

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 rideaux de palplanches métalliques



Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des rideaux de palplanches métalliques

Guide technique

Juillet 2003



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

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

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

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

Le groupe de travail remercie :

- M.-P. Bourdouxhe (ARCELOR)
- A. Cuvillier (LRPC de Lille)
- B. Godart (LCPC)
- P. Lebreton (CETMEF)
- A. Leichtnam (ARCELOR)
- J.-P. Magnan (LCPC)
- O. Piet (CETMEF)

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 : 24 Euros HT

En couverture : OA93 - Bretelle du Contournement Sud de Strasbourg sur le Rhin Tortu à Strasbourg.

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 : 2-7208-3112-3

Sommaire

■ *Présentation générale commune à tous les fascicules*5



RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX RIDEAUX DE PALPLANCHES MÉTALLIQUES

1. Introduction 11

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi 11

2.1 Principe de fonctionnement 11

2.2 Domaine d'emploi 12

3. Description de l'ouvrage 14

3.1 Structure 14

3.1.1 Les profilés14

3.1.2 Les appuis 18

3.1.3 Les éléments de rigidification 22

3.1.4 Les dispositions de protection 23

3.2 Zone d'influence 24

3.2.1. Les terrains associés 24

3.2.2. La nappe 25

3.3 Équipements 26

3.3.1 Nature des équipements 26

3.3.2. Fixation 26

3.4 Drainage 27

3.5 Dispositifs de suivi 27

4. Origine des défauts et désordres 28

4.1 Mauvaise conception et sous-dimensionnement de l'ouvrage 28

4.2 Mauvaise exécution 28

4.3 Exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques 29

4.4 Défaut d'entretien 29

5. Inspection détaillée 30

5.1 Organisation et déroulement	30
5.2 Relevé des défauts et désordres	31
5.3 Facteurs de risque de désordres	31
5.4 Prédiagnostic	33
5.5 Cotation IQOA	33

6. Diagnostic 37

6.1 Démarche générale	37
6.2 Du prédiagnostic au diagnostic	38
6.3 Techniques d'investigation	43
6.3.1 Suivi des déformations d'ensemble	43
6.3.2 Corrosion des palplanches	43
6.3.3 Géométrie et nature des palplanches	44
6.3.4 Contrainte dans les palplanches	44
6.3.5 Tirants	45
6.3.6 Grands glissements	45
6.3.7 Sols	46
6.3.8 Nappe	46
6.4 Recalcul de l'ouvrage	47

7. Entretien et réparation 47

7.1 Entretien courant	47
7.2 Entretien spécialisé	47
7.3 Réparations	48

8. Bibliographie 48

ANNEXE I	CATALOGUE DES DÉFAUTS ET DÉSORDRES APPARENTS	53
ANNEXE II	LES CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA	61
ANNEXE III	CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DES PALPLANCHES	65

■ Annexes communes à tous les fascicules 69

ANNEXE A	ÉLÉMENTS D'UN CAHIER DES CHARGES TYPE D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE PÉRIODIQUE (IDP) D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	71
ANNEXE B	MODÈLE DE CADRE DE RAPPORT TYPE D'INSPECTION DÉTAILLÉE D'UN OUVRAGE DE SOUTÈNEMENT	75
ANNEXE C	FICHE DE SYNTHÈSE IQOA	81

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

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

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

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

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

1. Description générale de chaque fascicule

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Au CHAPITRE 8 : une bibliographie.

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

2. Principe de la méthodologie de diagnostic

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

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

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

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

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

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

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

3. Cotation IQOA

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

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

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

RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES AUX RIDEAUX DE PALPLANCHES MÉTALLIQUES



1. Introduction

Le présent guide s'applique aux ouvrages de soutènement constitués d'un rideau de palplanches métalliques pouvant être ou non ancré ou butonné. Par extension, il s'applique aux culées et piédroits d'ouvrages constitués de palplanches métalliques. N'entrent pas dans son champ d'application les ouvrages provisoires, les gabionnades de palplanches (ouvrages poids constitués d'une succession d'enceintes de palplanches plates confinant le terrain) et les tranchées couvertes. Pour ces dernières, il pourra cependant, le cas échéant, apporter une aide à l'inspection et au diagnostic de leurs parties de soutènement en palplanches.

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

2. Principe de fonctionnement et domaine d'emploi

2.1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement des rideaux de palplanches est celui d'une structure chargée par la poussée des terres et de l'eau soutenue et résistant en flexion pour mobiliser des appuis constitués, d'une part, par le sol en fiche (partie enterrée du rideau en pied) et, d'autre part, s'il y a lieu, par des tirants ou butons disposés dans la partie libre de l'écran.

Le rideau est généralement fiché de façon significative dans le terrain : de façon typique, la fiche constitue 30 à 50 % de sa hauteur totale dans le cas des rideaux ancrés, cette valeur pouvant atteindre 70 % dans le cas de rideaux non ancrés. En permettant la mobilisation d'un appui au sein du terrain, cette fiche joue un rôle déterminant dans l'équilibre de l'ouvrage. La nature de cet appui est variable suivant les propriétés du terrain, la longueur en fiche de l'écran et sa rigidité et la distribution des autres appuis, tirants et butons. Elle peut se réduire à un appui simple, pour des écrans très rigides, ancrés en partie supérieure et dont la fiche est courte tandis que, pour des écrans ne possédant pas d'appui en partie supérieure, elle s'apparente à un encastrement. Dans le cas général, l'écran se trouve en fait partiellement encastré dans le terrain.

Les appuis en partie supérieure de l'écran sont généralement présents dès que la hauteur libre dépasse 4 à 5 m, voire 3 à 4 m, de façon à limiter les déplacements en tête de l'ouvrage et à assurer sa stabilité. Il s'agit alors de tirants permettant de renvoyer les efforts d'appui suffisamment loin en arrière de l'écran, au sein d'une partie stable du massif de sol. Il peut également s'agir de butons, dans le cas où l'effort d'appui peut être renvoyé à une autre structure faisant face à l'écran (cas des tranchées ouvertes, par exemple).

Ces appuis sont généralement distribués sur la hauteur à raison d'un niveau d'appui tous les 3 à 5 m. Certaines configurations d'ouvrages peuvent toutefois conduire à des distributions différentes. C'est le cas, par exemple, des quais ou des soutènements de berges de rivière, généralement simplement ancrés en tête, au-dessus du niveau de l'eau.

La répartition longitudinale des appuis pour chaque niveau est variable suivant la nature des appuis et l'intensité des efforts à reprendre. Si les appuis sont constitués par des tirants, ces derniers sont généralement répartis à raison d'un tirant tous les 2 à 5 m. Cet espacement horizontal est généralement plus important dans le cas des butons (Fig. 1).

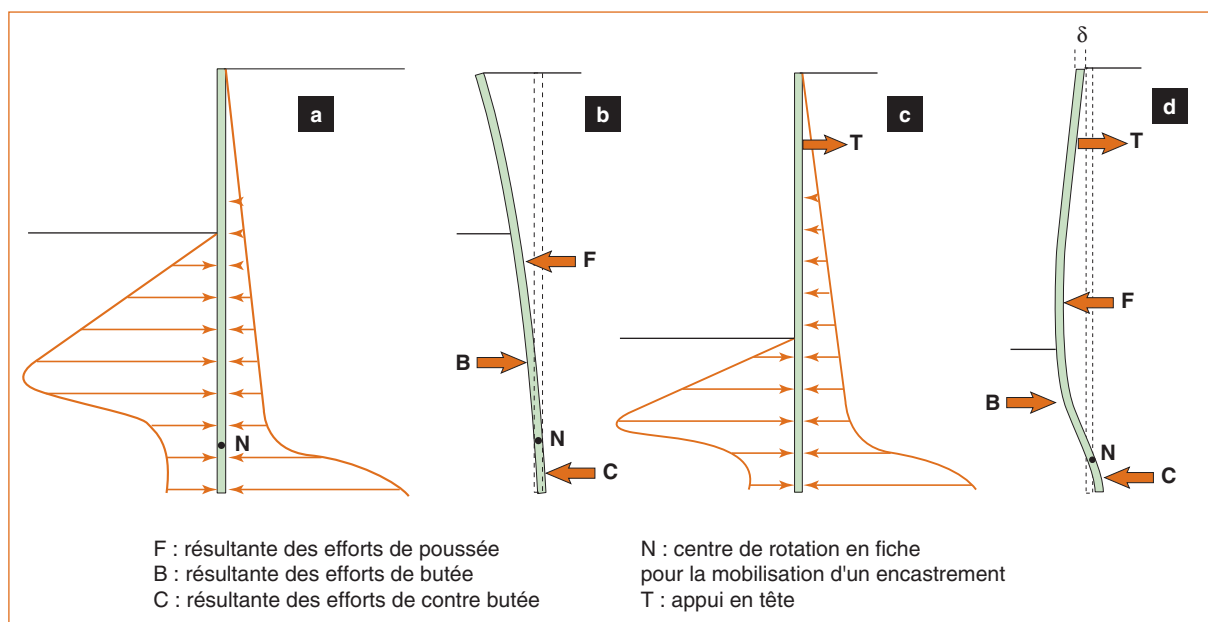


FIGURE 1 - Distributions de pressions des terres sur un soutènement simplement encastré en fiche (a), ancré en tête (c) et déformations associées de l'ouvrage (respectivement (b) et (d)).

2.2 Domaine d'emploi

Les rideaux de palplanches ont un domaine d'emploi assez large dû en particulier à la possibilité qu'ils offrent de construire des soutènements en remblai aussi bien qu'en déblai, aux facilités qu'ils offrent en site aquatique et à leur relative étanchéité, qui permet généralement d'éviter le transport par l'eau des fines contenues dans le massif soutenu.

Ces caractéristiques en font une technique très utilisée pour la construction d'ouvrages de rives : soutènement et défenses de berges de rivières et canaux, quais fluviaux et maritimes. Les ouvrages sont alors réalisés en rescindant la berge existante par dragage en pied de l'ouvrage et remblaiement derrière l'écran.

Dans le domaine terrestre, leur emploi a longtemps été limité au blindage des fouilles sous la nappe, domaine pour lesquels les techniques plus traditionnelles de blindage de fouilles sont inopérantes. Ils sont également utilisés, de façon moins courante, pour la réalisation d'ouvrages de soutènement (de déblai essentiellement), de piédroits de passages souterrains ou de tranchées, voire de culées d'ouvrages (Fig. 2).



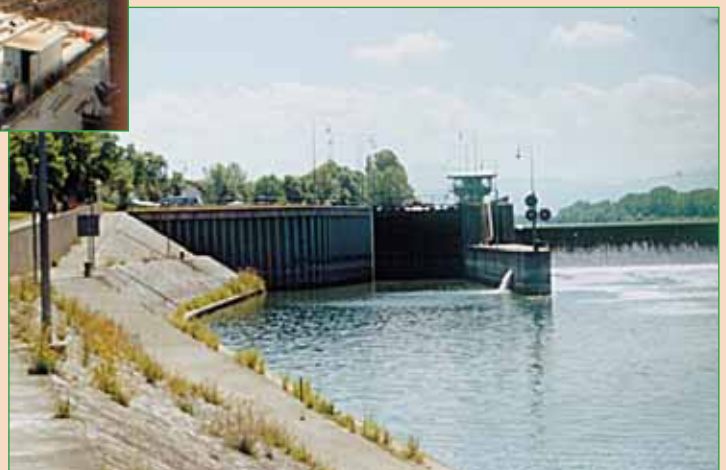
a. Rideau combiné de palplanches et de tubes en site maritime.



b. Soutènement d'un talus de déblai.



c. Soutènement d'une excavation pour la réalisation d'un passage sous-fluvial.



d. Ouvrage de rive.

FIGURE 2

Exemples d'ouvrages de soutènement en palplanches

D'une façon générale, les limites d'emploi des rideaux de palplanches sont essentiellement liées, d'une part, à leur mode de mise en œuvre et, d'autre part, à leurs caractéristiques dimensionnelles et mécaniques.

Le mode de mise en œuvre des palplanches, par fonçage dans le terrain, réserve en effet leur emploi à des sites constitués de terrains meubles, exempts d'obstacles à la pénétration des palplanches, et à des sites peu sensibles aux nuisances liées à leur mise en œuvre (bruit, sollicitations dynamiques) ; les nouvelles générations d'engin permettent toutefois de limiter ces nuisances. En outre, le site doit offrir un dégagement compatible avec le gabarit des engins de levage.

Les caractéristiques dimensionnelles des palplanches peuvent également constituer une limite d'emploi. Ainsi, la résistance à la flexion se trouve limitée à celle des profilés offerts par les catalogues de producteurs, tandis que les limites en longueur sont celles offertes par les moyens de transport (18 à 24 m au plus). De façon pratique, la hauteur libre d'un soutènement en palplanches, dans leur domaine d'emploi courant, se trouve ainsi limitée à une quinzaine de mètres.

Pour des ouvrages de dimension plus importante, il reste possible d'avoir recours à cette technique, moyennant les adaptations nécessaires : utilisation de profilés plus résistants en flexion (cf. paragraphe 3.1.1), assemblage par soudure de profilés bout à bout (entures), permettant d'atteindre des hauteurs plus importantes.

Note : L'exécution des rideaux de palplanches est l'objet de la norme européenne NF EN 12-063.

3. Description de l'ouvrage

3.1 Structure

3.1.1 Les profilés

◆ Les différents types

La technique des rideaux de palplanches métalliques est apparue au début du XX^e siècle comme une modernisation de la technique des rideaux de palplanches en bois. Elle a dans un premier temps fait appel aux profilés utilisés en construction métallique, profilés I, H ou U, assemblés de façon à former des rideaux continus. Dans un deuxième temps, des profilés spécifiques ont été développés par l'industrie sidérurgique. Ces profilés se caractérisent notamment par une optimisation de leur section, en termes d'inertie mais aussi de pénétrabilité dans le sol, et par la présence d'une serrure permettant l'enclenchement des profilés les uns aux autres.

La recherche d'une meilleure utilisation de l'acier a conduit à adopter pour les palplanches des profils en U ou en Z (Fig. 3), donnant aux rideaux de palplanches leur forme ondulée. Sur cette base, les différents types de palplanches qui ont été proposés par l'industrie sidérurgique correspondent à autant d'améliorations, soit des procédés de fabrication, soit des performances des palplanches (annexe III).

◆ Caractéristiques géométriques

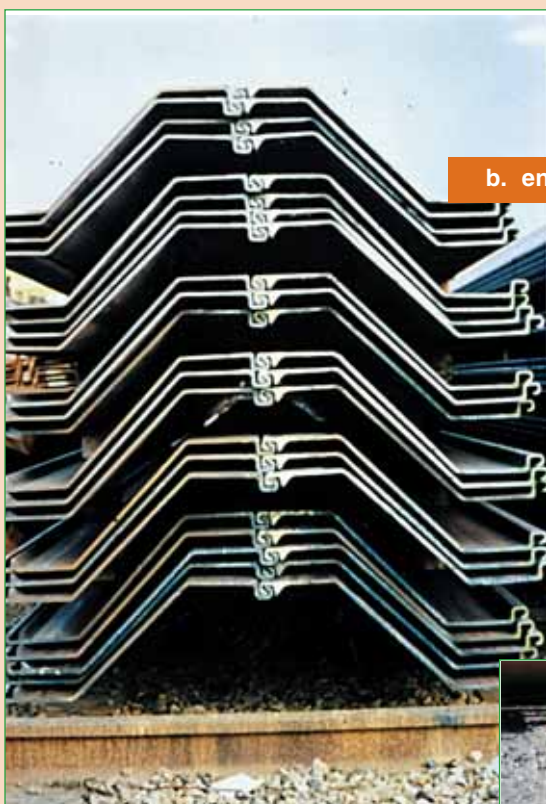
Les dimensions des sections des palplanches varient d'environ 0,40 à 0,60 m pour la largeur (0,75 m pour les plus récentes), de 0,10 à 0,50 m pour la hauteur et de 5 à 20 mm pour l'épaisseur. La longueur des palplanches est par ailleurs généralement limitée à 24 m pour des raisons de transport et de mise en œuvre.



FIGURE 3

*Profils de palplanches
et détails des serrures*

a. en U



b. en Z

Photo : Profil Arbed.



c. en caissons

Les palplanches sont obtenues par profilage à froid pour les épaisseurs les plus faibles (5 à 8 mm) et par laminage à chaud au-delà, ces dernières étant les plus couramment utilisées. Elles sont constituées d'acier de limite d'élasticité se situant dans une gamme généralement comprise entre 240 et 420 MPa, dont le choix est fixé en fonction des besoins, les valeurs les plus élevées pouvant en particulier être nécessitées, le cas échéant, pour limiter les risques de déformation en tête lors du battage.

Pour des rideaux de grandes dimensions, ou fortement sollicités, on est amené à faire appel à des *rideaux combinés* alternant des palplanches et des profilés plus résistants. Ces profilés plus résistants sont traditionnellement des caissons de palplanches (assemblage obtenu par soudage de plusieurs palplanches) (Fig. 3c) ou des profilés H mais aussi parfois des tubes métalliques.

◆ Les serrures

Les serrures ont initialement été réalisées en rapportant des profilés secondaires aux profilés principaux, la liaison étant obtenue par rivetage. Dans un deuxième temps, la mise au point des procédés de fabrication a permis d'usiner la serrure directement à partir du profilé principal.

Si elles permettent l'assemblage des profilés en rideaux continus, les serrures n'en constituent pas moins des discontinuités qui jouent un rôle important tant sur le plan du comportement mécanique du rideau que sur le plan de sa transmissivité hydraulique. Sur le plan mécanique, sauf dispositions particulières, les serrures autorisent le glissement relatif des profilés les uns par rapport aux autres.

Dans le cas de rideaux de palplanches en U, pour lesquels les serrures se trouvent localisées sur l'axe de l'écran, une sollicitation en flexion du rideau peut conduire à un tel glissement relatif des palplanches. Les caractéristiques dimensionnelles et mécaniques du rideau (inertie, module de résistance) se trouvent alors pratiquement réduites à celle des palplanches simples. Pour cette raison, les palplanches en U sont le plus souvent assemblées par paires, par pinçage, en usines. Ce traitement permet de limiter le glissement des serrures lors de la mobilisation en flexion du rideau. Ainsi, pour un écran de palplanches, une serrure sur deux se trouve empêchée de glisser, ce qui permet d'augmenter les performances du rideau. Les serrures peuvent aussi être soudées.

Pour les palplanches en Z, les serrures sont localisées au droit des fibres extrêmes des rideaux. Le problème du glissement des palplanches les unes par rapport aux autres sous l'effet de la flexion de l'écran ne se pose donc pas de la même façon et il n'est généralement pas introduit de réduction d'inertie du fait des serrures. Mais ce type de palplanches est encore assez peu utilisé en France.

Sur le plan hydraulique, les serrures peuvent être le siège d'écoulements d'eau à travers le rideau de palplanches. Dans certains cas extrêmes, cet écoulement d'eau peut être accompagné d'un écoulement de particules fines de sol du massif soutenu. C'est notamment le cas lorsque le massif soutenu est constitué d'un sable fin et homométrique (constitué de grains de même taille). Diverses solutions ont pu être employées pour y remédier, les plus courantes étant la mise en œuvre de produits d'étanchement dans les serrures des palplanches avant leur fonçage ou encore la réalisation de cordons de soudure au droit de celles-ci une fois les palplanches en place (pour des ouvrages terrestres).

◆ Mise en œuvre

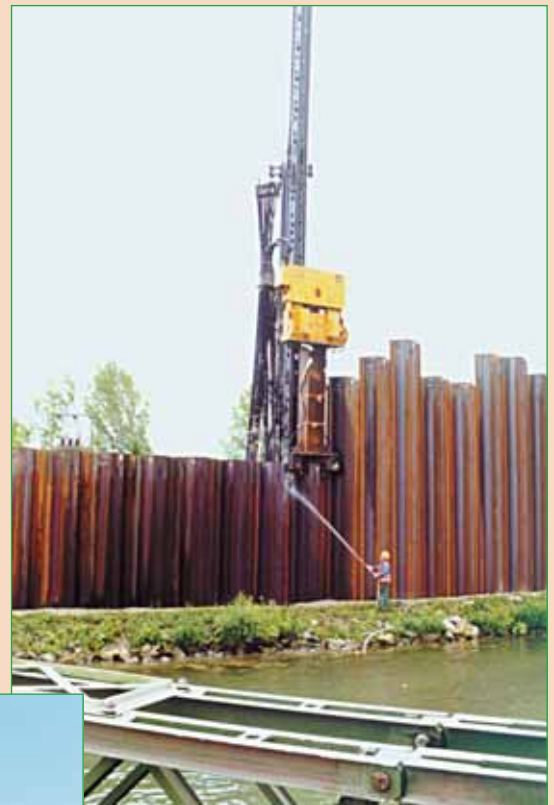
Les profilés sont mis en place dans le sol par battage, vibrage, trépidage ou fonçage direct (Fig. 4).

Le battage (fréquence d'environ 40 à 60 coups/mn) constitue la technique la plus ancienne. On utilise aujourd'hui un mouton de battage, diesel ou hydraulique. Il est bien adapté à tous les types de sols mais, à cause des nuisances sonores, son emploi en site urbain est limité.

Le fonçage par vibrage, ou « vibrofonçage », est apparu plus récemment. Cette technique fait appel à un vibreur transmettant au sol des vibrations (fréquence d'environ 1500 à 3000 Hz) par



a. Battage.



b. Fonçage par vibration.



c. Préforage avant fonçage.

FIGURE 4

Différents modes de mise en œuvre des palplanches

l'intermédiaire de la palplanche. Ces vibrations réduisent la résistance au cisaillement du sol et donc sa résistance à la pénétration des palplanches. Cette technique est bien adaptée à la mise en place des palplanches dans les sols granulaires noyés de compacité moyenne mais également, compte tenu de l'apparition de vibreurs de forte puissance, dans des sols granulaires plus compacts. Elle peut être préjudiciable aux structures voisines du chantier du fait des vibrations qu'elle transmet par le sol mais les nouveaux vibrofonçeurs, à fréquence et puissance adaptables, permettent cependant une notable réduction de ces vibrations.

Le trépidage constitue une technique intermédiaire faisant appel à une fréquence de vibrations de 150 à 300 Hz environ.

Le vérinage ou fonçage direct, technique la plus récente, consiste à mettre en place les palplanches en leur appliquant un effort statique en tête au moyen d'un système prenant appui sur les palplanches déjà en place. Cette technique est bien adaptée à la mise en place de palplanches de faible hauteur dans des sols peu à moyennement consistants exempts d'obstacles. Elle connaît un certain développement pour la réalisation des ouvrages en sites urbains, du fait qu'elle n'apporte pas de nuisance à l'environnement.

Des dispositions d'accompagnement peuvent être prises en complément à ces techniques de base. Il s'agit principalement de dispositions visant à ameublir le sol, soit préalablement à la mise en place des palplanches (préforage), soit pendant la mise en place des palplanches (lançage à l'eau, basse ou haute pression). Cette dernière technique qui consiste à affouiller le sol autour de la palplanche doit être utilisée avec la plus grande prudence en raison des dégradations qu'elle génère dans le sol.

3.1.2 Les appuis

Les appuis de l'écran sont constitués par le sol en fiche et par des tirants ou butons disposés dans la partie libre de l'écran.

◆ La fiche

L'appui en fiche provient de la capacité du sol à se mobiliser contre les déplacements de l'écran : mobilisation d'une butée, dans le cas d'un mouvement de translation de l'écran, mobilisation d'une butée et d'une contrebutée, et donc d'un « encastrement », dans le cas d'une rotation en fiche de l'écran (*cf.* Fig. 1). Les caractéristiques du sol de fondation, ainsi que la rigidité de l'écran et la dimension de sa fiche, déterminent le fonctionnement de cet appui en fiche.

Ainsi, la rigidité du sol de fondation et de l'écran, ainsi que la hauteur de la fiche, déterminent, d'une part, la raideur de l'appui en fiche et, d'autre part, le type d'appui mobilisé, appui simple ou encastrement. La résistance au cisaillement du sol de fondation ainsi que la hauteur de la fiche déterminent pour leur part la valeur de l'appui mobilisable.

◆ Les tirants remblayés

Les tirants sont des éléments de structure permettant d'ancrer l'écran, au niveau de sa partie libre, dans le terrain situé en arrière du sol soutenu. Pour des ouvrages de soutènement construits au moins partiellement en remblai, ces tirants peuvent être disposés entre deux couches de remblai successifs. Ils sont alors constitués de barres métalliques fixées à une extrémité au rideau de palplanches et à l'autre extrémité à un dispositif d'ancrage (Fig. 5). Divers types de dispositifs d'ancrage peuvent être employés (Tableau I). Le plus souvent, il s'agit soit d'un deuxième rideau de palplanches (ou contre-rideau), soit de plaques en béton disposées horizontalement (ou dalles frottantes), ou verticalement (plaques d'ancrage). Ces tirants, dont la résistance va se mobiliser au fur et à mesure du remblaiement et/ou de l'excavation devant l'écran, sont qualifiés de passifs. Notons que la mobilisation de cette résistance s'accompagne de déformations du terrain au cours du remblaiement ou de l'excavation.

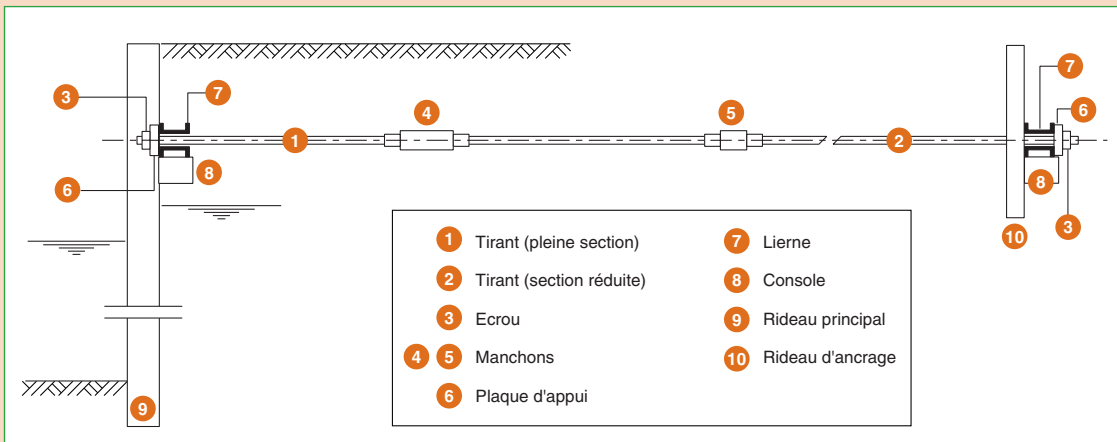
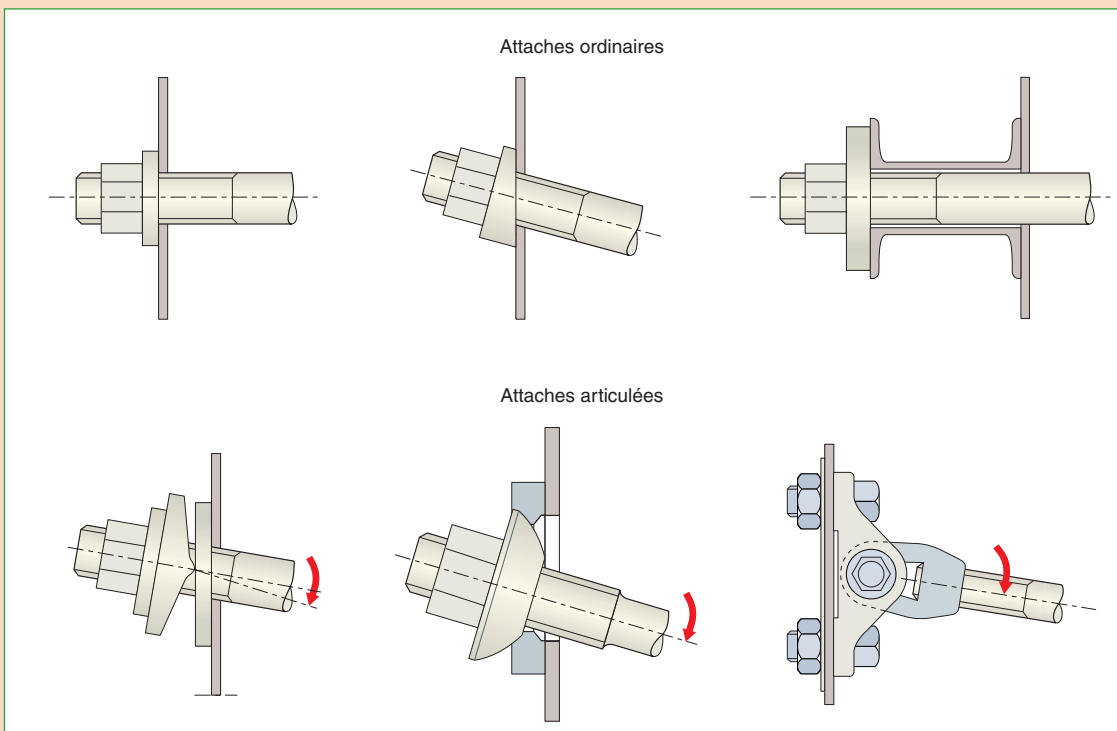


FIGURE 5

Tirants remblayés

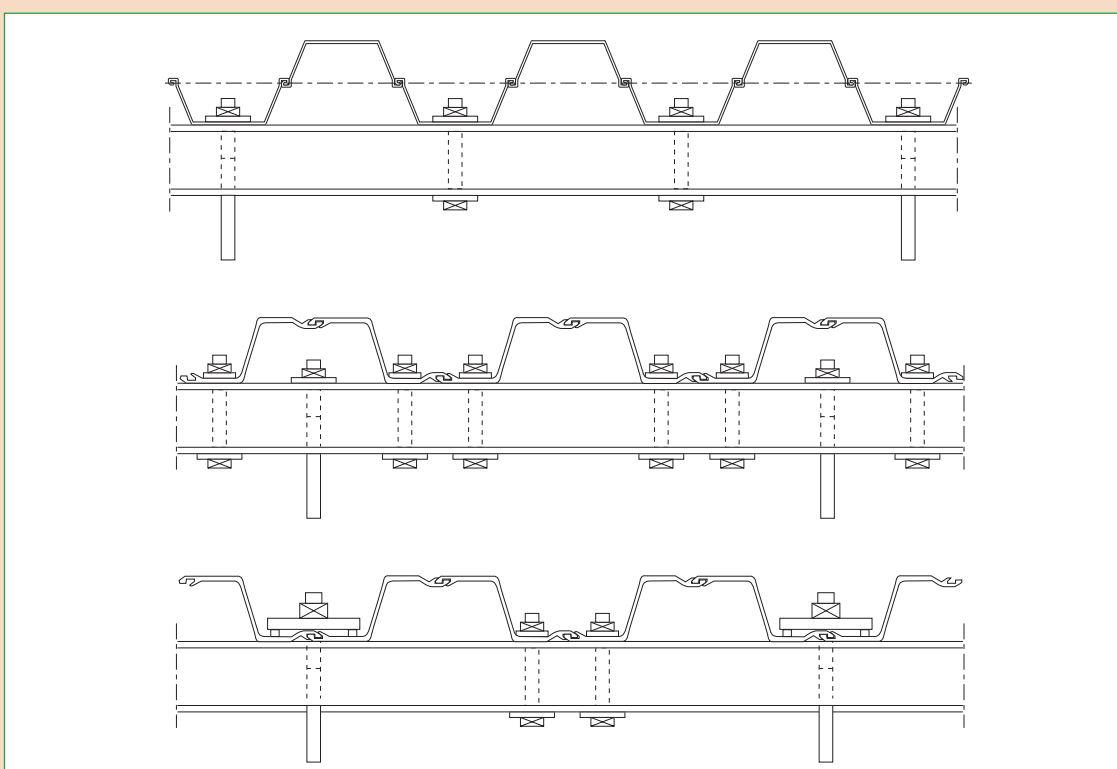
a. Schéma général d'ancrage d'un rideau de palplanches.

(d'après Techniport)



b. Différents types de têtes d'ancrage.

(d'après Unimétal)



c. Assemblage des liernes aux palplanches (cas des profils en U et des profils en Z)

(d'après Unimétal)

TABLEAU I

PRINCIPAUX TYPES DE TIRANTS PASSIFS UTILISÉS EN FRANCE

Tirants de type remblayés

Constitués de ronds d'acier ordinaire filetés, ou barres d'acier à haute adhérence

A1 - Par type d'ancrage :

- 1 - Tirants à ancrage par plaque.
- 2 - Tirants à ancrage par contre-rideau.
- 3 - Tirants à ancrage par dalle de frottement.

A2 - Par type de blocage :

- 1 - Dispositif de blocage articulé : à double articulation ou à bride et œil, en particulier.
- 2 - Dispositif de blocage non articulé :
 - plaque d'appui + écrou
 - chaise d'appui.

Tirants de type battus

Constitués de profilés métalliques, de tubes, de pieux H ou de palplanches.

B1 - Pieu battu injecté : type MV système Müller-Trindel (armature tube métallique).

B2 - Tirant battu injecté : type Louis Ménard (armature barre Dywidag).

B3 - Tirant à plaque pivotante : type Louis Ménard.

Tirants scellés ou forés

Constitués de ronds mis en œuvre dans un forage et scellés au coulis.

Ces tirants font intervenir différentes pièces d'assemblage. Ainsi, les barres d'ancrages, vendues par longueurs standardisées, présentent des extrémités filetées de façon à pouvoir être assemblées les unes aux autres au moyen de manchons. Ces sections filetées sont généralement de diamètres plus importants (obtenus par refoulement) que les sections courantes de façon à ne pas réduire leur résistance du fait du filetage. Le raccordement à l'écran de palplanches et au dispositif d'ancrage peut, pour sa part, être plus ou moins élaboré. La technique la plus simple consiste à boulonner la section d'about à un dispositif de répartition fixé au rideau de palplanches, par l'intermédiaire d'une plaque d'appui métallique. Ce dispositif de répartition est en général constitué par les liernes (*cf.* paragraphe 3.1.3). Dans le cas où les tirants sont inclinés, on utilise des chaises d'appui, généralement métalliques aussi. Lorsque des efforts parasites non axiaux sont à craindre sur les tirants, ou que des mouvements sont prévisibles à la mise en œuvre ou en service, ce qui est généralement le cas, on utilise des écrous spéciaux ou des systèmes qui, intercalés entre l'écrou et la plaque d'appui, permettent une légère rotation de la barre d'ancrage par rapport à la structure.

◆ Tirants forés ou battus

Pour des ouvrages de soutènement construits en déblai, les tirants sont le plus souvent constitués par des armatures métalliques mises en place depuis le front du soutènement et bloquées contre le rideau par une tête d'ancrage.

Ces armatures peuvent être constituées par des profilés métalliques rigides (tubes généralement) battus inclinés depuis le rideau, scellés ou non au terrain à l'aide d'un coulis

ou d'un mortier, ou par des barres ou des profilés métalliques mis en place dans un forage et scellés au terrain par injection d'un coulis de ciment. De nombreux procédés ont été proposés par les entreprises par le passé. Les principaux procédés sont rappelés dans le Tableau I.

◆ Tirants actifs

Les plus simples des tirants d'ancrage actifs*, souvent appelés aussi tirants précontraints, sont constitués d'une armature en acier de précontrainte à haute résistance (barres, fils, torons, torons gainés graissés) mise en place dans un forage et scellée au terrain en partie inférieure, sur une longueur dite longueur de scellement, par injection de coulis de ciment. Ce coulis de ciment est injecté au moyen d'un tube d'injection (petit tube simple ou tube à manchettes pour injection par passes et par phases) mis en place dans le forage en même temps que l'armature. La partie supérieure de l'armature non scellée au terrain est protégée par une gaine plastique, dite gaine de protection de la longueur libre des armatures.

La tête d'ancrage permet la transmission au rideau de l'effort d'ancrage dans le sol via l'armature du tirant. Elle est constituée :

- de la tête d'ancrage proprement dite, dans laquelle est bloquée l'armature du tirant, et dont la constitution dépend de l'armature et du procédé de précontrainte retenu ;
- de son dispositif d'appui sur le rideau, constitué d'une plaque sur laquelle est soudée une « trompette » (ou un tube métallique) destinée à recouvrir l'extrémité de la gaine plastique de protection pour assurer la continuité de celle-ci ;
- d'un capot ou coiffe, mis en place après la mise en tension du tirant, et généralement rempli d'un produit de protection contre la corrosion.

La mise en tension s'effectue à l'aide d'un vérin. Ces tirants sont dits actifs ou précontraints. Ils diffèrent des tirants passifs par le fait que la déformation du sol pour mobiliser la résistance se produit pendant la mise en tension des tirants, et reste donc limitée pour les phases d'excavation ultérieures devant le soutènement.

Le tirant et sa tête d'ancrage font l'objet d'une protection particulière contre la corrosion. La nature et les modalités de mise en œuvre de cette protection sont définies par les recommandations Tirants d'Ancrage (ces recommandations, dites TA, ont fait l'objet de mises à jour en 1977, 1986 et 1995), ainsi que par les normes relatives à l'exécution des tirants (NF EN 1537).

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 constitution, dans leur mise en œuvre ou encore dans leur technologie (Tableau II). Pour l'Europe seulement, environ une quarantaine de brevets ont été déposés entre 1950 et 1970.

Le principal type de tirant qu'il est indispensable de mentionner ici est le tirant d'ancrage à armature scellée dans un tube lui-même scellé au terrain, dans la mesure où ce type de tirant présente normalement, une gaine ou un tube de protection de l'armature sur toute la longueur de celle-ci. Cette disposition garantit une meilleure protection contre la corrosion.

* Une présentation plus détaillée des technologies et modes d'exécution des tirants actifs, ainsi que des défauts susceptibles de les affecter, est donnée dans le fascicule 7 « Poutres et voiles ancrés ».

TABLEAU II**PRINCIPAUX TYPES DE TIRANTS ACTIFS UTILISÉS EN FRANCE**

Types de tirant Créateur du procédé	Époque de fabrication	Caractéristiques
TMP (préfabriqué) SIF Bachy	1968	Séparateur gonflable ; injection gravitaire unitaire (IGU) avec tube à manchettes ; torons préalablement scellés dans une gaine plastique ondulée que l'on scelle au terrain
TMS (simultané)	1968	Séparateur gonflable ; injection IGU avec tube à manchette ; armature scellée en <i>une phase</i> dans une gaine plastique ondulée scellée au terrain
TMD (différé) SIF Bachy	1968	Idem TMS mais injection répétitive et sélective (IRS) <i>en deux phases</i> , du tube métallique au terrain, puis de l'armature au tube
IRP/Solétanche	1960	Séparateur gonflable ; injection IRS ; armature scellée directement au terrain
TUBFIX Solétanche	Actuel	Séparateur gonflable ; injection IRS en deux phases, du tube métallique au terrain, puis de l'armature au tube
IRP Industriel à scellement comprimé Solétanche		Barre 26 ou 32 mm - type IRP
IRP Préprotégé Solétanche		Barre ou toron - type IRP mais avec gaine de protection autour de la partie scellée remplie de brai époxy

◆ Les butons

Les butons sont constitués de poutres en béton armé ou de profilés métalliques prenant appui sur deux structures construites en vis-à-vis, comme cela peut être le cas pour les soutènements de tranchées ouvertes ou couvertes. Pour les tranchées couvertes, ce butonnage est généralement assuré par la dalle de couverture et, s'il y a lieu, par un radier situé sous la chaussée. L'utilisation de profilés métalliques est généralement réservée au butonnage provisoire des structures, tandis que les poutres en béton armé sont utilisées pour la réalisation d'appuis permanents. Il s'agit alors de poutres en béton encastrées dans la poutre de couronnement longitudinale du rideau de palplanches (*cf.* paragraphe 3.1.3).

3.1.3 Les éléments de rigidification

◆ Liernes

Compte tenu du mode de liaison des palplanches les unes aux autres par les serrures, un rideau de palplanches ne présente pas de rigidité longitudinale. Une telle rigidité longitudinale est cependant nécessaire pour des raisons de comportement mécanique ainsi qu'esthétique. Il convient en effet d'assurer que le rideau reste plan au fur et à mesure des différentes opérations de construction (avancement des remblais et déblais, mise en place des ancrages). Il est par ailleurs nécessaire d'assurer une bonne répartition des efforts appliqués au rideau, et en particulier des efforts d'ancrage.

La rigidité longitudinale de l'écran est assurée en disposant des liernes, profilés métalliques I ou U, horizontalement, le long du rideau de palplanches. Ces liernes sont disposées régulièrement sur la hauteur de l'écran, auquel elles sont le plus souvent fixées par boulonnage. Elles sont en principe disposées au droit des niveaux d'ancrage et servent d'appui aux têtes d'ancrage.

Dans le cas des ouvrages en remblai, les liernes sont généralement disposées du côté du remblai de façon à préserver l'esthétique de l'ouvrage. Elles ne sont donc pas visibles.

◆ Poutre de couronnement

Outre les liernes, l'ouvrage est généralement couronné par une poutre longitudinale. Cette poutre de couronnement possède plusieurs fonctions. Elle constitue un élément de rigidification longitudinale de l'ouvrage (chaînage), à l'égal des liernes. Pour des ouvrages de faible hauteur, elle peut même constituer le seul élément de rigidité longitudinale.

Cette poutre permet en outre de transmettre des efforts au rideau de palplanches. Elle sert ainsi d'appui pour d'éventuels butons ; elle peut également servir à assurer la transmission au rideau de palplanches d'efforts extérieurs (amarrage de bateaux, pour un ouvrage de rive, par exemple).

Enfin, elle peut constituer un élément architectural de l'ouvrage, en même temps qu'un élément de protection de la tête des palplanches.

3.1.4 Les dispositions de protection

◆ La protection vis-à-vis de la corrosion

Afin de préserver les palplanches des effets de la corrosion, différentes possibilités de protection peuvent être retenues.

Systèmes de peintures

La plus courante pour les ouvrages terrestres est actuellement l'application sur la surface d'un système de peinture certifié ACQPA* . Ce système peut être composé de trois couches, deux couches appliquées en atelier - le primaire pouvant être appliqué sur l'ensemble des surfaces sur chaîne automatique - et une couche de finition appliquée sur chantier.

Il peut aussi être constitué de deux couches de type « brai-époxy » appliquées en atelier, bien que cette technique soit appelée à être abandonnée pour des raisons de protection de l'environnement.

Le transport et la mise en œuvre (manipulation, battage) peuvent conduire à une certaine dégradation de ces protections et des retouches sur chantier sont alors à effectuer. Il est clair qu'elles ne peuvent concerner que les parties visibles et accessibles. Le revêtement, ou ce qu'il en reste après battage, n'est donc efficace que sur la partie vue et accessible des palplanches, là où l'on est sûr qu'il a résisté au battage et où l'on peut l'entretenir.

Épaisseur sacrificielle

La surépaisseur d'acier sacrifiée à la corrosion, constitue une solution alternative souvent adoptée pour les ouvrages de rives. À titre indicatif, le tableau III reprend les valeurs données dans le fascicule 62 titre V du CCTG, en fonction du type de sol et de la durée de vie minimale exigée.

* ACQPA : Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion.

TABLEAU III**ÉPAISSEURS SACRIFICIELLES RECOMMANDÉES PAR LE FASCICULE 62 TITRE V DU CCTG
(VALEURS EN MILLIMÈTRES)**

	25 ans	50 ans	75 ans	100 ans
Sols ou remblais peu corrosifs	0,25	0,60	0,70	0,80
Sols ou remblais moyennement corrosifs	1	1,60	2	2,50
Sols ou remblais fortement corrosifs	2,50	4	5	6

Remarque : la norme NF A 05-251 exige pour les ouvrages devant avoir une durée de vie minimale de 30 ans une épaisseur minimale d'acier de 8 mm, pour un sol fortement corrosif, et ce en dehors de toute considération relative à une éventuelle protection par surépaisseur d'acier.

Protection cathodique

La protection cathodique par courant imposé ou non, technique très utilisée dans les années 1960 à 1980 pour les ouvrages maritimes, est plus rarement utilisée aujourd'hui, en raison notamment de son coût et de l'entretien spécifique qu'elle nécessite (surveillance régulière dans le cas d'une protection par courant continu imposé, surveillance moindre dans le cas d'anodes sacrificielles).

Protection contre les chocs

La protection contre les chocs, dans le cas notamment des ouvrages assurant l'accostage de bateaux, est généralement assurée par un dispositif associant une lierne et, éventuellement, des défenses d'accostage.

3.2 Zone d'influence

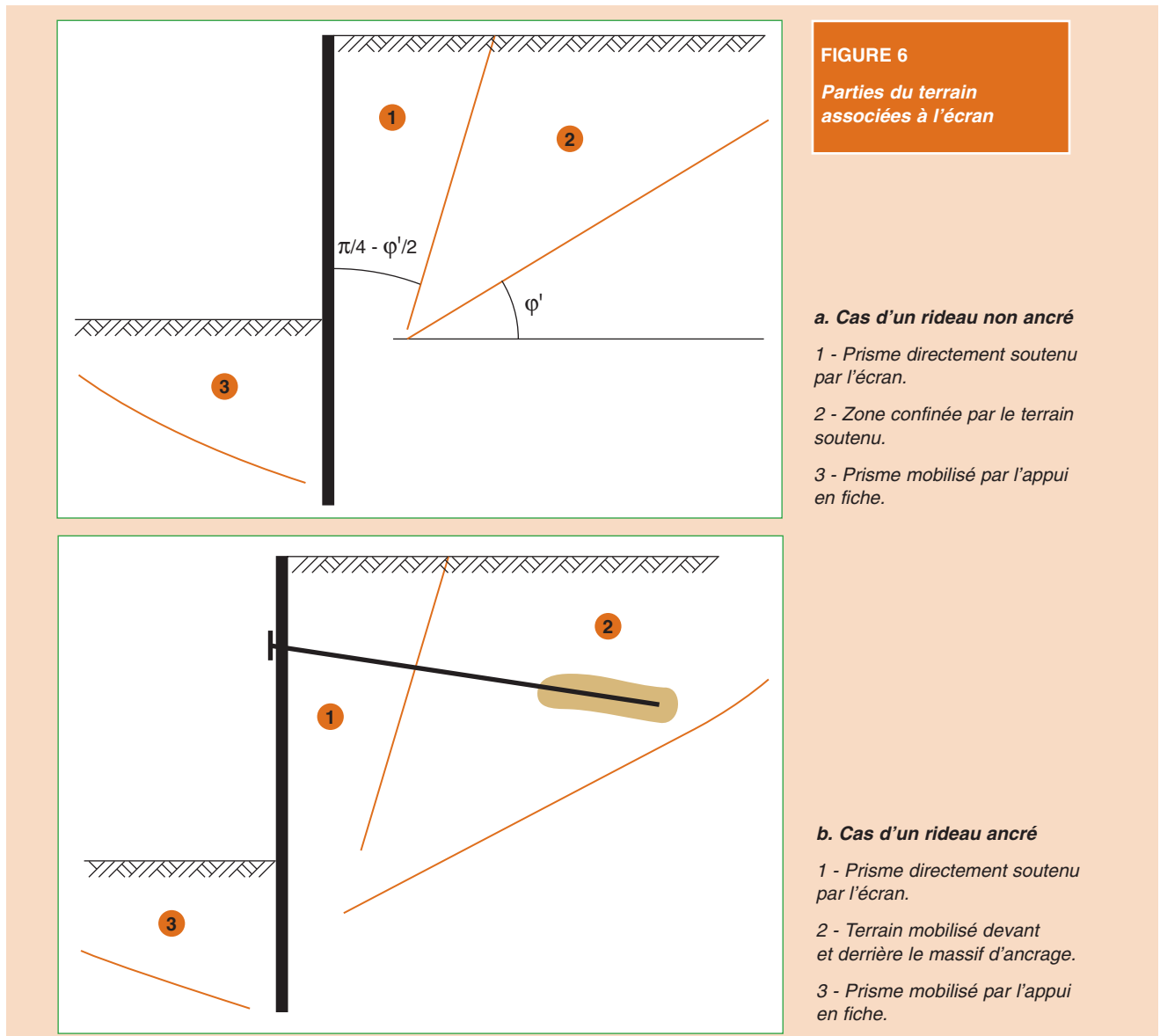
3.2.1 Les terrains associés

Le terrain environnant l'écran fait partie intégrante de l'ouvrage. Il en constitue les appuis ainsi que l'essentiel du chargement. On distingue plusieurs parties (Fig. 6) :

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

Dans le cas des ouvrages ancrés (Fig. 6), le terrain mobilisé devant le massif d'ancrage est également étroitement associé à l'ouvrage et il en est de même du terrain situé immédiatement derrière l'ancrage ; les dimensions de ce massif de sol sont directement liées à la longueur des ancrages, mais aussi à la profondeur à laquelle se trouve le massif d'ancrage.

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



3.2.2 La nappe

Les ouvrages de soutènement en palplanches sont des ouvrages fréquemment rencontrés en présence d'une nappe phréatique, car ils constituent une réponse bien adaptée aux problèmes posés par l'eau. En particulier, leur relative étanchéité permet d'éviter le transport de matériaux à travers l'ouvrage et donc la perte de particules fines au sein du massif soutenu.

L'étanchéité de l'écran provoque par contre un effet de barrage lorsque la nappe est en écoulement (Fig. 7). C'est notamment le cas des ouvrages sur pente, mais aussi des ouvrages de rive compte tenu des échanges naturels entre les berges et le canal ou la rivière. Cet effet de barrage conduit généralement à une remontée de la nappe derrière l'écran et à une baisse en aval de l'écran. De telles modifications du niveau de la nappe, si elles ne sont pas prévues dans le dimensionnement de l'ouvrage, peuvent être à l'origine de désordres significatifs sur l'ouvrage, ce dernier pouvant se trouver sous-dimensionné.

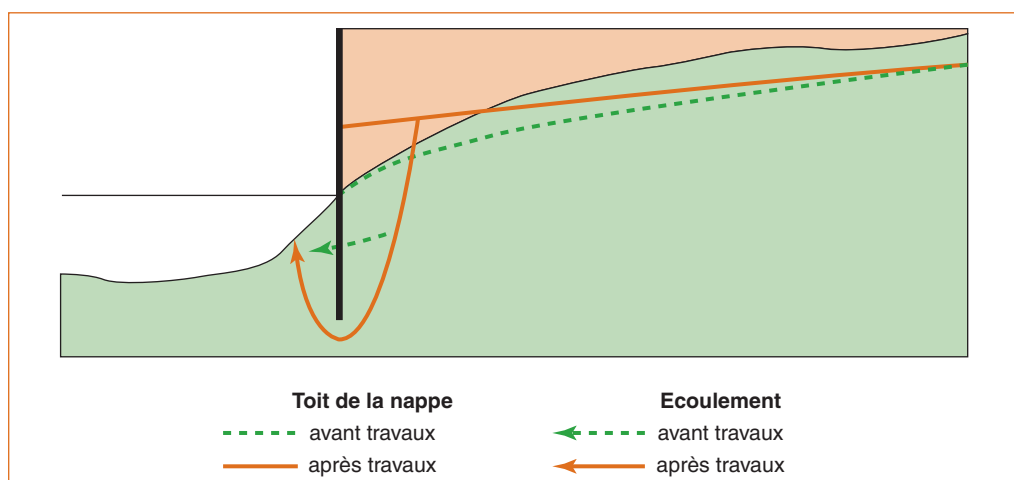


FIGURE 7 - Effet de barrage d'un rideau de palplanches : relèvement du toit de la nappe derrière l'écran et concentration des écoulements sous le pied de l'écran.

À l'opposé, lorsque le rideau de palplanches soutient une excavation dont le fond est drainé, en présence d'un radier drainant par exemple, la nappe peut se trouver rabattue derrière le rideau de palplanches.

Pour des ouvrages de grande longueur, ces modifications du toit de la nappe peuvent se propager sur une grande distance derrière l'ouvrage, débordant largement de la zone d'influence telle que définie au paragraphe 3.2.1. Une telle zone d'influence « hydrologique » doit être étudiée au cas par cas.

Les écoulements d'eau associés au dénivelé de la nappe de part et d'autre de l'écran peuvent être à l'origine d'instabilités hydrauliques si la longueur de fiche n'est pas suffisante. En effet, c'est cette dernière qui, en imposant à l'eau contournant l'ouvrage un cheminement relativement long, parfois à travers des couches plus profondes peu perméables, limite la vitesse de l'écoulement de l'eau et donc le risque des instabilités d'origine hydraulique, érosion régressive le long d'un cheminement d'eau privilégié (renard) ou mise en suspension d'un terrain granulaire dans un courant d'eau ascendant (boulance). Notons ici qu'un tel risque d'instabilité peut être majoré dans le cas d'affouillement en pied du rideau.

3.3 Équipements

3.3.1 Nature des équipements

Les équipements les plus courants sont les dispositifs de retenue, tels que les barrières de sécurité et les garde-corps, la signalisation, les écrans antibruit et autres éléments rapportés.

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

3.3.2 Fixation

L'implantation et le mode de fixation des équipements sur les ouvrages sont désormais mieux réglementés par un ensemble de normes, de textes d'homologation et de guides, tant en ce qui concerne leur conception que leur mise en œuvre. Concernant les équipements de la route en tête de rideaux de palplanches, on peut trouver divers types de fixation (Fig. 8) :

➤ soit directement aux palplanches, par l'intermédiaire d'un profilé métallique (soudé ou boulonné) ou d'une poutre de couronnement en béton (notons qu'une telle conception conviendrait mieux pour des équipements légers) ;

- soit à l'arrière du soutènement, bien désolidarisé de l'écran ; il s'agit d'une barrière de type BHO directement battue dans le sol ou ancrée dans une longrine coulée à l'arrière, ou d'une GBA sur une longrine directement posée sur la plate-forme et indépendante du rideau ;
- soit sur une dalle de frottement coiffant l'écran, mais non fixée directement sur celui-ci ; ce sont les dispositions actuellement recommandées ; la GBA ou la BN4 sont fixées sur une dalle de 1,25 m à 2 m de largeur noyée en partie dans le massif de sol à l'arrière de l'écran.

En site fluvial ou maritime, les ouvrages peuvent être équipés de défenses d'accostage ainsi que de bollards permettant l'amarrage des bateaux. Ces équipements sont en général fixés à la poutre de couronnement en béton armé, qui est alors dimensionnée en conséquence. Les bollards, s'ils sont susceptibles de recevoir des efforts importants, peuvent être fondés indépendamment de l'écran, en arrière de celui-ci.



FIGURE 8 - Fixation d'un garde-corps sur la poutre de couronnement d'un rideau de palplanches.

3.4 Drainage

Les rideaux de palplanches sont généralement conçus sans dispositif de drainage. Dans certains cas toutefois, pour des ouvrages construits partiellement en remblai, il peut être prévu des dispositifs de drainage visant à réduire la remontée de la nappe derrière l'écran.

Un tel dispositif de drainage comporte alors un drain granulaire ou géotextile réalisé au sein du remblai, associé à des barbacanes réalisées au travers de lumières découpées dans les palplanches.

3.5 Dispositifs de suivi

D'une manière générale, il n'est pas prévu à la construction de dispositif spécifique pour le suivi des ouvrages en palplanches.

Toutefois, pour les ouvrages ancrés par tirants précontraints, il ne sera pas rare de trouver, conformément aux recommandations « Tirants d'Ancrage », des moyens de contrôle de la tension, mis en place à la construction.

Par ailleurs, les ouvrages soumis à une forte action de la nappe (ouvrages maritimes, en particulier) peuvent être équipés de piézomètres permettant le suivi de la nappe.

4. Origine des défauts et désordres

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

- Choix de structure inadaptée (exemple : faisabilité non assurée - refus prématurés liés à la nature des terrains).
- Mauvaise conception générale : efforts non pris en compte (exemple : efforts parasites sur les tirants dus au tassement du sol soutenu, présence de grands glissements).
- Conception des liaisons liernes - palplanches et tirants - palplanches n'assurant pas une bonne transmission des efforts, dispositions favorisant la corrosion.
- Défaut de fiche lié à une étude géotechnique insuffisante.
- Sous-dimensionnement en épaisseur de l'ouvrage.
- Sous-estimation des efforts, conduisant à des déformations excessives de parties de l'ouvrage.
- Sous-estimation des actions d'exploitation.
- Surestimation des caractéristiques des terrains.
- Dispositif de drainage insuffisant par rapport aux hypothèses de calcul ; erreur sur les niveaux de nappe.
- Défaut de prise en compte des risques d'affouillement.

4.2 *Mauvaise exécution*

- Fourniture de produits non conformes sur le plan géométrique ou mécanique.
- Utilisation de palplanches en U non pincées (non associées par paires) alors que l'écran est calculé en tenant compte de palplanches associées par paires (pinçage, soudure).
- Altération liées à la manutention et à la mise en œuvre (trous de manutention non rebouchés, par exemple).
- Défaut de fiche (refus prématuré) lié à un mauvais choix des matériels d'exécution.
- Dégrafages de palplanches.
- Défauts de verticalité des profilés dus à un défaut de guidage ou à des déviations sur blocs en cours de fonçage (Fig. 9).
- Phasage de chantier non respecté.
- Défaut ou excès de compactage des remblais.
- Défauts d'exécution des tirants (scelllements mal faits, têtes d'ancrage mal exécutées).
- Défauts d'assemblage des liernes et des chaises pour tirants.
- Protection mal exécutée.
- Défaut du béton (poutre de couronnement, butons).
- Défauts au niveau du drainage.



FIGURE 9 - Défaut de verticalité des palplanches lié à une mauvaise exécution.

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

- Chocs de véhicules ou de bateaux.
- Surcharge excessive à proximité de la tête des palplanches.
- Affouillements en pied liés au passage ou au stationnement (moteur tournant) de bateaux ou à des phénomènes hydrodynamiques (érosion).
- Utilisation importante de sels de déverglaçage.
- Ambiance agressive (environnements marin, industriel, etc.).
- Incendies (atteinte à la protection anticorrosion).

4.4 *Défaut d'entretien*

- Accumulation de corps flottants (chocs, abrasion).
- Accumulation de végétation, d'eau, de matériaux (concrétions, dépôts) favorisant la corrosion (Fig. 10).
- Défaut d'entretien des systèmes de protection contre la corrosion.



FIGURE 10 - Corrosion de palplanches.

5. Inspection détaillée

5.1 Organisation et déroulement

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

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

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

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

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

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

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

- de disposer de fonds de plans pour les relevés des défauts et désordres ;
- de faire le point sur les parties de l'ouvrage accessibles ou non (têtes de tirants) et les moyens à mettre en œuvre : passerelle, nacelle élévatrice, bateau, plongeurs, démontage d'éléments du parement, démolition et reconstitution des cachetages, démontage et réinjection des capots de protection, moyens particuliers nécessaires au relevé des dispositifs de mesure en place, etc.

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

- les constats faits pendant l'exécution des travaux et notamment les difficultés d'exécution reconnues (mise en œuvre des palplanches, exécution des tirants, etc.) ;
- les rapports d'inspections détaillées antérieures et notamment celui de l'inspection détaillée initiale.

Et depuis la dernière inspection détaillée :

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

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

L'inspection détaillée donne lieu à un 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 investigation complémentaire, le rapport précise également, s'il y a lieu, les travaux d'entretien courant et spécialisé à effectuer ainsi que les réparations à prévoir.

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

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

5.2 Relevé des défauts et désordres

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

5.3 Facteurs de risque de désordres

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 ;
- site aquatique.

■ 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 (présence dans le sol d'obstacles à la pénétration) ;
- sols gélifs.

■ L'eau

- eaux agressives (eaux douces, eaux saumâtres, eaux séléniteuses, eaux magnésiennes) ;
- effets hydrodynamiques en site aquatique (affouillement, marnage, courant, abrasion par des sédiments, etc.) ;
- 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 d'exploitation des ouvrages

- utilisation importante de sels de déverglaçage ;
- présence de courants vagabonds (présence de lignes de chemin de fer, notamment) ;
- sollicitations particulières (surcharges en tête, chocs, etc.) ;
- ouverture de fouilles en pied d'ouvrage.

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

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

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

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

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

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

5.4 *Prédiagnostic*

Le prédiagnostic est établi sur la base du relevé des défauts et désordres, de leur évolution et de l'identification des facteurs de risque de désordres (*cf.* Fig. 13). Il sera d'autant plus délicat à établir après l'inspection que certains de ces éléments seront manquants.

Dans certains cas, le relevé des défauts et désordres permet d'aboutir directement au diagnostic (cas de causes évidentes) : déformations dues à un choc, déchirures de serrures à la mise en œuvre, etc.

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

Pour les plus conséquentes, les hypothèses pouvant être formulées au stade du prédiagnostic sont les suivants (liste non-exhaustive, Fig. 11) :

Cas communs à l'ensemble des rideaux

- Insuffisance de fiche et/ou insuffisance de butée.
- Insuffisance du dimensionnement des palplanches.
- Corrosion ou risque de corrosion du rideau.
- Insuffisance de rigidité en plan.
- Grand glissement.

Cas des rideaux ancrés

- Rupture de tirants (Fig. 12).
- Risque de rupture de tirants.
- Défaillance du massif d'ancrage ou de scellement.

Cas des ouvrages avec efforts verticaux en tête

- Insuffisance de la capacité portante.
- Flambement ou risque de flambement.

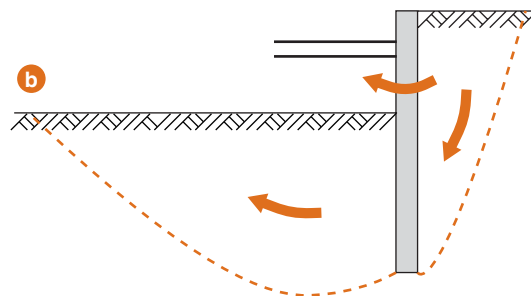
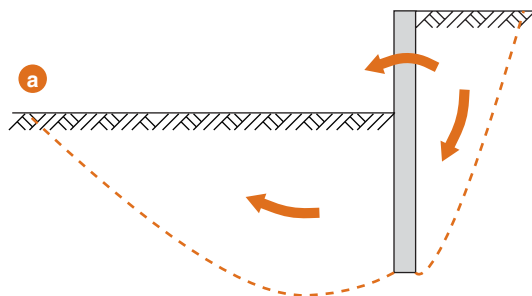
Dans le cas où le prédiagnostic fait craindre un risque imminent pour la sécurité des usagers et des tiers, des mesures de sauvegarde immédiates doivent être prises sans attendre l'aboutissement de la démarche de diagnostic (*cf.* fascicule 03 de l'ITSEOA).

C'est le cas par exemple de l'insuffisance de fiche due à un affouillement généralisé ou encore d'une rupture de tirants.

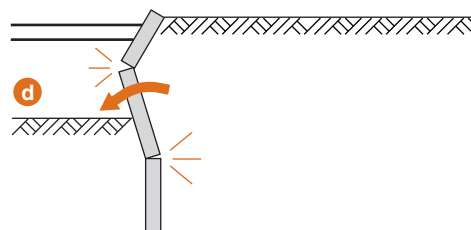
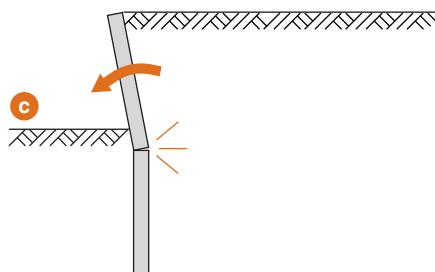
5.5 *Cotation IQOA*

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

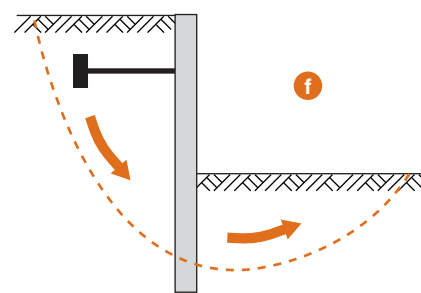
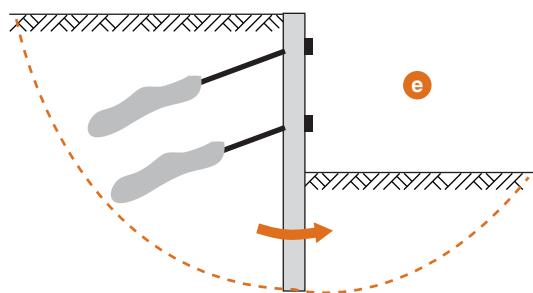
Insuffisance de la fiche et/ou insuffisance de butée (a, b)



Insuffisance du dimensionnement des palplanches (c, d)



Grand glissement (e, f)



Rupture de tirant ou de bouton (g, h)

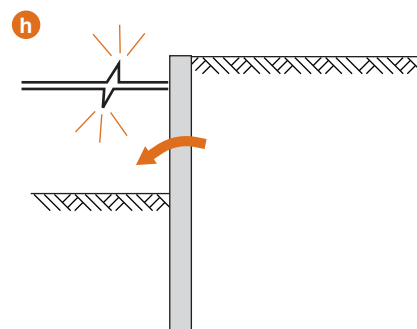
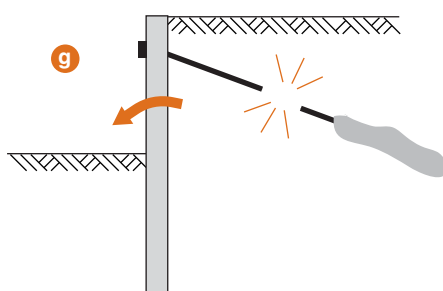
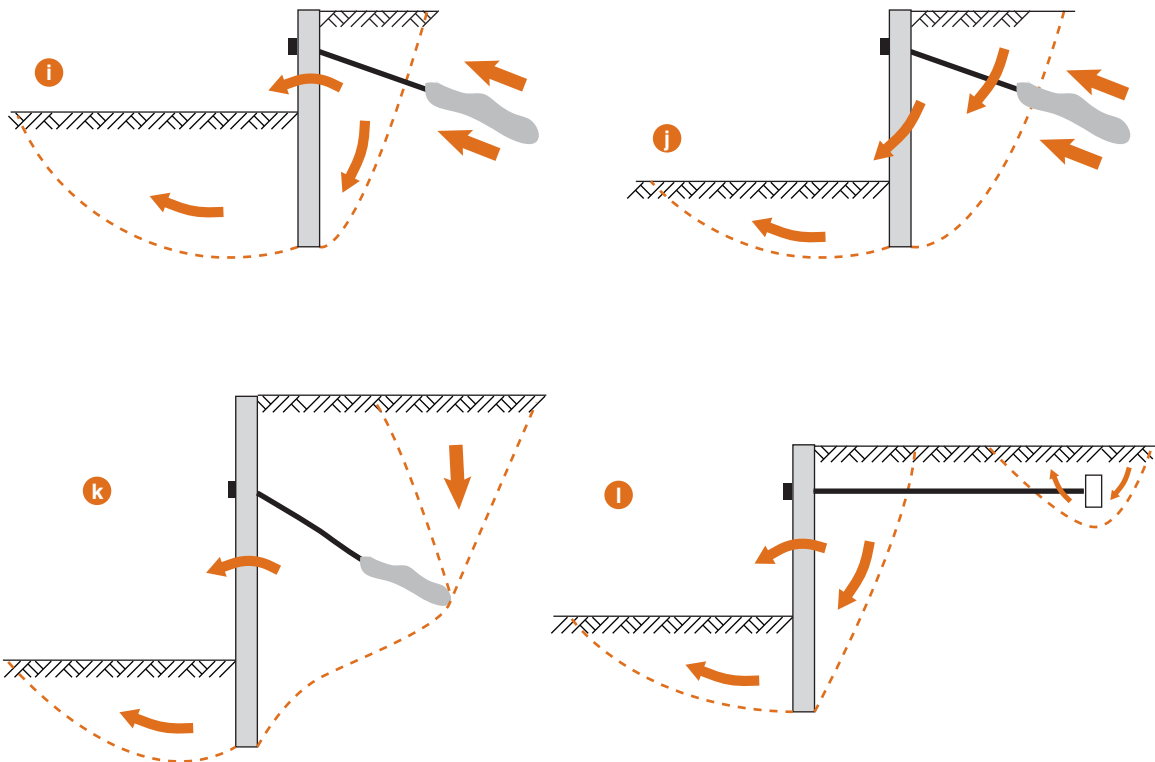


FIGURE 11

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

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



Insuffisance de capacité portante (m)

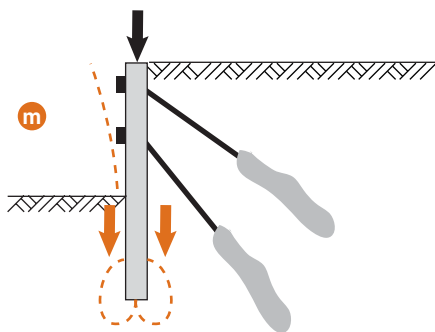


FIGURE 12

*Tirant rompu en arrière
de la tête d'ancrage*



*a. Déformation consécutive
à une rupture de tirant.*

b. Vues de la tête de tirant



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

La démarche qui permet, à partir de l'inspection détaillée, d'aboutir à un diagnostic de l'ouvrage est décrite par le synoptique donné en figure 13.

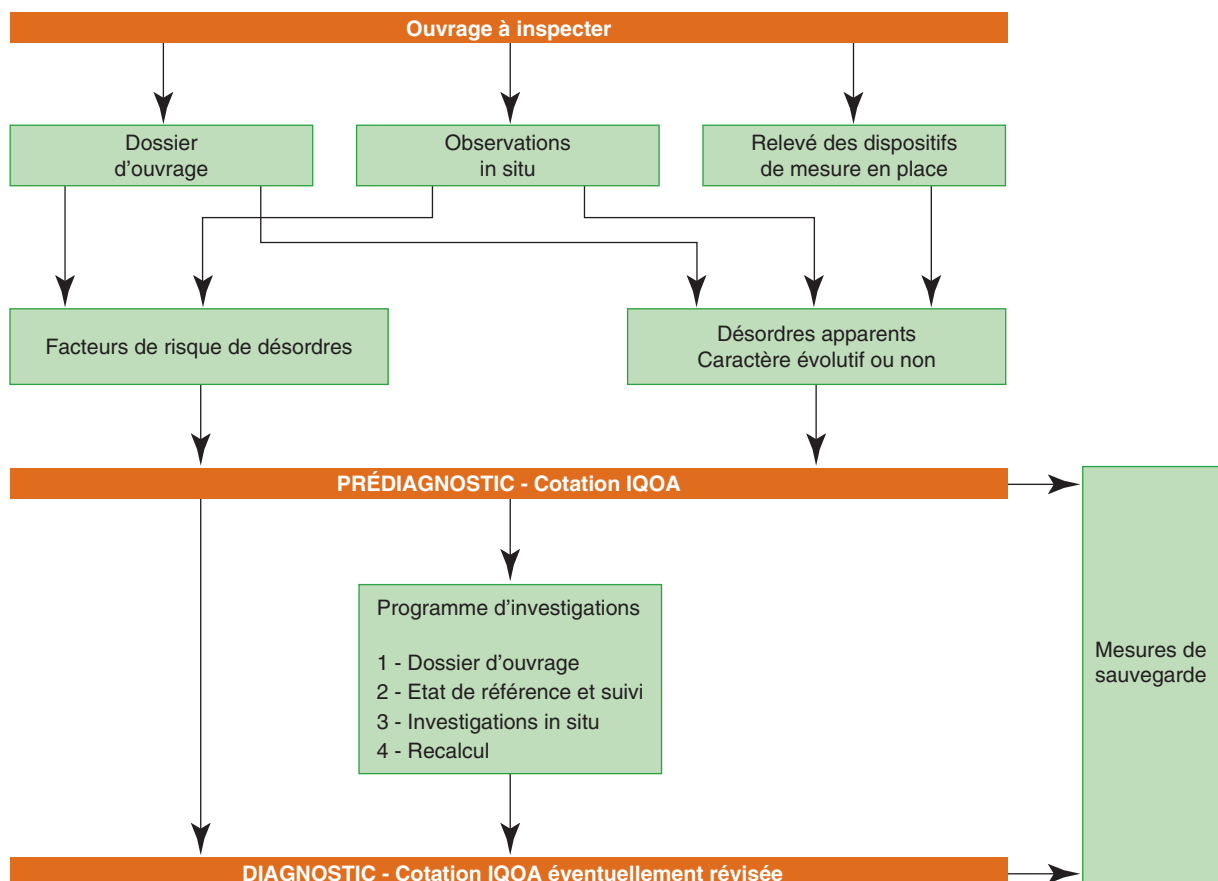


FIGURE 13 - Démarche de diagnostic.

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

6.2 *Du prédiagnostic au diagnostic*

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

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

Cette démarche de diagnostic comporte le plus souvent plusieurs étapes :

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

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

TABLEAU IV

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

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
CAS COMMUNS À L'ENSEMBLE DES RIDEAUX			
Insuffisance de fiche et/ou Insuffisance de butée	Défauts et désordres de type : S1 / S3 / S6 / S21 / S25 / Z1 / Z2 / Z11	Facteurs de risque de désordres éventuels : . sols ayant conduit à des difficultés de mise en œuvre . affouillements . ouverture de fouilles ou travaux à proximité . présence d'une nappe non prévue . évolution des sollicitations . sols évolutifs	1 - Dossier OA : . hauteur de fiche . incidents de mise en œuvre . hypothèses de calcul 2 - État de référence et suivi : . des déplacements de l'ouvrage . des fissures et des déformations du terrain 3 - Investigations <i>in situ</i> : . longueur en fiche (sondage et essais géophysiques) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (pose de piézomètres) . conditions d'exploitation 4 - Recalcul
Insuffisance de dimensionnement des palplanches (module)	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S10 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : . ouvrages de grande hauteur . présence d'une nappe . évolution des sollicitations . affouillements	1 - Dossier OA : . type de palplanches . assemblage (soudage ou pinçage par paire) . vérification sommaire du dimensionnement 2 - État de référence et suivi de la déformée des palplanches 3 - Investigations <i>in situ</i> : . profil des palplanches et conditions d'assemblage . nuance de l'acier (prélèvement) . contraintes dans l'acier (mesures par libération) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . niveau de la nappe (pose de piézomètres) 4 - Recalcul
Corrosion du rideau	Défauts et désordres de type : S11 / S12	Facteurs de risque de désordres éventuels : . site aquatique (marnage, site maritime) . sols particulièrement agressifs . eaux particulièrement agressives (nappes) . sels de déverglaçage (utilisation intensive) . environnement industriel . présence de courants vagabonds	1 - Dossier OA : . conditions de prise en compte des facteurs de risque de désordres recensés . examen des dispositions adoptées vis-à-vis de la corrosion (épaisseur sacrifiée, peinture anticorrosion) 2 - État de référence : . épaisseur d'acier résiduelle . état de la peinture anticorrosion le cas échéant 3 - Investigations <i>in situ</i> : . caractérisation physico-chimique du site . carottage d'un échantillon de palplanche et contrôle de l'état de corrosion côté terrain 4 - Recalcul si nécessaire et pronostic sur l'évolution du phénomène

TABLEAU IV (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
CAS COMMUNS À L'ENSEMBLE DES RIDEAUX (suite)			
Risque de corrosion du rideau	Absence de défauts et désordres apparents (corrosion du rideau par l'arrière)	Facteurs de risque de désordres identifiés* : <ul style="list-style-type: none"> . site aquatique (marnage, site maritime) . sols particulièrement agressifs . eaux particulièrement agressives (nappe) . sels de déverglaçage (utilisation intensive) . environnement industriel . présence de courants vagabonds 	1 - Dossier OA : <ul style="list-style-type: none"> . conditions de prise en compte des facteurs de risques de désordres recensés . dispositions adoptées le cas échéant vis-à-vis de la corrosion (épaisseur sacrifiée, peinture anticorrosion) 2 - État de référence : <ul style="list-style-type: none"> . épaisseur d'acier résiduelle . état de la peinture anticorrosion le cas échéant 3 - Investigations <i>in situ</i> : <ul style="list-style-type: none"> . caractérisation physico-chimique du site . carottage d'un échantillon de palplanche et contrôle de l'état de corrosion côté terrain 4 - Recalcul si nécessaire et pronostic sur l'évolution du phénomène
Insuffisance de rigidité en plan	Défauts et désordres de type : S6 / S17 / S18 / S21	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . sollicitations excessives (surcharges en tête, chocs, etc.) . sols hétérogènes 	1 - Dossier OA : <ul style="list-style-type: none"> . analyse des dispositions de rigidification horizontale (lierne, poutre de couronnement, etc.) 2 - État de référence et suivi : <ul style="list-style-type: none"> . déplacement . déformation de l'ouvrage . fissuration et déformation du terrain 3 - Investigation <i>in situ</i> : <ul style="list-style-type: none"> . identification du profilé des liernes (géométrie et nuance) et des dispositions d'assemblage . vérification du ferrailage de la poutre de couronnement, en cas de désordre sur cette dernière . conditions d'exploitation 4 - Recalcul des liernes
Grand glissement	Défauts et désordres de type : S2 / S6 / S21 / Z1 / Z2 / Z4 / Z6 / Z9 / Z11	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . ouvrages sur pente . présence d'une nappe susceptible d'évoluer de façon défavorable en particulier (crues et décrues importantes, inondations) . sols évolutifs . sols argileux 	1 - Dossier OA : <ul style="list-style-type: none"> . vérification sommaire du calcul de stabilité 2 - État de référence et suivi : <ul style="list-style-type: none"> . déplacements de l'ouvrage (suivi inclinométrique et topométrique) . suivi de la nappe (suivi piézométrique) . déformations du terrain (fissures, bourrelets, etc.) 3 - Investigations <i>in situ</i> : <ul style="list-style-type: none"> . hypothèses géotechniques (sondages et essais) 4 - Recalcul : <ul style="list-style-type: none"> . stabilité au grand glissement

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

TABEAU IV (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
CAS DES RIDEAUX ANCRÉS PAR TIRANTS PASSIFS			
Rupture des tirants	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S6 / S17 / S18 / S21 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . sols évolutifs (tassements) . sols particulièrement agressifs . eaux particulièrement agressives (nappes) . sels de déverglaçage (utilisation intensive) . sollicitations excessives . site aquatique (affouillements, marnage) . terrains gélifs 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . nature, technologie, conditions de réalisation et disposition des tirants . conditions de mise en œuvre des remblais . contexte géotechnique . conditions de prise en compte des facteurs de risque de désordres recensés . examen des dispositions adoptées vi-à-vis de la corrosion (épaisseur sacrifiée, peinture anticorrosion) <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . mise en place d'une surveillance (déplacements : tirants, rideau ; déformation : terrain, etc.) <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . validation de la rupture (essais de traction, ultrasons, fouilles, etc.) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . caractérisation physico-chimique du site . suivi piézométrique de la nappe . conditions d'exploitation <p>4 - Recalcul :</p> <ul style="list-style-type: none"> . pronostic sur l'évolution
Risque de rupture des tirants	Absence de désordre apparent	Facteurs de risque de désordres identifiés* : <ul style="list-style-type: none"> . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives (nappe) . sels de déverglaçage (intense) . sollicitations excessives . site aquatique (affouillements, marnage) 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . nature, technologie, conditions de réalisation et disposition des tirants . conditions de mise en œuvre des remblais . contexte géotechnique . conditions de prise en compte des facteurs de risque de désordres recensés . examen des dispositions prises vis-à-vis de la corrosion <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . mise en place d'une surveillance (déplacements : tirants, rideau ; déformation : terrain, etc.) <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . caractérisation physico-chimique du site . tête d'ancrage . tirant (fouille) <p>4 - Recalcul :</p> <ul style="list-style-type: none"> . pronostic sur l'évolution
	Défauts et désordres de type : S14 / S15 / Z2 / Z12	Facteurs de risque de désordres identifiés* : <ul style="list-style-type: none"> . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives (nappe) . sels de déverglaçage (intense) . sollicitations excessives . site aquatique (affouillements, marnage) 	
Défaillance du massif d'ancrage	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S6 / S17 / S18 / S21 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . sols argileux 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . configuration du massif d'ancrage (dispositions technologiques, conditions de mise en œuvre) <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . déplacements de la structure . fissuration et déformation du terrain <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . sur les tirants (fouille, essai de traction, etc.) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . suivi piézométrique de la nappe <p>4 - Recalcul</p>

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

TABLEAU IV (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
CAS DES RIDEAUX ANCRÉS PAR TIRANTS ACTIFS			
Rupture des tirants	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S6 / S17 / S18 / S21 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants d'ancrage anciens (risque de corrosion fissurante sous tension) . site aquatique (marnage) . terrains gélifs 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . nature, technologie, conditions de réalisation et disposition des tirants . contexte géotechnique . conditions de prise en compte des facteurs de risques de désordres recensés . examen des dispositions vis-à-vis de la corrosion <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . mise en place d'une surveillance (déplacements : tirants, rideau ; déformation : terrain, etc.) <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . validation de la rupture (pesage des tirants, ultrasons, fouilles) . hypothèses géotechniques (sondages et essais) . caractérisation physico-chimique du site . suivi de la nappe (piézométrie) . conditions d'exploitation <p>4 - Recalcul :</p> <ul style="list-style-type: none"> . pronostic sur l'évolution
Risque de rupture des tirants	Absence de défauts et désordres apparents	Facteurs de risque de désordres identifiés* : <ul style="list-style-type: none"> . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens . site aquatique (marnage) . sollicitations excessives 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . nature, technologie, conditions de réalisation et disposition des tirants . conditions de prise en compte des facteurs de risque de désordres recensés . contexte géotechnique . examen des dispositions vis-à-vis de la corrosion <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . mise en place d'une surveillance (déplacements : tirants, rideau ; déformation : terrain, etc.)
	Défauts et désordres de type : S14 / S15 / Z2 / Z12	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . sols évolutifs (tassements) . sols agressifs . eaux agressives . sels de déverglaçage (intense) . tirants anciens . site aquatique (marnage) . sollicitations excessives 	<p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . pesage des tirants . caractérisation physico-chimique du site . nature et état de la protection vis-à-vis de la corrosion . suivi de la nappe (piézométrie) . conditions d'exploitation <p>4 - Recalcul : pronostic sur l'évolution</p>
Rupture ou fluage du massif de scellement	Défauts et désordres de type : S1 / S5 / S6 / S17 / S18 / S21 / Z1 / Z2	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> . sols argileux 	<p>1 - Dossier OA :</p> <ul style="list-style-type: none"> . contexte géotechnique . conditions de mise en œuvre et anomalies constatées . essais de tirants réalisés lors de l'exécution de l'ouvrage . vérification sommaire du dimensionnement de l'OA <p>2 - État de référence et suivi :</p> <ul style="list-style-type: none"> . déplacements de la structure . déformation, fissuration du terrain <p>3 - Investigations <i>in situ</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> . pesage des tirants . hypothèses géotechniques (sondages et essais) <p>4 - Recalcul</p>

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

TABLEAU IV (SUITE)

Prédiagnostic	Défauts et désordres associés	Facteurs de risque de désordres associés	Programme d'investigations
CAS DES OUVRAGES SOUMIS À DES EFFORTS VERTICAUX EN TÊTE			
Insuffisance de capacité portante	Défauts et désordres de type : S1 / S4	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> sollicitations particulières (surcharges en tête) sols évolutifs (frottement négatif causé par la consolidation du terrain) tirants actifs fortement inclinés 	1 - Dossier OA : <ul style="list-style-type: none"> contexte géotechnique analyse des conditions de mise en œuvre (carnet de battage) vérification sommaire du dimensionnement de l'OA 2 - État de référence et suivi : <ul style="list-style-type: none"> nivellement, déplacement de la structure 3 - Investigations <i>in situ</i> : <ul style="list-style-type: none"> hypothèses géotechniques (sondages et essais) évaluation de l'effort vertical par pesage (pesée de réaction d'appui pour une culée d'OA, etc.) 4 - Recalcul
Flambement ou risque de flambement	Défauts et désordres de type : S1 / S5	Facteurs de risque de désordres éventuels : <ul style="list-style-type: none"> sollicitations particulières (surcharges en tête) tirants actifs fortement inclinés ouvrages de grande hauteur présence d'une nappe 	1 - Dossier OA : <ul style="list-style-type: none"> type de palplanches constatations effectuées à la mise en œuvre assemblage (soudage ou pincage par paires) vérification sommaire du dimensionnement 2 - État de référence et suivi de la déformée des palplanches 3 - Investigations <i>in situ</i> : <ul style="list-style-type: none"> profil de palplanches et conditions d'assemblage nuance de l'acier (prélèvement) contraintes dans l'acier (mesures par libération) hypothèses géotechniques (sondages et essais) niveau de la nappe (pose de piézomètre) évaluation de l'effort vertical par pesage 4 - Recalcul

6.3 Techniques d'investigation

6.3.1 Suivi des déformations d'ensemble

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

On peut aussi fixer sur les palplanches 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 rideau de palplanches avec une précision de 10⁻⁴ rd.

6.3.2 Corrosion des palplanches

La détermination de l'état de la protection anticorrosion des palplanches passe en premier lieu par l'évaluation de la dégradation des revêtements de peinture. À partir des clichés types de la

norme ISO 4628, en comparant visuellement l'intensité, la quantité et la dimension des dégradations relevées aux défauts types, on peut quantifier le degré de cloquage, d'enrouillement, de craquelage, d'écaillage et de farinage.

La mesure d'épaisseur d'acier par ultrasons permet de déterminer l'épaisseur résiduelle de métal avec une précision de 1/10^e de millimètre. En réalisant une campagne de mesures sur l'ensemble de la surface, on peut dresser une cartographie de l'état des sections de palplanches. Cet exercice reste toutefois délicat compte tenu du caractère fortement irrégulier que présentent généralement les surfaces corrodées (présence de piqûres, cratères, etc.). Les mesures nécessitent au préalable de mettre à nu la structure par un décapage à l'abrasif (à noter qu'il existe des mesureurs d'épaisseurs capables de prendre en compte la protection anticorrosion par peinture). Afin d'obtenir des mesures fiables, cet essai non destructif doit être réalisé par du personnel qualifié, sachant par ailleurs que du choix du palpeur, et de son étalonnage, dépend la qualité des mesures.

En cas de difficultés techniques, la réalisation d'un carottage à l'aide d'une petite scie-cloche reste une solution simple et fiable, qui permet à la fois d'examiner la face cachée de la palplanche et de faire un prélèvement de sol.

Enfin, lorsque l'on est en présence d'échantillons fortement corrodés, il est possible, pour un spécialiste, par un essai de spectrométrie à infra-rouge de déterminer si le type d'oxyde est dû à un milieu de nature acide ou basique (essai de laboratoire).

6.3.3 Géométrie et nature des palplanches

Lorsque les caractéristiques de l'acier des palplanches de l'ouvrage inspecté ne sont pas connues, on prélève un ou plusieurs échantillons (de dimensions unitaires de l'ordre de 30 cm de long et 10 cm de large) selon les possibilités. À partir de ces échantillons, on réalise des essais de traction afin de déterminer les caractéristiques mécaniques (limite élastique, limite à la rupture) et l'on peut aussi réaliser une analyse chimique et métallographique afin de déterminer la soudabilité de l'acier si des travaux de soudure s'avéraient nécessaires. Si la configuration ou le fonctionnement de l'ouvrage ne permettaient pas de faire des prélèvements, il est envisageable de réaliser sur le site les essais non destructifs suivants :

- essais de dureté permettant à partir d'un tableau de correspondance de donner une valeur approchée de la nuance d'acier - NF A 03-173,
- analyse chimique par spectroémission portable.

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

La méthode actuellement utilisée pour déterminer la longueur en fiche des palplanches consiste à introduire dans un tube foré devant l'ouvrage un capteur tridirectionnel constitué de trois géophones, puis à frapper avec une masse sur le haut de la palplanche. En déplaçant le capteur dans le tube, il est possible de déterminer la longueur de palplanche avec une précision de 0,5 mètre.

On peut par ailleurs être amené à rechercher la présence éventuelle de caissons de palplanches incorporés au rideau. Cela peut être effectué en dégageant la tête du rideau, lorsque cette dernière est accessible, ce qui est généralement le cas.

6.3.4 Contraintes dans les palplanches

Si l'on désire connaître l'état de sollicitation des palplanches, on peut envisager de déterminer les contraintes internes par la « méthode des saignées ». Il s'agit de coller une jauge d'extensométrie sur la structure, puis en réalisant des saignées de chaque côté de la jauge, on

vient libérer les contraintes internes. Leur intensité est connue par différence de lecture des déformations de la jauge entre les deux étapes. Cette méthode peut toutefois donner des résultats décevants, les contraintes résiduelles de laminage pouvant perturber les mesures.

6.3.5 Tirants

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

- ceux sollicités en permanence, de type cale dynamométrique ;
- ceux sollicités au moment de la mesure de la tension (vérins de traction, contrôles ultrasons applicables à la détection de rupture de tirant à proximité de la tête d'ancrage).

Les conditions d'application de ces techniques sont définies dans le fascicule relatif aux voiles et poutres ancrés.

6.3.6 Grands glissements

La détection de pathologies d'un écran en relation avec un grand glissement nécessite la mise en œuvre combinée d'un suivi topographique et de mesures inclinométriques (Fig. 14), pour déterminer la géométrie du glissement, ainsi que d'études de sol pour caractériser le phénomène.

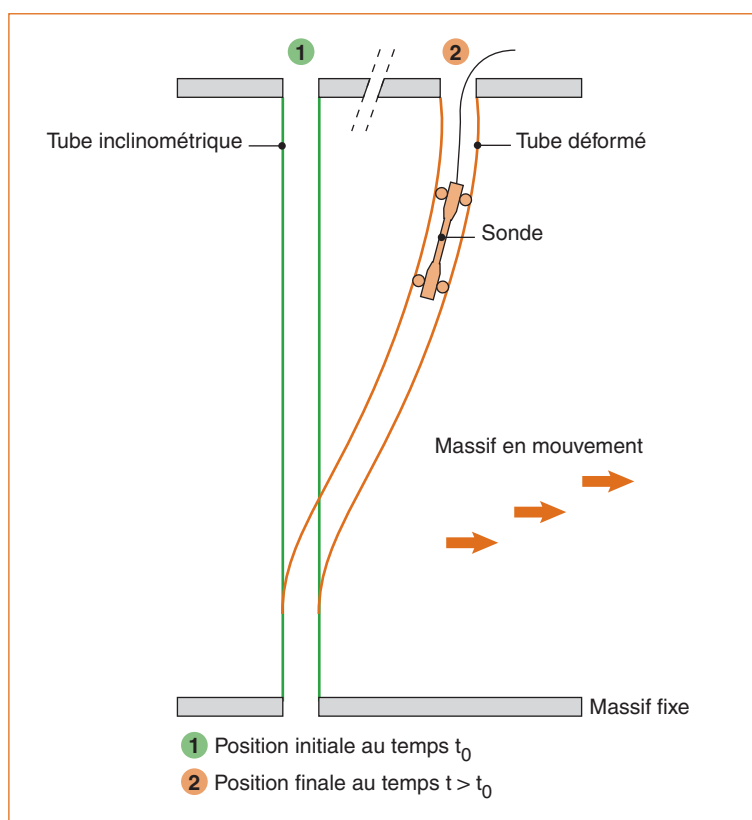


FIGURE 14 - Schéma de principe de la mesure par tube inclinométrique.

Concernant les mesures inclinométriques, la méthode consiste à introduire dans un tube préalablement scellé dans le terrain ou au sein de la structure, une sonde inclinométrique, et à mesurer l'angle que fait, à une profondeur donnée, l'axe de l'élément du tube guide avec la verticale (la résolution de la mesure est de l'ordre de 1×10^{-4} radian).

6.3.7 Sols

Les méthodes de dimensionnement en usage des écrans de soutènement nécessitent de connaître les coefficients de poussée et de butée du sol, ainsi que ses coefficients de réaction. Afin de les obtenir, on réalise le plus souvent les essais suivants :

- à partir des prélèvements de sol obtenus par carottage, l'essai à la boîte de cisaillement ou l'essai triaxial permet, en laboratoire, de déterminer la cohésion du sol et son angle de frottement interne, en conditions drainées (caractéristiques effectives ϕ' et c') et, le cas échéant, en conditions non drainées (cohésion apparente c_u) ; de ces paramètres sont déduits les coefficients de poussée et de butée du sol ;
- l'essai pressiométrique est un essai en place qui permet d'évaluer des caractéristiques de déformabilité et de résistance au cisaillement du sol en dilatant dans un forage une sonde cylindrique ; ces caractéristiques permettent d'évaluer les coefficients de réaction du sol sur l'écran.

D'autre part, il peut être nécessaire de connaître les caractéristiques chimiques et électrochimiques du sol afin d'évaluer les facteurs de corrosion. On déterminera en laboratoire :

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

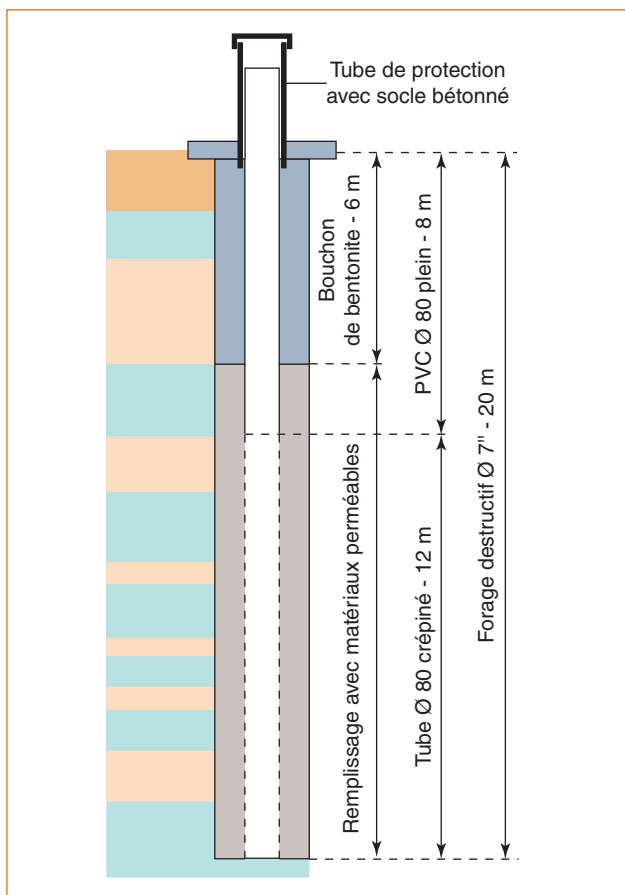


FIGURE 15 - Exemple de piézomètre (tube ouvert).

6.3.8 Nappe

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

Dans le cas où les terrains sont perméables, les piézomètres sont en général constitués d'un tube en PVC (diamètre 50 mm environ) mis en place dans un forage (Fig. 15). La partie du tube située au niveau de mesure est crépinée, et un bouchon d'argile posé dans le forage, au-dessus de la partie crépinée, vient empêcher les arrivées d'eau par le haut. La tête du tube est fermée par un bouchon, et maintenue par un scellement. Pour les mesures de la charge hydraulique, on vient simplement mesurer le niveau atteint dans le tube au moyen d'une sonde.

Dans le cas des 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.

6.4 *Recalcul de l'ouvrage*

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

7. **Entretien et réparation***

7.1 *Entretien courant*

L'entretien courant des ouvrages en palplanches 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.

7.2 *Entretien spécialisé*

L'entretien spécialisé concerne essentiellement, le cas échéant, l'étanchéité des têtes de tirants et la remise en peinture des palplanches.

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

Concernant le système de peinture, lorsqu'il s'avère trop altéré, il y a lieu de procéder à des investigations complémentaires basées sur les essais suivants :

- mesure de l'épaisseur résiduelle du revêtement en utilisant un appareil à flux électromagnétique ;
- essai de traction sur la protection anticorrosion (selon la norme NF EN 24-624) qui permet de déterminer par arrachement d'une pastille collée l'adhérence du film, ou de détecter une décohésion des différentes couches du système de protection ;
- détection de la porosité, ce qui permet de dire si le film est étanche ou non ;
- identification de la peinture (essai au solvant) : en appliquant sur la surface, au chiffon, différents solvants (white spirit, xylène, etc.), on détermine le type de séchage de la protection existante - voie physique, oxydation ou réticulation - d'où le type de la nouvelle protection à appliquer.

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

À l'issue de ces essais, on pourra faire le choix du revêtement et de sa mise en œuvre. Deux solutions sont possibles après analyse de l'état du revêtement en place :

- soit on procède à une mise à nu complète des palplanches par un décapage par projection d'abrasif, puis on applique un système certifié ACQPA déterminé selon l'environnement et la destination de l'ouvrage. Le degré de soin du décapage et la mise en œuvre seront réalisées suivant la fiche de certification des produits utilisés ;
- soit - suite à un essai de convenance pour avivage - on traite les zones oxydées (mise à nu et retouches), on avive les parties saines, puis on recouvre l'ensemble avec un revêtement identique à celui d'origine si ce dernier a apporté une protection fiable, ou avec un revêtement certifié, compatible avec l'existant.

La mise en œuvre de ces méthodes nécessite des dispositions particulières de protection de l'environnement concernant les produits de décapage.

7.3 Réparations

Les principales réparations que l'on peut être amené à effectuer sur un écran de palplanches concernent :

- l'ajout d'appuis complémentaires, soit pour renforcer la structure soit en cas de défaillance de tirants existants ;
- la mise en place d'éléments de raccord entre palplanches ;
- l'injection de terrain à l'arrière des palplanches, en cas de fuite de sol dû à un dégrafage ;
- la mise en place de liernes pour rigidification ;
- le renfort d'inertie par ajouts de plats sur les palplanches ;
- la restauration de la structure à partir d'éléments rapportés, en cas d'altération locale (chocs, incendie) ;
- le rétablissement des fonds devant l'ouvrage en cas d'affouillements et la mise en place de dispositifs anti-affouillements (enrochements, gabions, etc.).

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

8. Bibliographie

Normes

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

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

NF 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 A 35-520, Produits sidérurgiques. Palplanches Larssen. Nuances d'aciers (annulé le 05/12/1995), avril **1987**.

- NF A 35-520**, Palplanches - Nuance d'acier (annulé le 20/04/1987), novembre **1982**.
- NF A 35-520**, Palplanches - Nuance d'acier (annulé le 08/11/1982), novembre **1975**.
- NF EN 10020**, Définitions et classification des nuances d'acier, **1988**.
- NF EN 10248-1**, Palplanches laminées à chaud en aciers non alliés. Partie 1 : conditions techniques de livraison (A 35-520), décembre **1995**.
- NF EN 10248-2**, Palplanches laminées à chaud en aciers non alliés. Partie 2 : tolérances sur forme et dimensions (A 35-520), décembre **1995**.
- NF EN 10249-1**, Palplanches profilées à froid en aciers non alliés. Partie 1 : conditions techniques de livraison (A 37-201), décembre **1995**.
- NF EN 10249-2**, Palplanches profilées à froid en aciers non alliés. Partie 2 : tolérances sur forme et dimensions (A 37-201), décembre **1995**.
- NF A 40-001**, Définition et classification des produits sidérurgiques proprement dits par formes et dimensions (annulé le 20/12/1992), octobre **1984**.
- NF A 40-001**, Définition et classification des produits sidérurgiques proprement dits par formes et dimensions (annulé le 20/10/1984), mars **1982**.
- NF A 40-001**, Définition et classification des produits sidérurgiques proprement dits par formes et dimensions (annulé le 10/03/1982), mai **1969**.
- NF A 45-020**, Produits sidérurgiques. Palplanches Larssen. Dimensions et tolérances (annulé le 05/12/1995), juin **1990**.
- NF A 45-020**, Produits sidérurgiques. Palplanches Larssen. Dimensions et tolérances (annulé le 05/06/1990), octobre **1984**.
- NF A 45-020**, Produits sidérurgiques. Palplanches Larssen. Dimensions et tolérances (annulé le 05/10/1984), novembre **1975**.
- NF A 45-021**, Produits sidérurgiques. Palplanches plates. Dimensions et tolérances (annulé le 05/12/1995), juin **1990**.
- NF A 45-021**, Produits sidérurgiques. Palplanches plates. Dimensions et tolérances (annulé le 05/05/1990), octobre **1984**.
- FD A 45-025**, Produits en acier. Palplanches laminées à chaud en aciers non alliés. Dimensions et caractéristiques des sections (A 45-025), décembre **1999**.
- NF A 45-030**, Produits en acier. Palplanches en acier profilées à froid. Formes, dimensions et tolérances (annulé le 05/12/1995), septembre **1991**.
- FD A 45-035**, Produits en acier. Palplanches profilées à froid en aciers non alliés. Dimensions et caractéristiques des sections (A 45-035), décembre **1999**.
- NF EN 12063**, Exécution de travaux géotechniques spéciaux. Rideaux de palplanches (P 94-322), août **1999**.
- NF EN 1537**, Exécution de travaux géotechniques spéciaux. Tirants d'ancrage (P 94-321), avril **2000**.

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 ».

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

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

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

Documents guides

CCTP type Protection cathodique par courant imposé, Compiègne : CETMEF.

Protection cathodique, Notice STC.PM n° 78.8, Compiègne : CETMEF.

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

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

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

Mise en œuvre des palplanches métalliques, Guide de chantier Niveau 3 - Fascicule 3.6, Bagneux : SETRA, septembre **1976**.

Palplanches métalliques - Recommandations et règles de l'art, Document du SETRA/CTOA non publié, Bagneux : SETRA, projet de septembre **1985**, 129 p.

Recommandations pour la conception et le calcul des rideaux de palplanches métalliques non ancrés, Notice VN n° 74.06, Compiègne : CETMEF, octobre **1974**.

Recommandations pour le calcul et la conception des ouvrages en palplanches métalliques ancrés, Notice VN n° 76.05 bis, Compiègne : CETMEF, décembre **1976**.

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

Recommandations TA95 concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage, Recommandations du Comité Français de Mécanique des Sols, Paris : Eyrolles, **1995**, 151 p.

Tirants d'ancrage - Recommandations et règles de l'art, Projet de document du SETRA/CTOA non publié, Bagneux : SETRA.

Documents des producteurs

HOUY A., *Calcul des ouvrages en palplanches métalliques*, Metz : Wendel-Sidelor, **1970**, 115 p.

HOUY A., *Dimensionnement des ouvrages en palplanches en acier*, Metz : Imp. Gueblez, **1986**, 492 p.

Catalogue des palplanches en acier Larssen, RZ, Rombas, Documentation technique SACILOR, avril **1977**, 82 p.

Catalogue des palplanches en acier Larssen, RZ, Rombas, Documentation technique SACILOR, avril **1982**, 100 p.

Catalogue des palplanches en acier Larssen, RZ, Rombas et des pieux PH, Documentation technique UNIMETAL, **1989**, 96 p.

Guide pratique pour l'utilisation des palplanches métalliques, Documentation technique SACILOR, 3e édition, **1983**, 96 p.

Le rideau de palplanches étanche - Partie 1 : approche théorique, Notice d'information - Partie 2 : approche pratique, Documentation technique ProfilArbed, 44 p.

Mise en œuvre des palplanches en acier, Documentation technique TESPAS, **1995**, 98 p.

Palplanches - Pieux, Documentation technique ProfilArbed, **1995**, 66 p.

Palplanches profilées à froid, Documentation technique ProfilArbed, **1995**, 10 p.

Logiciels

Logiciel CARPE de calcul des rideaux de palplanches, Bagneux : SETRA.

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

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

Logiciels XPSOL et XPLAN de calcul des rideaux de palplanches, Compiègne : CETMEF.

ANNEXE I

Catalogue des défauts et désordres apparents

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

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

Zone d'influence

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

N°	Défauts et désordres observables	Illustrations	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN PARTIE SUPÉRIEURE DE L'OUVRAGE			
Z1	Fissuration du terrain parallèle au rideau		Nature du matériau du massif soutenu (effet de la sécheresse) Mouvement d'ensemble de l'ouvrage et/ou inclinaison vers l'aval Rupture de tirant(s) À rapprocher du défaut S1	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z2	Tassement du terrain en tête du rideau		Nature du matériau du massif soutenu (érodable, effet de la sécheresse) Inclinaison de l'écran vers l'aval Consolidation du terrain soutenu ou de couches sous-jacentes Entraînement de fines Rupture d'un ouvrage enterré dans le terrain soutenu Rupture d'une canalisation implantée dans le massif soutenu	Phénomène localisé ou étendu Caractère évolutif Risque de rupture de canalisations enterrées
Z3	Effondrement local du terrain soutenu		Formation d'une cavité par entraînement des fines à travers l'écran Rupture d'une canalisation implantée dans le massif soutenu (cf. présence défaut S8, S9 et S14)	Importance de l'effondrement
Z4	Bourrelets de terrain		Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu
Z5	Érosion, ravinement du sol		Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux de surface	Phénomène localisé ou étendu Présence de stockage de matériau en tête (éboulis, blocs)
Z6	Inclinaison anormale d'arbres, poteaux		Glissement d'ensemble	L'inclinaison de poteaux ou de candélabres en partie supérieure d'ouvrage est un signe inquiétant si elle s'est produite récemment
Z7	Présence de végétation nuisible			
Z8	Présence de surcharges Accumulation de matériaux ou constructions récentes stockés ou construites dans la zone d'influence de l'ouvrage			

N°	Défauts et désordres observables	Illustrations	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ZONE D'INFLUENCE EN CONTREBAS DE L'OUVRAGE			
Z9	Fissuration du terrain parallèle au rideau		Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse) Déversement vers l'aval de l'ensemble de l'ouvrage Glissement d'ensemble du terrain à l'aval de l'ouvrage	Continuité et ouverture des fissures Présence et importance d'un rejet
Z10	Tassement du terrain en pied du rideau		Nature du matériau du massif d'assise (effet de la sécheresse)	Phénomène localisé ou étendu
Z11	Bourrelets de terrain		Mouvement en pied du rideau Mouvement général, révélateur d'un glissement d'ensemble de l'ouvrage À rapprocher du défaut S3	Phénomène localisé ou étendu
Z12	Érosion, affouillement, ravinement du sol - Excavations en pied d'ouvrages		Instabilité du terrain superficiel aggravé par un défaut du système d'évacuation des eaux dans la zone d'influence de l'ouvrage Phénomènes hydrodynamiques Ouverture de fouilles en pied d'ouvrage	Phénomène localisé ou étendu Risque de défaut de butée
Z13	Inclinaison anormale d'arbres, poteaux		Glissement d'ensemble	(cf. Z6)
Z14	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

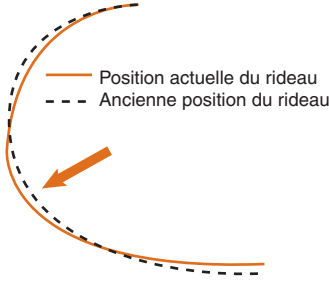

Il est rappelé que, dans le cas des ouvrages en palplanches, le terrain soutenu est rarement drainé, mais au contraire, qu'une étanchéité du rideau est plus généralement recherchée.

N°	Défauts et désordres observables	Illustrations	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DRAINAGE INTERNE À L'OUVRAGE			
D1	Ruissellement d'eau, efflorescence, concrétion, trace de corrosion due à des écoulements d'eau sur les palplanches		Infiltration des eaux de ruissellement Défaut d'étanchéité des joints de palplanches Défaut de fonctionnement des dispositifs de drainage interne Le cas échéant, sous-dimensionnement du drainage interne	Caractère plus ou moins étendu
D2	Écoulement de fines du matériau de remblai (présence de coulure au niveau des débouchés des barbacanes ou des dégrafages de palplanches)		Défaut d'étanchéité des joints de palplanches Dégrafage des palplanches Granulométrie du matériau de remblai mal adaptée Le cas échéant, défaut de conception ou de réalisation du système drainant derrière l'écran	
D3	Le cas échéant, altération du système de drainage interne (colmatage des barbacanes ou des drains, présence de végétation obturant le dispositif)		Défaut de réalisation du dispositif (absence de matériau filtrant, de drain derrière l'écran) Colmatage volontaire ou naturel, vandalisme	
	ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE DE L'OUVRAGE			
D4	Stagnation d'eau		Absence ou défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux	
D5	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux (dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.)		Défaut d'entretien Tassement	Ruissellement d'eau contenant des agents agressifs
	ASSAINISSEMENT EN PARTIE SUPÉRIEURE DE L'OUVRAGE			
D6	Stagnation d'eau		Absence ou défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux	
D7	Défaut du dispositif de collecte et d'évacuation des eaux (dégradation, colmatage, mauvaise conception, etc.)		Défaut d'entretien Tassement	Stagnation d'eau contenant des agents agressifs

Structure

N°	Défauts et désordres observables*	Illustrations	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENTS/ DÉFORMATIONS DE L'ÉCRAN			
S1	Inclinaison anormale vers l'aval		Insuffisance de fiche pour les ouvrages non ancrés (d'origine, à la suite d'affouillements, d'ouverture de fouilles en pied, etc.) Défaut d'exécution (refus prématuré, etc.) Défaillance des ancrages Sollicitations excessives	Importance relative de la rotation
S2	Inclinaison anormale vers l'amont		Glissement d'ensemble de l'ouvrage Défaut de mise en œuvre	Présence de fissures en partie supérieure de l'écran ou de bourrelets à l'aval (cf. Z1)
S3	Déplacement en pied (concerne généralement les rideaux maintenus en tête)		Insuffisance de fiche (cf. S1 pour les origines possibles)	
S4	Déplacement vertical (cas des rideaux supportant des charges verticales, culées de pont, rideaux comportant des tirants d'ancrage précontraints très inclinés par exemple)		Capacité portante du sol insuffisante Excès de charge verticale Présence d'efforts parasites	Compatibilité du déplacement vertical avec les déformations admissibles par la plate-forme soutenue ou les structures associées
S5	Flèche excessive (cas des rideaux ancrés)		Sous-dimensionnement (poussée excessive, sous-dimensionnement des palplanches, mauvais espacements des nappes de tirants, etc.) Glissement dans les serrures Défaut de drainage Rupture d'un ancrage dans une nappe de tirants inférieurs Excès de charge verticale générant un flambement des palplanches	Très grave s'il s'agit de flambement

* Certains défauts peuvent être difficilement observables.

N°	Défauts et désordres observables	Illustrations	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	DÉPLACEMENTS/DÉFORMATIONS DE L'ÉCRAN (SUITE)			
S6	Déformation en plan	 <p>— Position actuelle du rideau - - - Ancienne position du rideau</p>	<p>Espacement trop important des tirants Rigidité insuffisante des liernes et de la poutre de couronnement Défaillance d'un tirant Hétérogénéité des poussées Affouillement, ouverture de fouilles Insuffisance de fiche</p>	Proximité d'un ancrage
	DÉFAUTS ET DÉSORDRES DE L'ÉCRAN			
S7	Déchirure		<p>Choc Contraintes locales trop importantes au voisinage d'une tête d'ancrage notamment Mauvaise exécution Mauvaise manutention</p>	<p>Longueur, ouverture</p> <p>Proximité d'un ancrage</p> <p>Présence d'eau Fuite de matériaux</p>
S8	Défaut d'enclenchement de serrure, dégrafage		Mauvaise exécution	<p>Importance du dégrafage Présence d'eau</p> <p>Fuite de matériaux</p>
S9	Poinçonnement, déformation locale		<p>Contraintes locales trop importantes au voisinage d'une tête d'ancrage Choc Mauvaise exécution</p>	Proximité d'un ancrage
S10	Voilement des ailes affectant à un même niveau plusieurs palplanches		Sous-dimensionnement (poussée excessive, sous-dimensionnement des palplanches, etc.)	
	ALTÉRATION DES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES PALPLANCHES			
S11	Défaut de la protection anti-corrosion (écaillage, cloquage, faïençage, etc.)		<p>Mauvaise exécution de la protection Actions physico-chimiques du milieu ambiant Conditions climatiques Déformations locales ou déchirures conduisant à une altération de la protection Choc Défaut d'entretien</p>	<p>Caractère plus ou moins généralisé avec ou sans corrosion des palplanches</p>
S12	Corrosion		<p>Défaut du revêtement de protection ou absence de système de protection Actions physico-chimiques du milieu ambiant</p>	<p>Caractère plus ou moins généralisé</p> <p>Réduction d'épaisseur (pas toujours visible)</p>

N°	Défauts et désordres observables	Illustrations	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	ÉTANCHÉITÉ DU RIDEAU			
S13	Percolation d'eau au niveau des serrures ou d'une déchirure		Mauvaise mise en œuvre des palplanches Défaut d'agrafage Absence de dispositif d'étanchéité au droit des serrures, défaillance des systèmes existants (joints mastic, cordons de soudure, etc.)	Transport de matériaux
	APPUIS - TIRANTS PASSIFS OU PRÉCONTRAINTS			
S14	Défaut de protection de tête d'ancrage (absence, défaut d'étanchéité ou corrosion du capot de protection, absence ou fissuration du cachetage, etc.) NOTA : Les têtes d'ancrage des tirants passifs sont souvent non protégées		Mauvaise conception Mauvaise exécution Agressivité du milieu ambiant Défaut d'entretien	Type de tirant concerné (potentiellement beaucoup plus grave dans le cas de tirants actifs) Importance de la corrosion Infiltration d'eau Nombre de tirants concernés
S15	Corrosion de tête d'ancrage		Agressivité du milieu ambiant Absence de système de protection (revêtements de protection pour tirants passifs ou précontraints), défaillance ou inefficacité de celui-ci	Type de tirant concerné (potentiellement beaucoup plus grave dans le cas de tirants actifs) Importance de la corrosion Infiltration d'eau Nombre de tirants concernés
S16	Déformation des plaques et chaises d'appui, fissuration au droit des soudures		Sous-dimensionnement et/ou mauvaise conception vis-à-vis des efforts concentrés Mauvaise exécution	Nombre de tirants concernés
	LIERNES (NOTA : LES LIERNES NE SONT GÉNÉRALEMENT PAS VISIBLES)			
S17	Défaut d'un assemblage (fissure, rupture, etc.)		Mauvaise conception de l'assemblage Mauvaise exécution Efforts concentrés	Proximité d'un ancrage
S18	Déformation locale		Sous-dimensionnement vis-à-vis des efforts concentrés Chocs	
S19	Défauts de la protection anticorrosion (écaillage, cloquage, faïençage, etc.) NOTA : Il y a très rarement un quelconque système de protection pour les liernes		Mauvaise exécution Défaut d'entretien Actions physico-chimiques du milieu ambiant	
S20	Corrosion des liernes ou de leur système de fixation au rideau		Défaut de protection anti-corrosion Actions physico-chimiques du milieu ambiant Mauvaise conception, en particulier : zone de rétention d'eau	Caractère plus ou moins généralisé Réduction d'épaisseur

N°	Défauts et désordres observables	Illustrations	Causes possibles	Critères influençant la gravité
	POUTRE DE COURONNEMENT			
S21	Défaut d'alignement		Mauvaise exécution Mouvement de l'écran À rapprocher du défaut S6	NOTA : Des déformations ou des fissures ou des fractures au niveau des poutres de couronnement traduisent le plus souvent des mouvements du rideau dont l'origine peut être très diverse (cf. autres signes)
S22	Fissure		Sous-dimensionnement Retrait Absence de joint de dilatation	Idem S21
S23	Altération du matériau constitutif du couronnement (épaufrures, corrosion, maillage, etc.)		Mauvaise exécution Chocs Agressivité du milieu ambiant Alcali-réaction, réaction sulfatique	
S24	Défauts des joints de dilatation NOTA : La présence de joint de dilatation est rare sur les couronnements d'ouvrages en palplanches		Mauvaise exécution Agressivité du milieu ambiant	
	RIDEAU DE PALPLANCHES EN SITE AQUATIQUE			
S25	Affouillement du lit du cours d'eau, de ses berges ou fosse d'érosion		Absence de protection ou dégradations de celle-ci si elle existe Action du courant, notamment lors d'une crue Modification du régime hydraulique du cours d'eau Évolution du tracé de son lit de façon naturelle ou par suite de travaux d'entretien Propulsion des bateaux	Importance relative de la diminution de la fiche NOTA : En principe, une diminution de la fiche est toujours potentiellement grave
S26	Amoncellement de corps flottants à proximité du rideau			
S27	Dégradation du dispositif de protection (enrochements, gabions, etc.)		Action des courants et des turbulences Chocs de corps flottants ou de bateaux Végétation	

ANNEXE II

Les critères pour une cotation IQOA

CLASSES D'ÉTAT DE LA COTATION IQOA

CLASSE 1

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

CLASSE 2

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

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

CLASSE 2 E

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

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

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

CLASSE 3

Ouvrage

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

CLASSE 3U

Ouvrage

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

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

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

CRITÈRES POUR UNE COTATION IQOA

■ Zone d'influence (classe 1 à 3U)

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

- tassement, fissuration et bourrelets des terrains liés à des déplacements de la structure,
- effondrement des terrains soutenus du fait de l'entraînement de matériaux à travers les serrures,
- dégradation du dispositif de protection anti-affouillement,
- affouillements et excavation du terrain en pied d'ouvrage,
- glissement d'ensemble.

CLASSE 2

- érosion et ravinement du sol.

CLASSE 1

- présence de végétation nuisible,
- amoncellement de corps flottants à proximité du rideau.

■ Équipements (classe 1 à 2E)

- cotation selon les modalités de la méthode IQOA.

■ Drainage et assainissement (classe 1 à 2E)

CLASSE 2E

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

CLASSE 2

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

CLASSE 1

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

■ Structure (classe 1 à 3U)

CLASSE 3U

- défaillance généralisée des tirants d'ancrage,
- tout mouvement à caractère évolutif lié à un défaut d'appui (sol en fiche ou tirant),
- glissement d'ensemble,
- mouvement vertical entraînant des efforts parasites dans les tirants ou dans la structure portée le cas échéant,
- réduction significative et généralisée de l'épaisseur des palplanches (> 50 % de l'épaisseur ou entraînant une chute de résistance en flexion sous le seuil requis en service) à un niveau sensible (lit d'ancrage, proximité de la zone de flexion maximale).

CLASSE 3

- inclinaison anormale susceptible d'évoluer défavorablement à moyen ou long terme,
- sous-dimensionnement des palplanches,
- défauts d'assemblage (lierne) ou de l'écran à proximité d'un ancrage,
- défaillance locale au niveau d'une tête de tirant (corrosion liée à une absence de capot, mouvement de plaque, chaise ou clavette),
- réduction significative et généralisée de l'épaisseur des palplanches (entre 20 et 50 %).

CLASSE 2E

- défaut de protection des têtes de tirants actifs,
- fuite de matériau (en général 2E, mais pouvant être classé en 3, voire 3U, en fonction de la sensibilité des structures portées par le massif soutenu),
- réduction généralisée de l'épaisseur des palplanches (< 20 %).

CLASSE 2

- inclinaison anormale mais stabilisée,
- déplacement vertical compatible avec les déformations admissibles,
- défauts ponctuels d'assemblage entre éléments,
- défauts ponctuels d'éléments (lierne abîmée, déformation de quelques palplanches),
- défauts de protection des tirants passifs,
- défauts de la protection anti-corrosion, le cas échéant,
- percolation d'eau sans fuite de matériau,
- enrrouillement,
- désordres mineurs.

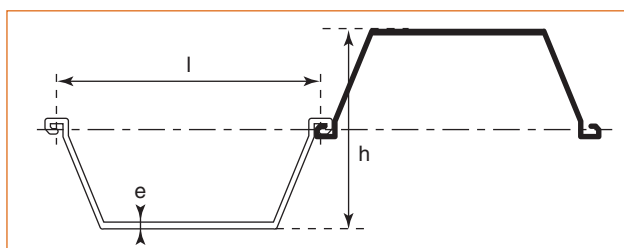
CLASSE 1

- défauts mineurs.

ANNEXE III

Caractéristiques géométriques des palplanches

FIGURE 16 -
Profil de palplanche en U.



III.1 - PROFILS U (d'après Profil Arbed)

Profils	Largeur utile <i>l</i>	Hauteur <i>h</i>	Épaisseur <i>e</i>	Poids		Module de résistance	Moment d'inertie
				de 1 m de palplanche	de 1m ² de paroi		
				(kg/m)	(kg/m ²)	Par mètre courant de paroi*	
	(mm)	(mm)	(mm)			(cm ³)	(cm ⁴)
00	325	75	5	17,8	55	134	502
Ic	405	100	6,5	30,1	74,4	262	1310
Ia	400	126	6,6	32,9	82,3	360	2270
Ian	400	220	7,5	36,6	91,4	625	6640
SL1	365	80	4,8	19,7	54	146	585
SL1 1973	365	80	5	20,5	56,2	152	608
SL1R	365	80	5,4	22,1	60,5	160	640
SL2	450	130	6	32,4	72	300	1950
SL3	450	200	7,1	38	84,5	550	5550
SL4	450	250	8,9	46,9	104	850	10600
SL5	450	280	10,3	52,7	117	1050	14700
RL60	600	226	7,5	46,2	77	600	6750
RL85	600	270	9	55,5	92,5	850	11500
RL120	600	310	9,9	64,2	107	1200	18600
31	450	150	9,5	45	100	460	3450
I	400	150	7,8	40	100	500	3700
II	400	200	10	48,8	122	850	8500
IIIn	400	270	9,5	48,8	122	1100	14850
III	400	247	14	62	155	1360	16830
IIIIn	400	290	13	62	155	1600	23200
IV	400	310	15,5	74,8	187	2040	31600
IVn	400	360	14,8	74	185	2200	39600
V	420	344	21	100	238	2960	50900
V 1973	420	352	24	100	238	2960	52100
VI	420	440	22	122	290	4200	92000
IIs	500	340	12,4	69,6	139	1600	27500
IIIs	500	380	14,3	79	158	2000	38000
IVs	500	440	15,5	88	176	2500	54826
IVs 1966	500	440	15,5	88	176	2500	54800
Vs	500	450	20,6	106	212	3200	72000
PU6	600	226	7,5	45,3	75	600	6720
PU6 1999	600	226	7,5	45,6	76	600	6780
PU8	600	280	8	54,5	91	830	11610
PU8 1999	600	280	8	54,5	91	830	11620
PU12	600	360	9,8	65,9	110	1200	21550
PU12 1999	600	360	9,8	66,1	110	1200	21600
PU 16	600	380	12	74,7	124	1600	30520
PU16 1999	600	380	12	74,7	124	1600	30400
PU20	600	400	12,4	84,7	141	2000	39970
PU20 1999	600	430	12,4	84,3	141	2000	43000
PU25	600	452	14,2	94,1	157	2500	56500
PU25 1999	600	452	14,2	93,6	156	2500	56490
PU32	600	452	19,5	114,6	191	3200	72260
PU32 1999	600	452	19,5	114,1	190	3200	72320
JSP2	400	200	10,5	48	120	874	8740
JSP3	400	250	13	60	150	1340	16800

* Caractéristique calculée en l'absence de glissement des serrures.

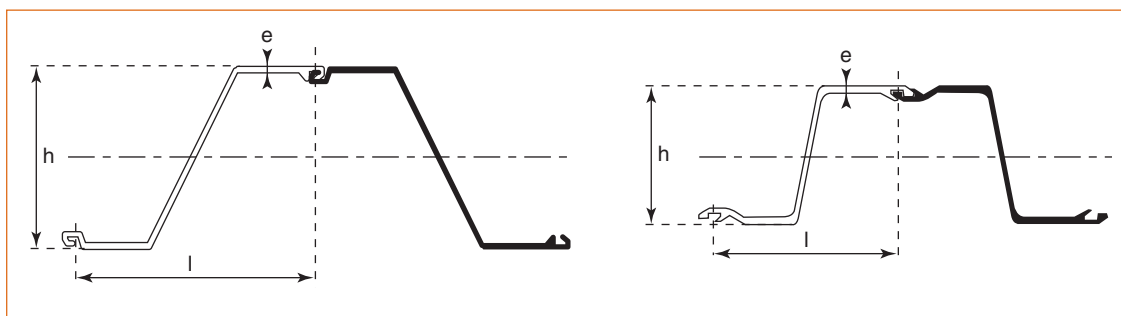


FIGURE 17 -
Profils de palplanche en Z.

III.2 - PROFILS Z (d'après Profil Arbed)

Profils	Largeur utile <i>l</i>	Hauteur <i>h</i>	Épaisseur <i>e</i>	Poids		Module de résistance	Moment d'inertie
				de 1 m de palplanche	de 1m ² de paroi		
				(kg/m)	(kg/m ²)	Par mètre courant de paroi (cm ³)	(cm ⁴)
RZ10	550	286	10	71	129	1640	23500
RZ11	485	301	10	71	146	2000	30100
RZ11 1985	485	303	10	71	146	2000	30300
RZ20	550	350	14,4	95,2	173	2660	46600
RZ30	550	401	18,7	122	222	3850	77200
RZ9	659				109,5	1000	
RZ21	485	365	14,4	95,2	196	3200	58400
AZ13	670	303	9,5	72	107	1300	19700
AZ18	630	380	9,5	74,4	118	1800	34200
AZ26	630	427	13	97,8	155	2600	55510
AZ36	630	460	18	122,2	194	3600	82800
AZ48	580	580		139,6	241	4800	115670
BZ7	550	190	8	51	93	760	7160
BZ42	500	354	24	135,3	271	4200	73920

Annexe A 71

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

1. Reconnaissance	72
2. Préparation de l'intervention	72
3. Intervention <i>in situ</i>	73
4. Rédaction du rapport d'inspection détaillée	74
5. Rédaction de la note de synthèse	74
6. Réunion de synthèse	74

Annexe B 75

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

Annexe C 81

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

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

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

STRUCTURE		
	CDOA	
	CLASSE	S
CLASSE DE LA STRUCTURE		

SYNTHÈSE POUR L'OUVRAGE*		
- Zone d'influence - Équipements - Drainage / Assainissement - Structure	CDOA	
	CLASSE	S
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 51123112
Conception et réalisation : LCPC-IST, Marie-Christine Pautré
Dessins : LCPC-IST, Philippe Caquelard
Crédits photographiques : Arcelor - Réseau des LPC - SETRA
Flashage-Impression : Bialec - Nancy (France)
Dépôt légal : 3e trimestre 2003 - N° 58955



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.