraissent 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
Instabilité générale	Défauts et désordres de type : S1 / S2 / S3 / S6 / S13 Z1 / Z2 / Z4 / Z8 / Z10	Facteurs de risques éventuels : . ouvrages sur pente . présence d'une nappe . sols évolutifs	1 - Dossier OA : . vérification sommaire du calcul de stabilité, de l'étude géotechnique, visite du site par un géologue 2 - État de référence et suivi des mouvements : . déplacements de l'ouvrage et du site (suivi inclinométrique et topométrique) . suivi de la nappe (suivi piézométrique) . déformations du terrain (fissures, bourrelets, etc.) 3 - Investigations <i>in situ</i> : données géotechniques (sondages et essais) 4 - Calcul complémentaire de stabilité d'ensemble
Rupture ou risque de rupture de l'armature des tirants : - par corrosion - par surtension ou évolution de la tension dans les tirants	Défauts et désordres éventuels de type : S9 à S13	Facteurs de risques éventuels : . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens (mal protégés) . fluctuations du niveau de la nappe . susceptibilité à la corrosion fissurante sous tension . sols évolutifs . site instable . conditions climatiques sévères (gel) . fluctuations du niveau de la nappe	1 - Dossier OA : . configuration des tirants . contexte géotechnique . dispositions vis-à-vis de la corrosion 2 - État de référence et suivi des mouvements : . mise en place d'une surveillance (déplacements : tirants, parement ; déformation : terrain, etc.) . suivi de la nappe (piézométrique) 3 - Investigations <i>in situ</i> : . pesage des tirants, relevé des cales dynamométriques . caractéristiques géotechniques . caractérisation physico-chimique du site . nature et état de la protection anticorrosion (tête et corps) . conditions d'exploitation 4 - Calculs complémentaires
Défaillance du scellement des tirants	Défauts et désordres éventuels de type : S4 / S5 / S6 / S13	Facteurs de risques éventuels : . sols évolutifs . sols ayant pu donner lieu à des difficultés lors de l'exécution des scellements	1 - Dossier OA : . contexte géotechnique . vérification sommaire du dimensionnement de l'OA . essais des tirants lors de la mise en tension 2 - État de référence et suivi des mouvements : . déplacements de la structure . déformations, fissuration du terrain 3 - Investigations <i>in situ</i> : . pesage, relevé des cales dynamométriques . fouilles 4 - Calculs complémentaires
Insuffisance de résistance du voile ou des poutres BA	Défauts et désordres de type : S4 / S5 / S6 / S7	Facteurs de risques éventuels : . ouvrages de grande hauteur (> 9 m) . présence d'eau . évolution des sollicitations . difficultés d'exécution reconnues . instabilité générale	1 - Dossier OA : hypothèses de calcul, problèmes d'exécution, plans 2 - État de référence et suivi des mouvements : . déplacements, déformations de l'ouvrage . suivi du niveau de la nappe (piézomètres) 3 - Investigations <i>in situ</i> : . résistance du béton (prélèvement) . vérification du ferrailage de la poutre ou du voile (détection + fenêtre) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . pesage, relevé de cales dynamométriques de tirants 4 - Calculs complémentaires

TABLEAU I (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
Insuffisance de rigidité en plan	Défauts et désordres de type : S4	Facteurs de risque éventuels : . sollicitations excessives (surcharges en tête, chocs, etc.) . site peu stable	1 - Dossier OA : . plans, vérification du dimensionnement 2 - État de référence et suivi des mouvements : . déplacements, déformations de l'ouvrage . fissuration et déformation du terrain 3 - Investigation <i>in situ</i> : . vérification du ferrailage de la poutre ou du voile . pesage, relevé de cales dynamométriques de tirants . conditions d'exploitation 4 - Calculs complémentaires
Insuffisance de capacité portante du sol derrière le voile au niveau des tirants	Défauts et désordres de type : S2 / S12 / S13	Facteurs de risque éventuels : . sollicitations excessives	1 - Dossier OA : . contexte géotechnique, problèmes d'exécution . vérification sommaire du dimensionnement de l'OA 2 - État de référence et suivi des mouvements : . nivellement, déplacements de la structure 3 - Investigations <i>in situ</i> : . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . pesage, relevé de cales dynamométriques de tirants 4 - Calculs complémentaires
Défaillance du système de drainage	Défauts et désordres de type : D1 à D5	Facteurs de risque éventuels : . nappe, fluctuation de nappe . gel dans les barbacanes	1 - Dossier OA : plans, problèmes d'exécution 2 - État de référence et suivi : . suivi piézométrique . conditions d'exploitation 3 - Investigations <i>in situ</i> : . niveaux d'eau, piézomètres, sondes de pression interstitielle

6.3 Techniques d'investigation

6.3.1 Suivi des déformations de l'ouvrage

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

En site montagneux, l'utilisation de cette technique peut présenter des difficultés : difficultés d'accès, absence de points fixes, manque de recul sur l'ouvrage. On peut alors être amené à faire appel à des techniques alternatives : fil invar, GPS par exemple.

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

6.3.2 Géométrie et nature des parements en béton armé

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

Si l'on veut contrôler la position et le type des armatures, il est possible d'utiliser une méthode de type Ferroskan, qui détecte la position des aciers jusqu'à 6 cm d'enrobage. Il est dans tous les cas nécessaire d'ouvrir une fenêtre dans le parement pour contrôler les résultats de ce type de mesure.

6.3.3 Tension dans les tirants

D'une manière générale, il ne sera pratiquement jamais possible de contrôler la tension dans un tirant d'ancrage définitif si cette éventualité n'a pas été initialement prévue.

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

- ceux sollicités en permanence, de type cale dynamométrique ;
- ceux sollicités au moment de la mesure de la tension (têtes filetées permettant le pesage du tirant au moyen d'un vérin annulaire).

Il existe également de nouvelles méthodes non destructives, encore en développement, dérivées des méthodes physiques pour l'auscultation des fondations ; à partir de la réponse à une sollicitation mécanique de la tête du tirant, elles en déduisent une mesure d'« impédance » qui permet de déterminer sa tension et sa longueur.

Dans certains cas de têtes de tirants non accessibles et avec de fortes présomptions de corrosion, on pourra être amené à faire réaliser des fouilles derrière le parement pour dégager les tirants et procéder à un examen visuel, éventuellement mettre en œuvre des moyens de contrôle *in situ* (mesure de tension, de corrosion) et prélever des échantillons pour examen en laboratoire.

La réalisation de fouilles derrière une structure ancrée par tirants précontraints est toutefois une opération très délicate à réaliser (risque de rupture brutale du tirant, rupture locale de la structure qui ne trouve plus dans le sol la réaction nécessaire, etc.), à laquelle on ne pourra recourir que très exceptionnellement, à préparer avec soin et à réaliser avec prudence par des spécialistes ou avec leur assistance.

6.3.4 Grands glissements

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

Pour les mesures inclinométriques, la méthode consiste à introduire dans un tube une sonde, et à mesurer l'angle que fait, à une profondeur donnée, l'axe de l'élément du tube guide avec la verticale (la résolution de la mesure est de l'ordre de 10^{-4} radian) (Fig. 20).

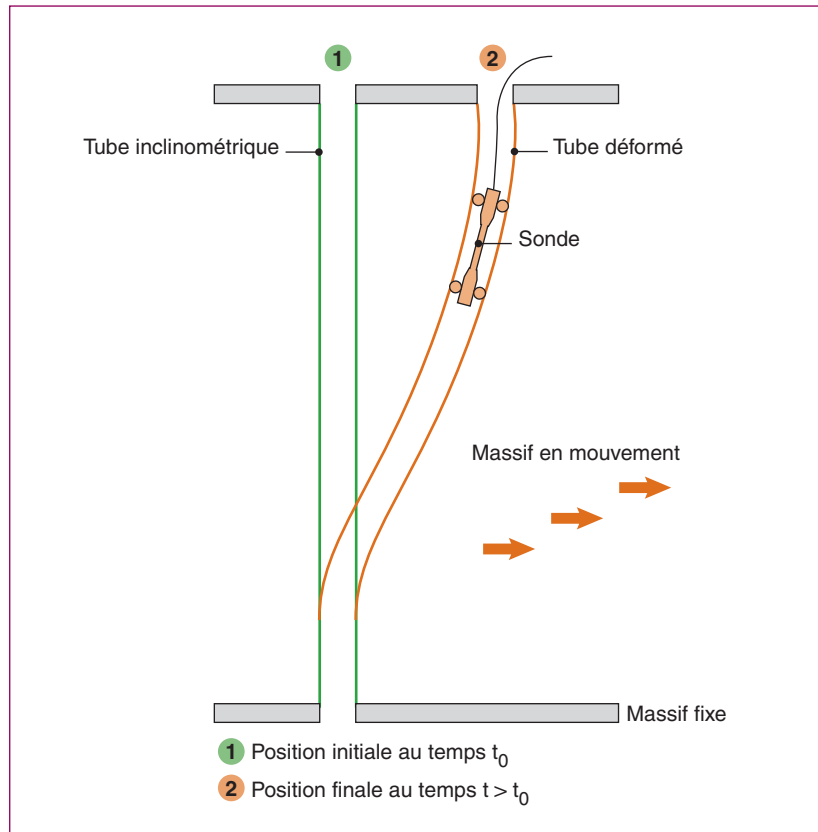


FIGURE 20 - Principe de fonctionnement d'un inclinomètre.

6.3.5 Sols

Les méthodes de dimensionnement des ouvrages nécessitent de connaître les paramètres de cisaillement des terrains concernés, ainsi éventuellement, que leurs paramètres de déformabilité. Pour les obtenir, on réalise généralement les essais suivants :

➤ l'essai à la boîte de cisaillement ou l'essai triaxial permet, en laboratoire, à partir des prélèvements de sol obtenus par sondage à la carotteuse, de déterminer les paramètres de cisaillement c (cohésion du sol) et ϕ (angle de frottement interne du sol).

En site montagneux, on a souvent affaire à des sols non prélevables (éboulis) ou pour lesquels ces moyens classiques ne sont pas opérationnels : il est alors nécessaire de recourir à un spécialiste géotechnicien qui proposera d'autres moyens spécifiques à mettre en œuvre.

➤ l'essai pressiométrique est un essai en place qui permet de tester directement le sol en dilatant dans un forage une sonde cylindrique. Comme dans le cas précédent, cet essai est souvent assez peu opérationnel en site montagneux (terrain rocheux ou éboulis).

D'autre part, il peut être nécessaire de connaître les caractéristiques chimiques et électrochimiques du sol afin de mieux appréhender les risques de corrosion. On peut ainsi déterminer en laboratoire :

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

6.3.6 Nappe

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

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

On peut également procéder à des analyses chimiques sur des prélèvements d'eau pour apprécier l'agressivité éventuelle des eaux souterraines.

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.

7. Entretien et réparation

7.1 Entretien courant

L'entretien courant des poutres et voiles ancrés consiste à réaliser les opérations suivantes :

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

7.2 Entretien spécialisé

L'entretien spécialisé concerne essentiellement les tirants. Il comprend :

- la réfection des protections de têtes de tirant par dépose et réinjection des capots ;
- le remplacement de capots de têtes de tirants détériorés.

7.3 Réparations

Les principales réparations que l'on peut être amené à effectuer sur un ouvrage de type poutre ou voile ancré concernent :

- l'ajout de tirants complémentaires soit pour renforcer la structure soit en cas de défaillance de tirants existants ;

- la restauration de la structure en béton armé, en cas d'altération locale (chocs, éclatements) ;
- la réalisation de barbacanes et, surtout, de drains supplémentaires, ou d'une manière plus générale, l'amélioration du système de drainage en cas de sous-dimensionnement ou de défaillance de celui-ci ;
- le confortement du site en cas de mouvements dans la zone d'influence.

Chaque projet de réparation doit faire l'objet d'une étude spécifique effectuée par un spécialiste.

8. Bibliographie

Normes

XP ENV 1997-1 (norme expérimentale P 94-250-1) Eurocode 7 - Calcul géotechnique - Partie 1 : Règles générales et document d'application nationale.

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

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

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

NF EN 1537 (AFNOR P 94-321), Exécution de travaux géotechniques spéciaux : tirants d'ancrage, avril 2000.

NF P 94-153, Reconnaissance et Essais, Essai statique de tirant d'ancrage, 1993.

Textes réglementaires

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

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

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

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 2e partie, fascicule 02 « Généralités sur la surveillance », 2002, 64 p.

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, 2e partie, fascicule 03 « Auscultation - Surveillance renforcée - Haute surveillance - Mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde », 1998, 44 p.

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

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

Documents guides

Recensement des ouvrages de soutènement - SETRA- F9813.

IQOA MURS de soutènement : guide méthodologique - SETRA - F0018PV.

IQOA MURS de soutènement : murs poids en maçonnerie (SETRA - F0019PV), *murs poids en béton* (SETRA - F0020PV), *murs poids en gabions* (SETRA - F0021PV), *murs poids en éléments préfabriqués en béton* (SETRA - F0022PV), *murs poids en maçonnerie* (SETRA - F0019PV), *murs en béton armé encastré sur semelle* (SETRA - F0023PV).

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

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

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.

Des exemples de désordres sont illustrés en fin d'annexe (Fig. 21).

Zone d'influence

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

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN PARTIE SUPÉRIEURE DU SOUTÈNEMENT		
Z1	Fissuration du terrain parallèle au mur	Instabilité d'ensemble Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval Rupture de tirants Nature du matériau du massif soutenu (effet de la sécheresse) (À rapprocher du défaut S1)	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z2	Bourrelets de terrain	Mouvement général, révélateur d'un glissement du talus amont de l'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu
Z3	Érosions, ravinements du sol	Défaut (ou absence) du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux de surface	Phénomène localisé ou étendu Présence de matériau en tête (éboulis, blocs)
Z4	Inclinaisons anormales d'arbres, de poteaux	Glissement d'ensemble	L'inclinaison de poteaux ou de candélabres en partie supérieure d'ouvrage est en principe un signe inquiétant, et tout particulièrement si elle s'est produite récemment
Z5	Présence de végétation nuisible		
Z6	Présence d'éboulis, accumulation de blocs, de neige		
Z7	Arrachements, impacts, signes de chutes de blocs		
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT		
Z8	Fissuration du terrain parallèle au soutènement	Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse) Déversement vers l'aval de l'ensemble de l'ouvrage Glissement d'ensemble du terrain à l'aval de l'ouvrage, travaux récents	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z9	Tassement du terrain en pied du soutènement	Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse)	Phénomène localisé ou étendu
Z10	Inclinaisons anormales d'arbres, de poteaux		
Z11	Présence de végétation nuisible		

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
	DRAINAGE INTERNE AU SOUTÈNEMENT		
D1	Ruissellements d'eau, efflorescences, concrétions, traces de corrosion dues à des écoulements d'eau à travers le béton	Infiltrations des eaux de ruissellement Défaut de fonctionnement des dispositifs de drainage interne Le cas échéant, sous dimensionnement du drainage interne Défaut d'étanchéité des joints	Caractère plus ou moins étendu
D2	Écoulement de fines du matériau soutenu (présence de fines au droit des débouchés des barbacanes ou des joints)	Défaut d'étanchéité des joints Le cas échéant, défaut de conception ou de réalisation du système drainant en arrière du soutènement	
D3	Altération du système de drainage interne (colmatage des barbacanes ou des drains) Présence de végétation obturant le dispositif	Défauts de réalisation du dispositif (absence de matériau filtrant, de drain à l'arrière du mur) Gel de l'eau dans les barbacanes Colmatage volontaire, vandalisme	
	ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE		
D4	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux, Stagnation d'eau Coulures sur le parement	Absence de dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Défauts d'entretien, tassements, dégradation, fractures, colmatage, mauvaise conception, etc.	
	ASSAINISSEMENT EN CONTREBAS DU SOUTÈNEMENT		
D5	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Stagnation d'eau	Absence de dispositif de collecte et d'évacuation des eaux Défauts d'entretien, tassements, dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.	

Structure

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENTS ET DÉFORMATIONS DE L'OUVRAGE*		**
S1	Déplacement ou rotation vers l'aval	Sous-dimensionnement des ancrages Défaillance des ancrages Glissement d'ensemble Défaut de mise en œuvre Déplacement lors de l'exécution (phases provisoires)	Importance relative de la rotation Caractère évolutif ou non
S2	Déplacement ou rotation vers l'amont	Déversement d'ensemble Glissement d'ensemble Défaillance des tirants (ou longueur insuffisante) Défaut de mise en œuvre du voile	
S3	Déplacement vertical	Glissement d'ensemble Capacité portante du sol insuffisante (vis-à-vis de la composante verticale de l'effort dans les tirants)	Compatibilité du déplacement vertical avec les déformations admissibles par la plate-forme soutenue
S4	Déformation en plan	Rigidité insuffisante des poutres Défaillance et rupture d'un tirant Distribution inégale des poussées	Proximité d'un ancrage
S5	Défauts d'alignement des éléments de parement	Mauvaise exécution Mouvement du parement (À rapprocher du défaut S4)	
	POUTRES ET VOILES		
S6	Fissures, fractures	Sous-dimensionnement Retrait Défaillance de tirants d'ancrage Efforts plus importants que prévus Mouvements différentiels (site instable)	
S7	Altérations du matériau constitutif (épaufrures, corrosion, etc.)	Mauvaise exécution Chocs Conditions climatiques (action du gel) Alcali-réaction, réaction sulfatique	
S8	Percolation d'eau au niveau des fissures ou des joints	Mauvaise mise en œuvre Défauts des joints d'étanchéité Absence ou mauvais fonctionnement du dispositif de drainage	Transport de matériaux

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

** Pour des ouvrages à éléments préfabriqués et disjoints, ces déformations peuvent être locales, limitées à certaines plaques.

N°	Défauts et désordres apparents	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	TIRANTS PRÉCONTRAINTS		
S9	Défaut de protection des têtes d'ancrage (défaut d'étanchéité ou corrosion du capot de protection, absence ou fissuration du cachetage, etc.), absence de produit de remplissage de la tête	Mauvaise conception Mauvaise exécution Agressivité du milieu ambiant Défaut d'entretien, vandalisme Chocs	Importance de la corrosion Infiltration d'eau Nombre de tirants concernés
S10	Venues d'eau par les têtes de tirants, traces d'écoulement d'eau (têtes visibles ou non)	Défaut d'étanchéité au niveau des têtes (tube trompette, etc.) Venues d'eau intempestives Mauvais fonctionnement du système de drainage interne	Importance Nombre de tirants concernés, agressivité du site
S11	Corrosion des têtes d'ancrage	Agressivité du milieu ambiant Inefficacité ou absence du cachetage	Importance de la corrosion Nombre de tirants concernés NB : pas toujours visible
S12	Déformations des plaques d'appui	Sous-dimensionnement et/ou mauvaise conception vis-à-vis des efforts concentrés Chocs	Nombre de tirants concernés
S13	Absence de blocage de l'armature sur plaque	Sous-dimensionnement initial Variation des efforts ou des propriétés des sols Mauvaise exécution Mouvements du site (site instable) Corrosion Défaillance du scellement d'un tirant	

- Les têtes sont la seule partie visible des tirants d'ancrage, mais ne sont pas toujours accessibles ou même visitables (noyées dans le béton).
- Dès la préparation de l'IDP, faire le point sur le nombre de têtes visitables et les moyens à mettre en œuvre pour y accéder.
- Lorsque des têtes de tirants sont équipés de cales dynamométriques, on relèvera leurs valeurs lors de l'inspection.

FIGURE 21

*Désordres sur des voiles
ancrés par tirants précontraints*



a. Vue d'une tête de tirant : barre, protection de la tête d'ancrage par capot plastique et graisse anticorrosive.



b. Venues d'eau au niveau de la tête du tirant.



c. Sur la plaque d'appui, une pellicule superficielle est corrodée.



d. Désordres dus à des venues d'eau : concrétions au niveau des têtes de tirants, des fissures, taches d'humidité.



e. Capot détérioré (choc de véhicule).



f. Dispositif de drainage mal adapté : importantes venues d'eau avec stagnation au pied de l'ouvrage. Végétation importante gênant l'examen visuel.

ANNEXE II

Les critères pour une cotation IQOA

CLASSES D'ÉTAT DE LA COTATION IQOA

CLASSE 1

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

CLASSE 2

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

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

CLASSE 2 E

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

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

CLASSE 3

Ouvrage

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

CLASSE 3U

Ouvrage

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

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

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

CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA

■ Zone d'influence (classe 1 à 3U)

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

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

CLASSE 2

- érosion et ravinement du sol.

CLASSE 1

- présence de végétation nuisible.

■ Équipements (classe 1 à 2E)

- cotation selon les modalités de la méthode IQOA.

■ Drainage et assainissement (classe 1 à 2E)

CLASSE 2E

- écoulement de fines du sol amont,
- défaut du système d'assainissement entraînant des ruissellements et des infiltrations d'eau chargée en agents agressifs (sels de déverglaçage).

CLASSE 2

- ruissellements d'eau non chargée en agents agressifs,
- colmatage du système de drainage interne dû à une altération, au gel,
- stagnations d'eau.

CLASSE 1

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

■ Structure (classe 1 à 3U)

CLASSE 3U

- défaillance de tirants par rupture des armatures (corrosion ou surtension),
- tout mouvement à caractère évolutif lié à une défaillance des tirants (scellement),
- glissement d'ensemble.

CLASSE 3

- inclinaison anormale susceptible d'évoluer défavorablement,
- fracturation généralisée du parement béton,
- corrosion apparente des têtes de certains tirants.

CLASSE 2E

- défaut de protection des têtes de tirants,
- percolation d'eau.

CLASSE 2

- inclinaison anormale mais stabilisée,
- défauts ponctuels du voile (alignement, fissuration),
- dispositif de collecte et d'évacuation des eaux défaillant,
- désordres mineurs.

CLASSE 1

- défauts mineurs.

ANNEXE III

Protection des tirants contre la corrosion : récapitulatif des différents types de protection

PROTECTION DES TIRANTS CONTRE LA CORROSION : RÉCAPITULATIF DES TYPES DE PROTECTION UTILISÉES

Protection de la partie libre : produits utilisés et historique de la réglementation

Type de remplissage de la gaine	Produit utilisé	Caractéristique exigée	Classe de protection assurée d'après le :			
			TA 72	TA 77	TA 86	TA 95
Aucun	Torons nus			P0	P0	P0
Mixte	Torons gainés graissés ou cirés	Agrément CIP	non cité	non cité	P2	P2
Liquide	Huile anticorrosive	Densité > 1		P1	non cité	non cité
	Eau chaulée, eau silicatée	Densité > 1 9 < pH < 12		P1	non cité	non cité
Souple	Graisse anticorrosive	9 < pH < 12		P1	P1	P2
	Bitume exempt de sulfures	9 < pH < 12		P1	P1	P1
	Gels de silicate, de bentonite rigidifiée	9 < pH < 12 insensible à la dessiccation		P1	non cité	non cité
	Mélanges argile-ciment	9 < pH < 12 insensible à la dessiccation		P1	P1	P1
	Résines acrylamides basiques	9 < pH < 12 insensible à la dessiccation stable dans le temps		P1	P2	P2
	Résines époxydes assouplies : brai époxy			P2	P2	non cité
	Cire pétrolière		non cité	non cité	non cité	P2
Rigide*	Coulis de ciment pur	9 < pH < 12		P1	P1/P2**	P1
	Coulis de ciment + poudre d'aluminium	9 < pH < 12		P2	P1/P2**	P2

* Ce type de protection rigide ne convient que s'il est mis en place après la mise en tension de l'armature, et pour des variations de tension très faibles après celles-ci.

** Les protections rigides en classe P2 ne sont admises que pour des tirants provisoires.

Protection de la partie scellée : produits utilisés et historique de la réglementation						
			Classe de protection assurée d'après le :			
Type de protection	Produit utilisé	Caractéristique exigée	TA 72	TA 77	TA 86	TA 95
Coulis de scellement	Ciment	Centreurs/injection HP	non cité	non cité	P1	P1
	Résine	Centreurs/injection HP	non cité	non cité	P1	P1
Gaine continue rigide autour de l'armature	Acier	Acier compatible avec les armatures	non cité	non cité	P2	P2
Gaine continue souple autour de l'armature	Polyéthylène, Polypropylène, PVC Haute densité	Forme ondulée pour la transmission des efforts Non fragile	non cité	non cité	P2	P2

Protection de la tête d'ancrage : produits utilisés et historique de la réglementation					
		Classe de protection assurée d'après le :			
Type de protection	Caractéristiques exigées	TA 72	TA 77	TA 86	TA 95
Cachetage		P1	P1	P0	P0
Têtes métalliques enrobées		non cité	P2	P0	P0
Capot étanche	Capot étanche + tube trompette, fixé de manière étanche à la plaque d'appui et recouvrant la gaine du tirant de 30 cm minimum + remplissage continu du capot et de l'espace entre trompette et gaine par un produit satisfaisant aux exigences de protection de la partie libre	non cité	non cité	P1	P1
Capot étanche	Idem que ci-dessus + un joint d'étanchéité entre tube trompette et gaine + un revêtement de protection sur le capot, la plaque d'appui et l'extérieur du tube trompette (cachetage possible si aucune remise en tension prévue) + remplissage assurant l'enrobage de la tête d'ancrage	non cité	non cité	P2	P2

Annexe A **65**

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

1. Reconnaissance	66
2. Préparation de l'intervention	66
3. Intervention <i>in situ</i>	67
4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée	68
5. Rédaction de la note de synthèse	68
6. Réunion de synthèse	68

Annexe B **69**

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

Annexe C **75**

Fiche de synthèse IQOA

ANNEXE A

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

1. Reconnaissance

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

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

Il est rappelé que :

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

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

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

2. Préparation de l'intervention

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

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

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

3. Intervention *in situ*

Elle comprend pour l'équipe d'intervention :

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

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

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

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

4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée

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

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

5. Rédaction de la note de synthèse

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

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

6. Réunion de synthèse

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

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

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

ANNEXE B

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

N° de l'ouvrage : ../../..

Date : ../../..

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

1. DONNÉES ADMINISTRATIVES ET DE REPÉRAGE

1.1 Nom du soutènement

1.2 Service gestionnaire

1.3 Commune

1.4 Voie de rattachement

1.4.1 Type de voie

1.4.2 Numéro de voie

1.4.3 Pr + Abscisse début du soutènement

1.5 Autre voie concernée par le soutènement

2. EMPLACEMENT DU SOUTÈNEMENT

2.1 Localisation du soutènement

2.2 Position du soutènement

2.3 Éloignement du soutènement par rapport aux voies

3. DESCRIPTION DU SOUTÈNEMENT

3.1 Géométrie du soutènement

3.2 Constitution

3.3 Modifications

3.4 Autres ouvrages liés au soutènement

4. FACTEURS DE RISQUE DE DÉSORDRES

N° de l'ouvrage : ../../..

Date : ../../..

5. SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE

5.1 Documents de référence

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

5.1.2 Date (ou année) de la dernière inspection détaillée

5.1.3 Dossier d'ouvrage (emplacement)

5.2 Investigations ou suivis spécifiques mis en œuvre

(depuis la dernière action de surveillance)

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

5.4 Mesures de sécurité particulières

5.5 Conditions d'exécution de l'IDP

5.5.1 Date

5.5.2 Ingénieur(s) responsable(s)

5.5.3 Équipe d'inspection

5.5.4 Moyens mis en œuvre

5.5.5 Météo

5.5.6 Température ambiante

5.5.7 Particularités de l'intervention

6. CONSTATATIONS

6.1 Zone d'influence

■ En partie supérieure du soutènement

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

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

■ En contrebas du soutènement

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

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

6.2 Équipements

■ En partie supérieure du soutènement

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

N° de l'ouvrage : ../../..

Date : ../../..

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

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

Autres équipements.

■ En contrebas du soutènement

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

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

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

Autres équipements.

6.3 Drainage et assainissement

■ Interne

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

■ En partie supérieure du soutènement

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

■ En contrebas du soutènement

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

6.4 Structure

■ Soutènement

■ Fondations

■ Élément de renforcement ou de réparation antérieur

N° de l'ouvrage : ../../..

Date : ../../..

7. MESURES EFFECTUÉES DANS LE CADRE DE L'INSPECTION

8. ESSAIS, RECONNAISSANCES

9. NOTE DE SYNTHÈSE

A - Conclusions de la dernière action de surveillance

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

C - Conclusions de l'inspection détaillée

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

C1.1 - Zone d'influence

C1.2 - Équipements

C1.3 - Drainage et assainissement

C1.4 - Structure

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

C3 - Propositions de mesures de sécurité immédiate ou de sauvegarde

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

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

10. ANNEXES AU RAPPORT

Annexe Plans de l'ouvrage

Annexe Plans et schémas des défauts et des désordres

Annexe Dossier photographique

ANNEXE C

Fiche de synthèse IQOA

FICHE DE SYNTHÈSE

Identification de l'ouvrage :

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

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

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

STRUCTURE		
	CDOA	
	CLASSE	S
CLASSE DE LA STRUCTURE		

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

JUSTIFICATIFS DES COTATIONS DE SYNTHÈSE

Document publié par le LCPC : sous le numéro 51123115
Conception et réalisation : LCPC-IST, Marie-Christine Pautré
Dessins : LCPC-IST, Philippe Caquelard
Crédits photographiques : Réseau des LPC - SETRA
Flashage-Impression : Bialec - Nancy (France)
Dépôt légal : 3e trimestre 2003 - N° 58956



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.