

Recommandations pour la réalisation des contrôles préalables à la réception des travaux de réhabilitation des réseaux d'assainissement

Compte tenu de la spécificité des travaux de réhabilitation [1], les conditions de leur réception (hormis travaux de remplacement, pour la réception desquels la dernière édition du Fascicule 70 est le document de référence*) ne peuvent être les mêmes que celles des travaux de pose de réseaux neufs. Certains des essais préalables recommandés dans ce cas sont soit techniquement inutiles ou très difficiles de mise en oeuvre, soit économiquement déraisonnables au regard du coût des travaux réceptionnés.

Pour dépasser concrètement ce constat, le Groupe de Travail « Réhabilitation des réseaux » [2] de la Commission Assainissement de l'A.G.H.T.M. a entrepris de compléter les recommandations techniques qu'il avait rédigées en 1998 [3](1), après avoir examiné la documentation suivante :

- ⇒ Arrêté du 22/12/94 (2)
- ⇒ « Recommandations mises au point en région parisienne à l'initiative de l'agence de l'Eau Seine Normandie (3).
- ⇒ Parties ad hoc des normes et projets de normes.
- ⇒ Documents appropriés mis au point et utilisés par ailleurs (en particulier par les agences de l'Eau)

L'orientation de réflexion retenue a été de :

- ⇒ se placer en droite ligne des 3R 98, en rédigeant plus précisément l'article 4.4 des C.C.T.P. : Opérations préalables à la réception [4]
- ⇒ distinguer les cas d'entreprises avec et sans démarche qualité.
- ⇒ procéder par technique et par objectif de réhabilitation.

Il s'agit de réceptionner le (ou les) objectif(s) [5] explicitement fixé(s) dans le C.C.T.P., mais aussi vérifier que l'étanchéité et l'hydraulicité de l'ouvrage réhabilité restent satisfaisantes.

A propos des objectifs relatifs à la structure, on se situe dans les différents cas prévus dans les 3R 98 :

Cas de la **restructuration** (apport mécanique calculable) : A partir des objectifs des travaux que le maître d'ouvrage explicite dans le C.C.T.P., l'entrepreneur établit une note de calcul comprenant les critères de dimensionnement et le maître d'œuvre retient les essais permettant de les vérifier.

Cas de la **consolidation** (apport mécanique non calculable) : le maître d'ouvrage fixe des obligations de moyens ou de résultats comparatifs et le maître d'œuvre choisit les essais permettant de les mesurer.

Cas de la **non structuration** (seul objectif relatif à la réhabilitation : résister à la contre-pression de la nappe) : même cas que la consolidation (épaisseur du matériau fixée par le maître d'ouvrage ou proposée par l'entrepreneur).

A propos du traitement des raccordements [6] et en particulier de la recommandation écrite dans les 3R 98 : « la reprise des raccordements comprend le rétablissement de leur étanchéité », on lui préférera l'expression : « Le rétablissement de l'écoulement du branchement implique l'étanchéité du raccordement ».

Le présent document propose une rédaction des parties spécifiques de l'article 4.4 des C.C.T.P. de chacune des techniques pour compléter les parties communes suivantes :

En début de l'article :

« Ces opérations ne font pas partie du présent marché.

Conformément à l'arrêté du ministère de l'Environnement du 22 décembre 1994 fixant les prescriptions techniques relatives aux ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées, les opérations préalables à la réception sont exécutées par un opérateur qualifié et indépendant de l'entrepreneur. »

En fin de l'article :

« Le résultat des opérations préalables à la réception conduit à deux possibilités de décision :

- acceptation,*
- gestion des non-conformités »*

Le document est complété par quelques annexes au texte de l'article du C.C.T.P. (pour deux techniques) et des protocoles d'essais écrits par le GT.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Recommandations pour la Réhabilitation des Réseaux d'assainissement, TSM Hors série réédité en Cédérom, vol. 1 édition 1998

(2) Arrêté du 22/12/94 fixant les prescriptions relatives aux ouvrages de collecte et de traitement des EU mentionnées aux art. L.372-1-1 et L 372-3 du code des communes

(3) Recommandations pour la réalisation des contrôles préalables à la réception des travaux d'assainissement, AESN, Conseils Généraux 92, 93, 94 et SEVESC.

(4) Guide pour l'établissement d'un PAQ de chemisage, Cahiers techniques FSTT n°6, janvier 2000 (18 pages)

(5) Restructuration des collecteurs visitables : guide technique, tome 1, Editions TEC&DOC, LAVOISIER, juillet 2002 (154 pages)

COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

prénom	nom	organisme
Pierre	Arnaud	SEVESC
Idriss	Benslimane	Structure et Réhabilitation
Jean-Michel	Bergue	ministère de l'Equipement / DRAST
Francis	Buthier	INSITUFORM
Jacques	Chandellier	CSTB
Séverine	Courtial	STANTON BONNA CONCRETE LTD
Jean-Jacques	Desmulliez	LMCU Lille-Métropole Communauté Urbaine
René-Claude	Fouilloux	agence de l'Eau Seine Normandie
Ronan	Gaillard	ville de Nantes

prénom	nom	organisme
Philippe	Henaut	HERMES Technologie
Marielle	Jansson-Charrier	LREA
Nathalie	Le Nouveau	GEMCEA
Jean-Marc	Lecerf	SCREG
Didier	Lesage	conseil général de Seine Saint-Denis
Gérard	Maronne	SAGEP/MAC
Alain	Renaud	JFM conseils
Lionel	Trevisan	SEGEX
Eric	Vandame	REHATEC

CHEMISAGE CONTINU POLYMERISE EN PLACE

Collecteur visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[7\]](#):

➤ **Restructuration**

- Inspection visuelle (o) [\[8\]](#),
- Sondage sonique au marteau non instrumenté (o) [\[9\]](#) (vérifié par contrôle extérieur),
- Contrôle des épaisseurs de la chemise et des caractéristiques mécaniques (o) [\[10\]](#),
- Relevé des sections transversales [\[11\]](#),
- Essais de vérinage intérieur [\[12\]](#).

➤ **Etanchéité (consolidation)**

Les contrôles indiqués en italique ne sont recommandés que dans le cas où la chemise est prévue plaquée à l'ouvrage.

- Inspection visuelle (o) [\[13\]](#),
- *Sondage sonique au marteau non instrumenté (o) [\[14\]](#) (vérifié par contrôle extérieur),*
- Contrôle des épaisseurs de la chemise et des caractéristiques mécaniques (o) [\[15\]](#),
- *Relevé des sections transversales [\[16\]](#),*
- *Essais de vérinage intérieur [\[17\]](#),*
- Essai global d'étanchéité [\[18\]](#),
- Essais ponctuels d'étanchéité des singularités (extrémités, parement altéré, raccords...) [\[19\]](#).

➤ **Hydraulique**

- Inspection visuelle (o) [\[20\]](#).

➤ **Anticorrosion et antiabrasion**

- Contrôle des caractéristiques des matériaux frais et des matériaux durcis [\[21\]](#)

(...)

TUBAGE AVEC ESPACE ANNULAIRE

Collecteur visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[22\]](#):

➤ **Restructuration**

- Inspection visuelle (o),
- Sondage sonique au marteau non instrumenté (o) [\[23\]](#) (vérifié par contrôle extérieur),
- Relevé des sections transversales (o) [\[24\]](#),
- Essais de vérinage intérieur [\[25\]](#),
- Auscultation radar [\[26\]](#)
- Prélèvements éventuels de contrôle (coque + coulis) orientés par les essais instrumentés [\[27\]](#).

Les résultats de ces opérations réalisées à la fin des travaux sont complétés par ceux d'essais réalisés en cours d'exécution :

- Prélèvements de contrôle (coulis, coque et joints), vérification des caractéristiques du coulis frais et durci [\[28\]](#),
- Contrôle d'exécution des phases d'injection de bourrage [\[29\]](#).

➤ **Etanchéité (consolidation)**

Les contrôles indiqués en italique ne sont prévus que dans le cas de présence d'une nappe.

- Inspection visuelle (o),
- *Sondage sonique au marteau non instrumenté,*
- *Essais par la méthode d'impédance mécanique* [\[30\]](#),
- *Relevé des sections transversales* [\[31\]](#).

- *Essais de vérinage intérieur,*
- *Auscultation radar [32],*
- Essai global d'étanchéité [33],
- Essais ponctuels d'étanchéité des singularités (joints, assemblages, raccordements...) représentatives [34],
- Prélèvements éventuels de contrôle (coque + coulis) orientés par les essais instrumentés ²⁷.

Les résultats de ces opérations réalisées à la fin des travaux sont complétés par ceux d'essais réalisés en cours d'exécution :

- Prélèvements de contrôle (coulis – coque – joints), vérification des caractéristiques du coulis frais et durci ²⁸,
- Contrôle d'exécution des phases d'injection de bourrage ²⁹,
- Contrôle d'exécution des joints, des raccordements aux branchements et des extrémités amont et aval.

➤ **Hydraulique**

- Relevé du profil en long au laser selon un pas $\leq 5\text{m}$ [35],
- Relevé des sections transversales au laser, photoprofil ou gabarit,
- Inspection visuelle.

➤ **Anticorrosion et antiabrasion**

- Vérification des caractéristiques des matériaux sur prélèvements de contrôle (coque et joints) réalisés en cours d'exécution.

(...)

CHEMISAGE EN BETON

Collecteur visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon la nature et les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [36]:

➤ **Restructuration**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux frais et durcis (o) [37].
- Essais de vérinage intérieur [38],
- Sondages destructifs ou carottages [39],
- Inspection visuelle (o),
- Sondage sonique au marteau non instrumenté.

-

➤ **Consolidation**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux frais et durcis (o) [40].
- Essais de vérinage intérieur ³⁸,
- Sondages destructifs ou carottages ³⁹,
- Inspection visuelle (o)
- Sondage sonique au marteau non instrumenté.



Etanchéité

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux frais et durcis (o) ⁴⁰
- Sondages destructifs ou carottages ³⁹,
- Inspection visuelle (o),
- Mesures ponctuelles de perméabilité [\[41\]](#).



Hydraulique

- Inspection visuelle (o),
- Relevé du profil en long au laser selon un pas inférieur ou égal à 5 mètres [\[42\]](#),
- Relevé des sections transversales au laser ou photoprofil selon un pas inférieur ou égal à 5 mètres ou passage d'un gabarit [\[43\]](#).



Anticorrosion et antiabrasion

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux frais et durcis (o) [\[44\]](#).

(...)

INJECTIONS

Collecteur visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon la nature et les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[45\]](#):

4.4.1. Injections de comblement de vides importants

-

➤ **Consolidation**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux injectés (o) [\[46\]](#)
- Essais de vérinage intérieur [\[47\]](#),
- Auscultation radar ⁴⁷,
- Sondages destructifs ou carottages [\[48\]](#),
- Inspection visuelle (o) [\[49\]](#),

4.4.2. Injections de collage

-

➤ **Consolidation**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux injectés (o) ⁴⁶,
- Essais de vérinage intérieur ⁴⁷,
- Auscultation radar ⁴⁷,
- Essais par la méthode d'impédance mécanique ⁴⁷,
- Sondages destructifs ou carottages ⁴⁸,
- Inspection visuelle (o) ⁴⁹,

4.4.3. Injections de régénération de la structure

➤ **Etanchéité**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux injectés (o) ⁴⁶
- Essais ponctuels d'étanchéité (o) [\[50\]](#)

➤ **Consolidation**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux injectés (o) ⁴⁶,
- Prélèvement d'échantillons et essais en laboratoire [\[51\]](#),
- Essais de vérinage intérieur ^{47/51},
- Auscultation radar ^{47/51},
- Essais par la méthode d'impédance mécanique ³⁷,
- Inspection visuelle (o) ⁴⁹.

4.4.4. Injections ponctuelles d'étanchement

➤ **Etanchéité**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux injectés (o) ⁴⁶,
- Essais ponctuels d'étanchéité (o) ⁵⁰.

(...)

RADIER SEUL

Collecteur visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon la nature et les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[52\]](#)

-

➤ **Restructuration ou consolidation**

- Inspection visuelle (o),
- Sondage sonique au marteau non instrumenté [\[53\]](#) (o),
- Relevé des sections transversales [\[54\]](#) (o),
- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux frais et durcis (joints, matériaux coulés ou préfabriqués ou injectés) [\[55\]](#),
- Contrôle en cours d'exécution de la qualité de la mise en œuvre (ancrages, ferrailage, enrobage, joints, épaisseurs, reprise de bétonnage....),
- Sondages destructifs par carottages [\[56\]](#),
- Auscultation par impédance mécanique [\[57\]](#),
- Auscultation radar [\[58\]](#).

➤ **Etanchéité**

- Inspection visuelle (o),
- Vérification de la prise en compte des risques vis à vis des contre-pressions éventuelles (ancrage) (o),
- Essais ponctuels de perméabilité [\[59\]](#).



Hydraulicité

- Inspection visuelle (o),
- Relevé du profil en long [\[60\]](#),
- Relevé des sections transversales [\[61\]](#) au laser, photoprofil ou à l'aide d'un gabarit.



Anticorrosion et antiabrasion

- Contrôle des caractéristiques des matériaux frais et des matériaux durcis [\[62\]](#).

(...)

REPARATIONS (fissures, joints, enduits,...)

Collecteur visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon la nature et les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[63\]](#) :

➤ **Consolidation**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux frais et durcis [\[64\]](#),
- Inspection visuelle (o),
- Sondage sonique au marteau non instrumenté,
- Contrôle de la localisation des travaux (o).

-

➤ **Etanchéité**

- Contrôle en cours d'exécution des caractéristiques des matériaux frais et durcis [64](#),
- Inspection visuelle (o),
- Contrôle de la localisation des travaux (o),
- Essais ponctuels d'étanchéité [\[65\]](#).

➤ **Hydraulique**

- Inspection visuelle (o).

(...)

CHEMISAGE CONTINU POLYMERISE EN PLACE

Canalisation non visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[66\]](#) :

➤ **Etanchéité**

Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble des ouvrages rénovés (o) [\[67\]](#) exécutée dès achèvement des travaux ou différée [\[68\]](#) selon les modalités décrites en annexe. Celles-ci diffèrent selon la configuration du réseau et la nature des travaux du marché.

➤ **Hydraulique**

Inspection télévisuelle sur l'ensemble des ouvrages rénovés (canalisation principale et branchements) (o) exécutée dès achèvement des travaux ou différée ^{67 /} [\[69\]](#)

➤ **Restructuration**

Inspection télévisuelle sur l'ensemble des ouvrages rénovés (o) [\[70\]](#),

Contrôle de l'épaisseur et des caractéristiques mécaniques sur éprouvettes prélevées sur chantier (o),

Vérification (le cas échéant) des hypothèses de calcul relatives au contact de la chemise avec la canalisation [\[71\]](#).

➤ **Anticorrosion et antiabrasion**

Sans objet dans le cas général dans la limite d'effluents conformes à la circulaire 77.284 / INT (dans des cas particuliers, cf. clauses du C.C.T.P.).

(...)

CHEMISAGE CONTINU POLYMERISE EN PLACE

Canalisation non visitable

ANNEXE A L'ARTICLE 4.4 DU C.C.T.P.

Configuration du réseau et nature des travaux	MODALITES DE L'EPREUVE D'ETANCHEITE
<i>Etanchéité de la canalisation principale seule (sans branchement)</i>	Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble de la canalisation rénovée
<i>Etanchéité de la canalisation principale (branchements réhabilités)</i> <i>avec regard de pied d'immeuble</i>	Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble des ouvrages rénovés (canalisation principale et branchements)
<i>Etanchéité de</i>	<ul style="list-style-type: none">• Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur

<p><i>la canalisation principale (branchements réhabilités)</i></p> <p><i>sans regard de pied d'immeuble</i></p>	<p>l'ensemble de la canalisation principale rénovée :</p> <hr/> <p>a/ <u>avant</u> le découpage de la chemise au droit des branchements[72]</p> <p>b/ <u>après</u> le découpage de la chemise au droit des branchements[73]</p> <hr/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de l'autocontrôle de l'ensemble des ouvrages rénovés (canalisation principale et branchements) <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle télévisuel des branchements[74] et de la localisation de la découpe au droit des branchements <hr/>

<p>Configuration du réseau et nature des travaux</p>	<p>MODALITES DE L'EPREUVE D'ETANCHEITE</p>	
<p><i>Etanchéité de la canalisation principale (branchements <u>non</u> réhabilités) [75]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble de la canalisation principale rénovée : <ul style="list-style-type: none"> a/ <u>avant</u> le découpage de la chemise au droit des branchements⁷² si le traitement du raccordement n'est pas prévu ou b/ <u>après</u> le découpage de la chemise au droit des branchements⁷³ si le traitement du raccordement est prévu <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle télévisuel de la localisation de la découpe au droit des branchements⁷⁴. 	
<p><i>Etanchéité de la liaison de la canalisation réhabilitée avec les regards intermédiaires et d'extrémités</i></p>	<p>Regards non réhabilités ou ponctuellement</p>	<p>Inspection visuelle de l'ensemble des liaisons</p>

	Regards réhabilités avec objectif d'étanchéité globale	Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau du regard incluant les liaisons

TUBAGE AVEC ESPACE ANNULAIRE

Canalisation non visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [76] :

➤ **Etanchéité**

Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble des ouvrages rénovés (o) [77] exécutée dès achèvement des travaux ou différée [78] selon les modalités décrites en annexe. Celles-ci diffèrent selon la configuration du réseau et la nature des travaux du marché.

➤ **Hydraulique**

Inspection télévisuelle sur l'ensemble des ouvrages rénovés (canalisation principale et branchements [79]) (o) exécutée dès achèvement des travaux ou différée ⁷⁸ [80].

➤ **Restructuration**

Contrôle des caractéristiques du coulis de remplissage exécuté en cours de travaux (o),
Inspection télévisuelle sur l'ensemble des ouvrages rénovés (o) [81],
Vérification (le cas échéant) des hypothèses de calcul relatives à l'état de la liaison tuyau-coulis-canalisation [82].

➤ **Anticorrosion et antiabrasion**

Sans objet dans le cas général dans la limite d'effluents conformes à la circulaire 77.284 / INT (dans des cas particuliers, cf. clauses du C.C.T.P.).

(...)

TUBAGE AVEC ESPACE ANNULAIRE

Canalisation non visitable

ANNEXE A L'ARTICLE 4.4 DU C.C.T.P.

Configuration du réseau et nature des travaux	MODALITES DE L'EPREUVE D'ETANCHEITE
<i>Etanchéité de la canalisation principale seule (sans branchement)</i>	Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble de la canalisation rénovée
<i>Etanchéité de la canalisation principale (branchements réhabilités)</i> <i>avec regard de ped d'immeuble</i>	Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble des ouvrages rénovés (canalisation principale et branchements)
<i>Etanchéité de</i>	<ul style="list-style-type: none">• Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur

<p><i>la canalisation principale (branchements réhabilités)</i></p> <p><i>sans regard de pied d'immeuble</i></p>	<p>l'ensemble de la canalisation principale rénovée :</p> <hr/> <p>a/ <u>avant</u> le découpage du tuyau au droit des branchements [83]</p> <hr/>
	<p>b/ <u>après</u> le découpage du tuyau au droit des branchements [84]</p> <hr/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de l'autocontrôle de l'ensemble des ouvrages rénovés (canalisation principale et branchements) <hr/>
	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle télévisuel de la localisation de la découpe au droit des branchements, et des branchements [85] <hr/>

<p>Configuration du réseau et nature des travaux</p>	<p>MODALITES DE L'EPREUVE D'ETANCHEITE</p>	
<p><i>Etanchéité de la canalisation principale (branchements <u>non</u> réhabilités) [86]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble de la canalisation principale rénovée : <ul style="list-style-type: none"> a/ <u>avant</u> le découpage du tuyau au droit des branchements si le traitement du raccordement n'est pas prévu ou b/ <u>après</u> le découpage du tuyau au droit des branchements ⁸⁴ si le traitement du raccordement est prévu • Contrôle télévisuel de la localisation de la découpe au droit des branchements ⁸⁵. 	
<p><i>Etanchéité de la liaison de la canalisation réhabilitée avec les regards intermédiaires et d'extrémités</i></p>	<p>Regards non réhabilités ou ponctuellement</p>	<p>Inspection visuelle de l'ensemble des liaisons</p>
	<p>Regards</p>	

réhabilités avec objectif d'étanchéité globale

Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau du regard incluant les liaisons

TUBAGE SANS ESPACE ANNULAIRE

Canalisation non visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[87\]](#) :

➤ **Etanchéité**

Epreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble des ouvrages rénovés (o) [\[88\]](#) exécutée dès achèvement des travaux ou différée [\[89\]](#) selon les modalités décrites en annexe. Celles-ci diffèrent selon la configuration du réseau et la nature des travaux du marché.

➤ **Hydraulique**

Inspection télévisuelle sur l'ensemble des ouvrages rénovés (canalisation principale et branchements) (o) exécutée dès achèvement des travaux ou différée ⁸⁹ [\[90\]](#).

➤ **Restructuration**

Inspection télévisuelle sur l'ensemble des ouvrages rénovés (o) [\[91\]](#)

Vérification (le cas échéant) des hypothèses de calcul relatives au contact du tuyau avec la canalisation [\[92\]](#).

➤ **Anticorrosion et antiabrasion**

Sans objet dans le cas général dans la limite d'effluents conformes à la circulaire 77.284 / INT (dans des cas particuliers, cf. clauses du C.C.T.P.).

(...)

INJECTION D'ETANCHEMENT AVEC MANCHON

Canalisation non visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Elles consistent en [\[93\]](#):

- Inspection télévisuelle sur l'ensemble des parties des ouvrages réparées (o) [\[94\]](#), exécutée dès l'achèvement des travaux ou différée [\[95\]](#).

- Epreuve d'étanchéité [\[96\]](#)

Contrôle de l'autocontrôle de l'ensemble des anomalies ou joints réparés (o) [\[97\]](#) exécuté pendant les travaux.

(...)

CHEMISAGE PARTIEL POLYMERISE EN PLACE

Canalisation non visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Elles consistent en [\[98\]](#) :

- Inspection télévisuelle sur l'ensemble des parties des ouvrages réparées (o), réalisée de préférence de l'amont vers l'aval [\[99\]](#), exécutée dès l'achèvement des travaux ou différée [\[100\]](#).

Les objectifs hydraulique sont vérifiés lors de l'inspection télévisuelle par la mesure des plis éventuels [\[101\]](#).

- Epreuve éventuelle d'étanchéité

Bien qu'une épreuve d'étanchéité soit techniquement réalisable, il n'apparaît pas économiquement raisonnable (à la date de rédaction du document) de la recommander.

En outre, un test de joint réalisable avec double obturateur ou manche longue prendrait aussi en compte une partie de la canalisation non réparée [\[102\]](#).

- Contrôle de l'apport mécanique dans le cas d'un objectif de consolidation consistant en :

- Contrôle de l'autocontrôle des paramètres de la polymérisation,
- Contrôle de l'autocontrôle de la pression de mise en œuvre,
- Contrôle de l'autocontrôle de l'épaisseur.

(...)

ROBOT A FONCTIONS MULTIPLES

Canalisation non visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Elles consistent, selon le type d'anomalies traitées, en contrôles [\[103\]](#) :

- de l'étanchéité des anomalies traitées :
 - contrôle de l'autocontrôle de l'ensemble des anomalies réparées (o) [\[104\]](#), exécuté pendant les travaux,
 - inspection télévisuelle (o) [\[105\]](#) de l'ensemble des parties des ouvrages réparées [\[106\]](#) [\[107\]](#), exécuté dès achèvement des contrôles ou différée [\[108\]](#),
- de la suppression des obstacles à l'écoulement :
 - inspection télévisuelle (o) ¹⁰⁵ de l'ensemble des parties des ouvrages réparées, exécuté dès achèvement des contrôles ou différée ¹⁰⁸,
- de l'apport mécanique :
 - contrôle de l'autocontrôle des paramètres de polymérisation ¹⁰⁴,
 - contrôle de l'autocontrôle de la pression de mise en œuvre ¹⁰⁴,

(...)

REGARD DE VISITE

Collecteur visitable ou non visitable

Article 4.4 - Opérations préalables à la réception

(...)

Selon la nature et les objectifs des travaux de réhabilitation précisés dans le C.C.T.P., elles consistent en [\[109\]](#) :

-

➤ **Restructuration et consolidation**

Dans ce cas, les opérations préalables à la réception sont celles définies pour la ou les techniques utilisées.

➤ **Étanchéité**

- Inspection visuelle (o),
- Essai global d'étanchéité [\[110\]](#) (o),
- Vérification de la prise en compte des risques vis à vis des contre-pressions éventuelles (o).

Et dans le cas où l'essai global d'étanchéité n'est pas réalisé :

- Contrôle des épaisseurs de matériaux [\[111\]](#),
- Contrôle des caractéristiques des matériaux mis en place [\[112\]](#).

➤ **Fonctionnement (Hydraulique, équipements, raccords,...)**

- Inspection visuelle (o).



Anticorrosion

- Contrôle des caractéristiques des matériaux [\[113\]](#) mis en place (matériaux hydrauliques ou non, joints, coque, gaine,...).

(...)

Protocoles pour opérations préalables à la réception

Essais et contrôles	Protocoles
Caractéristiques des matériaux :	
Béton (s)	normes BP NF P 95 102 (en cours de révision par pr EN 14 487-1) pr EN 14 488 BPE = NF P 18 305 Béton de sable = P 18 500 fascicule 65A(exécution des ouvrages de GC en BA ou précontraint) Fascicule n°4 titre 1er (armatures pour BA)
Aciers (s)	NFA 35-027 (janvier 2003) (produits en acier pour BA – armatures) ISO 6935-3 (1992) (acier à béton pour armatures passives. Partie 3 : treillis soudés) NFA 35-018 (juillet 1984) (armatures pour BA : aptitude au soudage)
Contrôle sur site des épaisseurs de béton frais	OPERRA 1
Contrôles par carottage	OPERRA 2
Vérinage intérieur pour l'auscultation mécanique des ouvrages et du sol encaissant	OPERRA 3
Mesure de perméabilité ponctuelle	protocole de mise en oeuvre

	des appareils
Inspection visuelle	norme EN 13 508-2
Abrasion	protocole CNR ou d'autre essai spécifique
Sondage sonore au marteau non instrumenté	OPERRA 4
Auscultation par impédance mécanique	OPERRA 5
Auscultation radar	OPERRA 6
Essais ponctuels d'étanchéité (collecteur visitable)	norme NF EN 1610 (joint par joint) perméabilité si impossible
Essais d'étanchéité (canalisations non visitables)	NF EN 1610 (décembre 1997)
Essais d'étanchéité (conduites de refoulement)	NF EN 805 (Juin 2000)
Contrôle de réception des caractéristiques mécaniques des chemisages polymérisés en place.	OPERRA 7
Fixations des ancrages à l'ouvrage	OPERRA 8
Essai de contrôle des soudures	protocole de mise en oeuvre des appareils
Caractéristiques des matériaux injectés	Recommandations AFTES

« RECEPTION DES RESEAUX REHABILITES »

PROTOCOLE D'ESSAI

OPERRA 1

Essai : CONTROLE SUR SITE DES EPAISSEURS DE BETON FRAIS

Objectif : Mesurer l'épaisseur de matériau projeté frais.

Matériel : Jauge métallique standard de profondeur permettant une lecture au 1/10^{ème} de millimètre.

-

Protocole :

- Reconnaître la zone de contrôle en présence du représentant du maître d'ouvrage et/ou de l'entreprise.
- S'assurer que la zone de contrôle est représentative des travaux concernés et qu'elle concerne plus de 10 m² de parement.
- Réaliser la mesure d'épaisseur en enfonçant perpendiculairement la jauge dans le béton frais.
- Nettoyer la jauge à l'aide d'un chiffon propre et non graisseux et répéter la mesure des épaisseurs de béton en s'assurant d'exécuter au moins trois (03) mesures au m² de parement.
- A chaque mesure, noter sur la fiche de relevé les résultats obtenus ainsi que leur localisation (point métrique, nature du parement, état du parement).
- Replier et ranger le matériel après nettoyage.
- Reporter les résultats sur le procès verbal relatif au contrôle des épaisseurs de béton frais sur site : le procès verbal devra comporter au moins 50 mesures d'épaisseur et indiquer le nombre total de mesures inférieure à l'épaisseur minimale requise.

« RECEPTION DES RESEAUX REHABILITES »

PROTOCOLE D'ESSAI

OPERRA 2

Essai : CONTROLES PAR CAROTTAGE

Objectifs :

- Contrôler les épaisseurs de chemisages en béton (1 lot de 3 unités par 50 m d'ouvrage)
- Assurer le prélèvement d'échantillons de matériaux pour essais en laboratoire
- Contrôler les anomalies mises en évidence par les auscultations non destructives
- Etalonner des outils d'auscultation non destructive.

Matériel :

- carottiers simple ou double (pour prélèvement intact de sol pulvérulent) avec couronnes diamant ou carbure de tungstène,
- fluide de circulation (généralement de l'eau),
- diamètre des forages : $\bar{\text{~}}$ 50 à 150 mm.

Domaine d'application : Tous matériaux

Protocole :

- Réaliser le carottage de préférence perpendiculairement au parement, sinon mesurer l'angle d'attaque.
- Prélever des échantillons intacts à l'aide du carottier.
- Examiner visuellement les échantillons avec prises photographiques.
- Examiner visuellement le forage et son environnement.

« RECEPTION DES RESEAUX REHABILITES »

PROTOCOLE D'ESSAI

OPERRA 3

Essai : Vérinage intérieur pour l'auscultation mécanique des ouvrages et du sol encaissant (MAC)

Objectifs :

- mesurer la raideur globale sol / structure,
- mesurer des caractéristiques mécaniques du complexe sol / structure,
- apprécier les effets des travaux d'injection.

Principe de l'essai :

Il s'agit de mesurer la déformation tridimensionnelle provoquée par un dispositif de vérinage interne mis en œuvre dans un ouvrage enterré. Cette déformation intéresse globalement la structure, l'interface et le terrain proche de l'ouvrage.

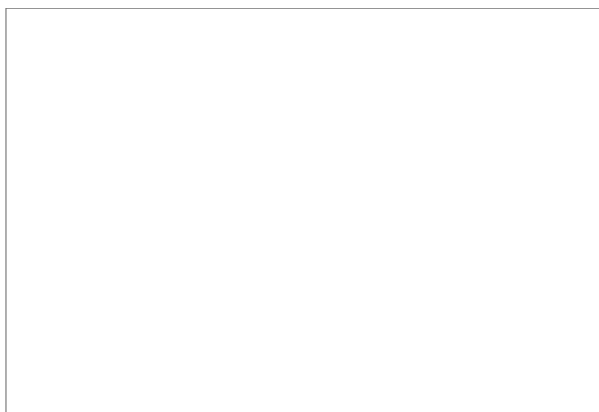
L'essai est non destructif, les déplacements sont limités à quelques centaines de micromètres.

Un essai comporte 2 cycles de chargement – déchargement. La vitesse de chargement est constante, de l'ordre de 800 kN/s.

Le pas d'essais est variable et adaptable (limite maximale 10 m).

Deux déplacements sont mesurés lors d'un cycle de chargement, le déplacement au droit du patin (divergence) et le déplacement tridimensionnel à une distance prédéfinie de l'axe du patin (voir schéma). Celle-ci dépend de la géométrie de l'ouvrage ainsi que de la nature du ou des matériaux qui constituent sa structure. Elle est généralement de l'ordre de 1 m.

Matériel :



Protocole :

La hauteur de chargement est déterminée par la géométrie de l'ouvrage, à savoir :

- ouvrages circulaires : chargement au niveau du diamètre horizontal,
- ovoïdes de hauteur supérieure à 1,70 m : chargement à 1,25 m de hauteur par rapport au radier (valeur par défaut),
- ovoïdes de hauteur inférieure à 1,70 m : chargement au-dessous des naissances de voûte,
- ouvrages à banquettes : chargement en fonction de la courbure de la voûte et de la hauteur de la main-courante.

Cette hauteur peut être modifiée suivant les changements de géométrie ou du fait de la présence de tuyaux, de câbles ou de goulottes de fibre optique sur les piedroits.

Le pas des essais est prédéfini. Par défaut il est de 10 m, sauf pour :

- les ouvrages préfabriqués ou en voussoirs, pour lesquels les essais sont réalisés tous les 2 éléments,
- les canalisations dans lesquelles au minimum 1 essai est réalisé par élément de conduite.

Ces pas peuvent être modifiés en fonction:

- de la présence d'ouvrages connexes pouvant influencer les résultats,
- des résultats obtenus (réduction du pas en cas de baisse importante de la raideur globale),
- d'indications spécifiques obtenues lors de la pré visite.

REALISATION DE L'ESSAI :

Marquage préalable des abscisses d'essais selon le pas retenu.

Mise en station du chariot au niveau de l'abscisse concernée : l'axe de poussée doit être horizontal et perpendiculaire aux piedroits.

Mise en contact des patins avec les parois de l'ouvrage.

Mise en place des cannes de mesure. (1 au-dessus de l'axe des patins, les 2 autres de part et d'autre de cet axe à la distance préalablement définie. Cette distance doit dans tous les cas permettre, quel que soit l'état de la structure, d'enregistrer un déplacement mesurable (de l'ordre de quelques dizaines de micro mètres).

Lancement du programme d'acquisition [\[114\]](#).

Après l'arrêt de l'acquisition et dépose des cannes de mesure, le chariot est amené à la station suivante.

EXPLOITATION DES MESURES

A partir des deux déplacements mesurés lors d'un cycle de chargement et de la mesure de la force appliquée par les patins, on calcule 2 paramètres: la raideur (rapport entre la force appliquée et le demi déplacement au droit du patin) et un coefficient a-dimensionnel Oméga (rapport entre le déplacement mesuré à une distance de l'ordre d'un diamètre et le déplacement au droit des patins). Le calcul est basé sur une simple régression linéaire.

La raideur propre du conduit est divisée par celle attendue pour un conduit en bon état pour définir l'indice de qualité de la structure.

Chaque essai comportant 2 cycles de chargement, chaque paramètre est donc mesuré et calculé deux fois. Ces deux valeurs sont en général moyennées pour constituer un résultat agrégé sauf si l'une des valeurs est non significative. Si aucune des deux valeurs n'est satisfaisante le résultat est déclaré non exploitable.

L'analyse des résultats peut être effectuée par comparaison avant et après travaux dans le cadre du chantier.

En l'absence d'essai effectué avant travaux, l'analyse nécessite que la structure et le terrain encaissant soient identifiés et caractérisés.

« RECEPTION DES RESEAUX REHABILITES »

PROTOCOLE D'ESSAI

OPERRA 4

Essai : CONTROLE SUR SITE DE L'ABSENCE DE DECOLLEMENTS OU DE VIDES PAR SONDAGE SONIQUE AU MARTEAU NON INSTRUMENTE

Matériel : Marteau de maçon présentant une surface d'impact minimale de 6 cm².

Domaine d'application : Tous matériaux sans vide structurel (béton d'épaisseur ≤ 8 cm)

Protocole :

- Reconnaître la zone d'auscultation en présence du représentant du maître d'ouvrage et/ou de l'entreprise.
- S'assurer que la zone d'auscultation est représentative des travaux concernés et qu'elle concerne plus de 20 m² de parement.
- S'exercer à l'auscultation en appliquant fermement un choc adapté au matériau sur une zone réputée saine jusqu'à mémoriser le bruit d'impact.
- Réaliser l'auscultation du parement de manière méthodique en adoptant un sens de progression régulier : chaque auscultation est le résultat significatif d'un nombre minimal de trois chocs qui doivent couvrir une surface maximale de 0,2 m². Elle donne lieu à l'une des deux appréciations suivantes : « SON CREUX » ou « SON PLEIN ».
- A chaque auscultation, noter sur la fiche de relevé les résultats obtenus ainsi que leur localisation (point métrique, emplacement, nature du parement, état du parement).
- Reporter les résultats sur le procès verbal relatif à l'auscultation des parements par sondage sonique au marteau non instrumenté : le procès verbal devra comporter au moins 50 lots de trois impacts sauf dérogation écrite du maître d'œuvre et indiquer le nombre total d'auscultations recelant des sons creux et leur localisation.

« RECEPTION DES RESEAUX REHABILITES »

PROTOCOLE D'ESSAI

OPERRA 5

Essai : METHODE D'IMPEDANCE MECANIQUE

Objectifs :

Cette méthode fournit des informations relatives à la qualité de la structure et du contact structure/terrain ou structure rapportée sur structure existante.

Elle permet :

- *Pour les injections de collage*, dans le cas d'une structure homogène : de localiser les vides, décollements ou décompressions,
- *Pour les injections de régénération* : d'apprécier la qualité des effets des injections,
- *Pour les tubages avec espace annulaire* (injecté) : de localiser et qualifier la liaison coque/coulis. (présence de vide, décollement, adhérence),
- *Pour les tubages sans espace annulaire* : de localiser les vides ou les décollements tubage/structure.

Principe de l'essai :

La méthode d'Impédance Mécanique est basée sur l'analyse de la réponse vibratoire d'une structure sollicitée par un choc d'amplitude connue.

L'essai est non destructif. Il consiste à appliquer un choc (impact) à l'aide d'un marteau instrumenté (marteau équipé d'un capteur de force) et à mesurer la vibration induite de la structure à l'aide d'un géophone ou d'un accéléromètre.

Matériel :

Le dispositif de mesure comprend :

- un marteau instrumenté par un capteur de force.
- un géophone ou un accéléromètre.
- un analyseur FFT (*Fast Fourier Transform*) comportant au moins deux voies.

Marteau instrumenté

Accéléromètre ou géophone

Analyseur FFT

Dispositif général de l'essai

Protocole :

Les essais sont réalisés sur le parement de la structure préalablement débarrassé de dépôts pouvant perturber les mesures.

La densité des essais doit être au moins égale à un essai par mètre carré de parement de la structure. En cas d'anomalies, la densité des essais est augmentée pour permettre leur localisation ou leur quantification.

La distance entre le point d'impact du marteau et le capteur de réception de la vibration plaqué sur le parement, est de l'ordre de 10 cm.

REALISATION DE L'ESSAI :

La zone d'essai est préalablement définie et identifiée par un marquage des abscisses.

La surface de l'ouvrage est identifiée de manière cohérente en plusieurs surfaces élémentaires correspondant à la géométrie de l'ouvrage (Piédroits, naissances, voûte pour un ovoïde – Secteurs horaires pour un ouvrage circulaire,.....).

Chaque surface élémentaire testée est identifiée par son abscisse et sa position.

Chaque essai comprend un minimum de trois chocs et les réponses respectives de la structure.

Les résultats des essais sont stockés numériquement dans l'analyseur. Ils comprennent la force appliquée et la vitesse vibratoire.

EXPLOITATION DES MESURES :

L'exploitation des mesures est basée sur l'analyse des spectres des signaux temporels recueillis.

Les couples de valeurs (chocs et réponses) sont en général moyennés pour constituer un résultat agrégé sauf si l'une des valeurs est non significative. Si aucun des trois couples de valeurs n'est satisfaisant, l'essai est déclaré non exploitable.

Les signaux recueillis sur site (force et vibrations) subissent un traitement du type FFT qui conduit à l'obtention de courbes de mobilité en fonction de la fréquence.

L'allure générale des courbes obtenues indique la présence ou non de vides, de décollements ou de décompressions.

Des valeurs particulières sont également calculées :

- la rigidité locale ou globale (MN/mm), qui permet de qualifier la structure.
- l'amortissement structurel, qui permet de localiser les vides derrière la structure.

Les résultats sont fournis sous formes de tableaux, de graphes ou de cartes d'iso valeurs.

L'analyse des résultats peut être effectuée par comparaison avant et après travaux dans le cadre du chantier.

En l'absence d'essai effectué avant travaux, l'analyse n'est possible que si la structure est homogène et identifiée (épaisseur et nature).

« RECEPTION DES RESEAUX REHABILITES »

PROTOCOLE D'ESSAI

OPERRA 6

Essai : AUSCULTATION RADAR

Objectifs :

Cette méthode fournit des informations relatives à la détection de vides à l'extrados de la structure et à la qualité de la structure :

Elle permet :

- *Pour les injections de collage ou les injections de comblement* : de localiser les vides à l'extrados de l'ouvrage.
- *Pour les injections de régénération* : d'apprécier la qualité des effets des injections si des auscultations ont été effectuées avant travaux.
- *Pour les tubages avec espace annulaire (injecté)* : de localiser et quantifier les vides importants.

Principe de l'essai :

La méthode Radar utilise les impulsions d'ondes électromagnétiques de très hautes fréquences, (comprises entre quelques dizaines de MHz jusqu'à environ 2GHz). Ces impulsions sont émises dans les matériaux auscultés par l'intermédiaire d'une antenne émettrice.

Lorsque l'impulsion émise rencontre un changement des paramètres diélectriques dans le matériau traversé, elle est partiellement réfléchiée et captée par une antenne réceptrice.

L'unité centrale Radar enregistre le temps de parcours de l'impulsion électromagnétique et l'amplitude du signal capté en retour.

Ces informations sont utilisées dans la construction d'un profil radar (ou radargramme) qui est une coupe-temps en continu des génératrices de la structure auscultées.

L'auscultation Radar est non destructive. Elle consiste à déplacer une antenne radar sur le parement de la structure auscultée.

La présence d'éléments métalliques générant de fortes réflexions ou d'eau et d'argile augmentant fortement la conductivité des milieux ne permet pas une bonne utilisation de cette méthode.

Matériel :

Le dispositif de mesure comprend :

- Une unité centrale d'acquisition.
- Un transducteur regroupant une antenne émettrice et une antenne réceptrice.
- Une alimentation 12 V.

Transducteur Radar

Unité Centrale

RADAR

Dispositif général de l'auscultation

Protocole :

L'auscultation Radar est réalisée sur le parement de la structure.

Un ou plusieurs profils sont effectués en continu le long des génératrices préalablement définies par les objectifs de l'auscultation. En règle générale les profils d'auscultation sont localisés aux milieux des piédroits et en clef dans le cas d'ovoïdes et au droit des secteurs horaires dans le cas d'ouvrages circulaires.

La réalisation des profils radar est néanmoins possible sur toute partie de l'ouvrage non immergée.

En cas d'anomalies, la densité des profils peut être augmentée pour circonscrire leur localisation ou préciser leur ampleur. La réalisation de profils annulaires est également possible.

En fonction de l'objectif de l'auscultation, une ou plusieurs fréquences d'antenne sont adoptées. En règle générale trois fréquences d'antenne sont utilisées dans les galeries souterraines :

- 900 MHz : pour les structures d'une épaisseur de 10 à 40 cm et pour des profondeurs d'auscultation d'environ 1 m.
- 400 MHz : pour les structures d'une épaisseur supérieure à 40 cm et des détections dans le sol de 1 à 3 m.
- 1,5 GHz : pour les structures d'une épaisseur de 5 à 20 cm

REALISATION DE L'ESSAI :

La zone d'auscultation est préalablement définie et identifiée par un repérage des abscisses.

La surface de l'ouvrage est identifiée de manière cohérente en plusieurs génératrices correspondant à la géométrie de l'ouvrage (Piédroits, naissances, voûte pour un ovoïde – Secteurs horaires pour un ouvrage circulaire,.....).

Chaque profil Radar réalisé est identifié par ses abscisses et sa génératrice.

Il est impératif d'adopter les mêmes génératrices, d'utiliser le même matériel et les mêmes paramètres d'enregistrement et d'exploitation que ceux de l'auscultation avant travaux si elle a été réalisée..

Les données brutes de l'auscultation sont enregistrées numériquement dans l'unité centrale et interprétées après traitement.

EXPLOITATION DES MESURES :

L'exploitation des mesures est basée sur l'analyse des amplitudes des réflexions radar enregistrées.

Les signaux recueillis sur site subissent un traitement informatique spécifique qui détermine les épaisseurs des structures et la valeur des Indices Radar [\[115\]](#)

Les indices radar sont représentés graphiquement.

L'allure générale des courbes d'indice indique la probabilité de la présence de vides[\[116\]](#).

L'exploitation des résultats peut être également effectuée par comparaison des résultats de l'auscultation avant et après travaux dans le cadre du chantier.

En l'absence d'auscultation effectuée avant travaux, il est nécessaire d'étalonner les résultats par des sondages (vérification des anomalies, épaisseurs, nature des matériaux).

« RECEPTION DES RESEAUX REHABILITES »

PROTOCOLE D'ESSAI

OPERRA 7

Essai : CONTROLE DE RECEPTION DES CARACTERISTIQUES MECANQUES DES CHEMISAGES POLYMERISES EN PLACE

Objectifs :

Les essais visent à vérifier que les performances mécaniques sont conformes aux valeurs contractuelles qui doivent avoir été déterminées dans les mêmes conditions. Cette vérification ne constitue ni une évaluation technique du procédé, ni une certification de qualité visant le procédé : elle ne reflète que le niveau de certaines caractéristiques du produit et ne donne aucune indication sur la durabilité du chemisage ni sur toute autre caractéristique.

Principe de l'essai :

Caractéristiques	Nature de l'essai	Textes
Mécaniques instantanées	Flexion 3 points	ISO 178 annexe 1

L'essai est réalisé sur des éprouvettes de forme courbe obtenues comme indiqué ci-après. Ces éprouvettes doivent être identiques à celles des échantillons qui ont permis de déterminer les valeurs contractuelles.

Les modalités de prélèvement de ces éprouvettes visent à représenter les conditions de mise en oeuvre et de polymérisation de la chemise.

Pour un éventuel contre-essai, les échantillons prélevés sur un chantier donné doivent être fournis en double (deux jeux de 10 éprouvettes). Un « chantier » est caractérisé par : un maître d'ouvrage, une adresse, un type de chemisage, une longueur inférieure ou égale à 200 m.

Protocole :

FABRICATION DES EPROUVETTES [\[117\]](#)

Des éléments de chemise sont découpés en présence du maître d'œuvre, dans un regard intermédiaire ou d'extrémité [\[118\]](#); ces éléments sont envoyés au laboratoire.

Le coffrage de la chemise dans ces regards est réalisé en demi-cylindre pour les regards intermédiaires et en cylindre complet pour les regards d'extrémité. Les dimensions des éléments prélevés doivent permettre d'y découper des éprouvettes aux dimensions requises [\[119\]](#).

Le laboratoire découpe dans ces éléments les éprouvettes de flexion 3 points en respectant les

dimensions indiquées ci-après et le sens de découpe :

- transversal lorsque le rapport D/e est supérieur à 50 (cas général),
- longitudinal lorsque ce rapport est inférieur à 50.

REALISATION DE L'ESSAI DE FLEXION 3 POINTS :

Opérations préalables avant l'essai : vérification des éprouvettes

Contrôle visuel de l'état physique des éprouvettes, contrôle visuel de la découpe des éprouvettes et de l'orientation des fibres.

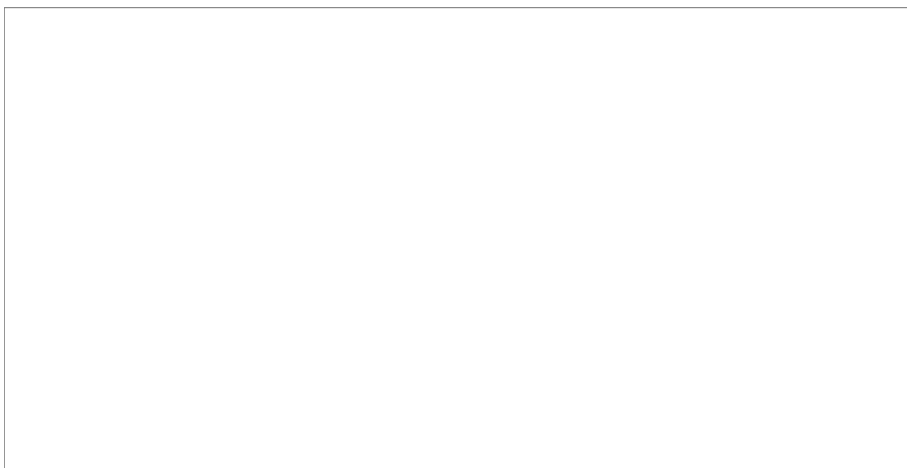
Mesure de l'épaisseur h : 1 mesure à mi-longueur de l'éprouvette à 0,02 mm près, Mesure de la largeur b (valeur minimale 50 mm) : 1 mesure à mi-longueur à 0,1 mm près.)

Paramètres d'essai :

Conditionnement des éprouvettes : à 23 ± 2 °C pendant 24 h.

1. Vitesse d'essai : $v = 10$ mm/min
2. Conditions d'essai : 23 ± 2 °C.
3. Distance entre appuis : $L = (16 \pm 1) \cdot h_{\text{moyen}}$ mm

Paramètres relevés :



Limite élastique

F_E : Force appliquée à la limite élastique (N),

s_E : contrainte de flexion à la limite élastique :

E : Module d'élasticité en flexion selon la formule : où

avec : DF = Variation de la force dans la partie rectiligne initiale (si possible entre 0,1 et $0,7 \cdot F_E$) de la courbe (N), et Dd = Variation de la flèche correspondante (mm).

e_E : déformations à la limite élastique (%) : $\dot{\sigma}_E = \sigma_E / E$

Rupture

F_R : Force appliquée à la rupture (N)

M_{ult} : Moment résistant ultime : $M_{ult} = F_R.L/4$

EXPLOITATION DES MESURES :

Caractéristiques mesurées sur 10 éprouvettes	
s_E et M_{ult}	1 éprouvette non conforme autorisée
$\dot{\sigma}_E$ et E	Moyenne > valeur déclarée

[1] La réhabilitation (« toutes mesures entreprises pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau d'évacuation et d'assainissement existant » selon la norme NF EN 752-1-1995) consiste à rétablir un ouvrage dégradé dans ses fonctions d'origine ou, dans certains cas, à améliorer un ouvrage, pour une durée déterminée, en adéquation avec son environnement physique et l'évolution des besoins et des conditions normales d'usage. La norme NF EN 752-5-1997 précise que les options structurelles des travaux de réhabilitation incluent rénovation, réparation ou remplacement.

* Concernant l'épreuve d'étanchéité, la norme NF EN 1610 s'applique normalement dans le cas du remplacement de l'ouvrage principal et des branchements. Dans le cas où les branchements ne sont pas remplacés, on se reportera aux principes retenus pour la technique du chemisage continu polymérisé en place en canalisation non visitable.

[2] Animé par J-M Bergue DRAST du ministère de l'Équipement.

[3] Les 3R 98 concernent les réseaux gravitaires visitables et non visitables et conduites de refoulement, décrivent les conditions de réalisation de l'inspection télévisée préalable, les principales techniques de réhabilitation par l'intérieur et définissent les méthodes de dimensionnement et les conditions d'exécution des travaux. Les modalités des opérations préalables à la réception n'y sont que succinctement décrites.

[4] Ces opérations ne font pas partie du marché travaux, mais il paraît important de les y décrire précisément pour la meilleure information de tous les acteurs.

[5] La réhabilitation peut avoir des objectifs multiples et concerner la structure,

l'étanchéité, l'écoulement, la corrosion et l'abrasion.

[6] Anciennement nommée piquage, partie commune de la canalisation de branchement et de la canalisation principale et en assurant la liaison.

[7] (o) = opération obligatoire

[8] Contrôle du traitement des extrémités (systématique) et des raccordements.

[9] Contrôle intérieur. En cas de non-conformité, essais par la méthode d'impédance mécanique. On vérifie que la flèche, la surface et l'emplacement des défauts de plaquage sont conformes aux hypothèses du dimensionnement.

[10] 2 séries de 10 éprouvettes pour 100 ml de collecteur ou par lot de fabrication.

[11] Tous les 10 m au minimum. On vérifie que la flèche, la surface et l'emplacement des défauts de plaquage sont conformes aux hypothèses du dimensionnement.

[12] Essais recommandés préalablement aux travaux (leurs résultats améliorent la précision de l'exploitation de ceux obtenus après travaux).

Ces essais permettent d'apprécier la qualité de la liaison chemise-ouvrage (plaquage ou non) et éventuellement l'apport mécanique. Ils ne permettent d'enregistrer une augmentation de raideur que si les liaisons sont « parfaites ». Une diminution de la raideur calculée avant et après travaux n'est donc pas caractéristique d'une diminution des performances mécaniques de l'ouvrage, mais d'une liaison imparfaite entre le chemisage et la structure. Dans ces conditions, les critères adoptés sont :

- raideur mesurée après travaux *supérieure* à celle mesurée avant travaux ou calculée* = liaison plaquée.
- raideur mesurée après travaux *inférieure* à celle mesurée avant travaux ou calculée* = non plaquée.

(* Dans le cas où aucune mesure n'a été réalisée avant travaux, la référence de comparaison est obtenue par modélisation de l'essai et de l'ouvrage par MEF).

[13] Contrôle du traitement des extrémités (systématique) et des raccordements.

[14] Contrôle intérieur. En cas de non-conformité, essais par la méthode d'impédance mécanique. On vérifie que la flèche, la surface et l'emplacement des défauts de plaquage sont conformes aux hypothèses du dimensionnement.

[15] 2 séries de 10 éprouvettes pour 100 m de collecteur ou par lot de fabrication.

[16] Tous les 10 m au minimum. On vérifie que la flèche, la surface et l'emplacement des défauts de plaquage sont conformes aux hypothèses du dimensionnement.

[17] Essais recommandés préalablement aux travaux (leurs résultats améliorent la précision de l'exploitation de ceux obtenus après travaux).

Ces essais permettent d'apprécier la qualité de la liaison chemise-ouvrage (plaquage ou non).

[18] Contrôle d'un linéaire représentatif.

[19] Au cas où la norme NF EN 1610 n'est pas appliquée : mesure ponctuelle de perméabilité par infiltromètre.

[20] Respect des tolérances sur les plis (amplitude et disposition) précisées dans le C.C.T.P. et validées lors de l'inspection préalable au début des travaux (point d'arrêt du P.A.Q.). On évaluera les pertes de charge résultant du dépassement des tolérances et on appréciera l'impact sur les autres critères de réception (t.q. abrasion) ou d'exploitation (t.q. fréquence de curage).

[21] Dans cas particuliers (cf. clauses du C.C.T.P.) : essais réalisés sur un lot de trois échantillons prélevé tous les 200 mètres de collecteur ou par lot de fabrication :

- abrasion : essai CNR ou essai DARMSTADT,
- corrosion : essai spécifique dans le cas d'attaque chimique prévue.

[22] (o) = opération obligatoire

[23] Contrôle intérieur. En cas de non-conformité, essais par la méthode d'impédance mécanique avec un seuil de tolérance = $0,25 \text{ m}^2$ / surface élémentaire, total des surfaces décollées < 15% de la surface réhabilitée totale. On vérifie que la valeur, la surface et l'emplacement des décollements sont conformes aux hypothèses du dimensionnement. L'entreprise justifie également que la coque ne flotte pas pour limiter localement tout défaut d'étanchéité se manifestant à long terme.

[24] Tolérance pour des déformations par élément de coque = $\pm 1\%$

[25] Essais recommandés préalablement aux travaux (leurs résultats améliorent la précision de l'exploitation de ceux obtenus après travaux).

Ces essais permettent d'apprécier la qualité de la liaison coque/coulis/ouvrage (décollements ou non) et éventuellement l'apport mécanique. Ils ne permettent d'enregistrer une augmentation de raideur que si les liaisons coque/coulis et coulis/structure existante sont « parfaites ». Une diminution de la raideur calculée avant et après travaux n'est donc pas caractéristique d'une diminution des performances mécaniques de l'ouvrage, mais d'une liaison imparfaite entre le tubage et la structure. Dans ces conditions, les critères adoptés sont :

- raideur mesurée après travaux *supérieure* à celle mesurée avant travaux ou calculée* = liaison collée.
- raideur mesurée après travaux *inférieure* à celle mesurée avant travaux ou calculée* = décollement.

(* Dans le cas où aucune mesure n'a été réalisée avant travaux, la référence de comparaison est obtenue par modélisation de l'essai et de l'ouvrage par MEF).

[26] Outil complémentaire (cas de risques de vides importants, par exemple en voûte).

[27] Vérification des épaisseurs, de la qualité du remplissage et de la liaison coque - coulis.

[28] Viscosité Marsh, densité, exsudation à 2 h, Rc28j.

[29] Vérification du ressuage du coulis aux événements ainsi que des volumes injectés, des débits et pressions d'injection.

[30] Le contrôle des décollements varie selon le type de joints :

⇒ pas de vérification si les joints sont traités de façon pérenne (soudure PE, assemblage mécanique),

⇒ Pour les autres types de joints :

pas de vérification si on prévoit un dispositif anti-décollement généralisé (vérifié selon une méthode de calcul précisée), par ex. connecteurs ou treillis liés à la coque,

si on ne prévoit pas de dispositif anti-décollement généralisé, vérification de l'importance des surfaces décollées avec les seuils suivants :

décollement élémentaire < S ($0,25 \text{ m}^2$) et surfaces décollées totales < 15 % de la surface réhabilitée totale.

En cas de non-conformité, l'entreprise justifiera que la coque ne flotte pas pour limiter localement tout défaut d'étanchéité se manifestant à long terme.

[31] Tolérance pour des déformations par élément de coque = $\pm 1\%$.

[32] Outil complémentaire (cas de risques de vide annulaire important).

[33] Contrôle d'un linéaire représentatif.

[34] Au cas (par impossibilité technique, par exemple joint longitudinal ou à géométrie inadaptée) où la norme NF EN 1610 n'est pas appliquée (joint par joint), mesure ponctuelle de perméabilité par infiltromètre.

[35] Respect du profil et de la tolérance imposée dans le marché. Au cas où le marché ne précise pas de tolérance, adopter $\pm 10\%$ de la pente imposée. Si l'objectif hydraulique n'est pas affiché, vérifier que les travaux n'ont pas altéré la fonction hydraulique.

[36] (o) = opération obligatoire

[37] Des lots d'échantillons de bétons sont prélevés et contrôlés tous les 50 m de collecteur, afin de s'assurer de la conformité des matériaux frais et durcis. On s'assure aussi du respect des épaisseurs de béton frais. On vérifie la conformité des ferrillages.

[38] Vérification de l'atteinte des objectifs préalablement définis tenant compte de l'âge des matériaux, ce qui suppose que de tels essais ont déjà été réalisés pour l'étude de diagnostic préalable aux travaux.

Ou, dans le cas de la consolidation, appréciation des effets du chemisage, par rapport aux résultats des essais et mesures réalisés avant travaux avec le même outil.

NOTA : La vérification de l'atteinte d'objectifs préalablement fixés requiert :

- L'engagement envers le maître d'œuvre du bureau d'études préconisateur vis à vis des objectifs des travaux,
- L'accord de l'entreprise sur les moyens proposés par le maître d'œuvre.

[39] Localisation aléatoire pour contrôle des épaisseurs et/ou des caractéristiques physiques ou mécaniques. Le contrôle des épaisseurs par carottage n'est pas nécessaire si les résultats des contrôles d'épaisseur ont été satisfaisants en cours de travaux ou si des essais de vérinage, en fin de travaux, sont réalisés et leurs résultats sont satisfaisants.

[40] Des lots d'échantillons de bétons sont prélevés et contrôlés tous les 50 m de collecteur, afin de s'assurer de la conformité des matériaux frais et durcis. On s'assure aussi du respect des épaisseurs de béton frais.

[41] Essais effectués au droit de zones de parement singulières (présentant des défauts de parement).

[42] Dans le cas d'objectif de rectification de profil en long : respect du profil et de la tolérance imposée dans le marché. Au cas où le marché ne précise pas de tolérance, adopter $\pm 10\%$ de la pente imposée. Si l'objectif hydraulique n'est pas affiché, vérifier que les travaux n'ont pas altéré la fonction hydraulique.

[43] Dans le cas d'objectif quantifié de la capacité hydraulique.

[44] Des lots d'échantillons de bétons sont prélevés et contrôlés tous les 50 m de collecteur, afin de s'assurer de la conformité des matériaux frais et durcis. On s'assure aussi du respect des épaisseurs de béton frais,

ou par ex. essai CNR ou autre essai spécifique (1 lot de 3 échantillons pour 200 m ou par lot de fabrication).

[45] (o) = opération obligatoire.

[46] Des lots d'échantillons de coulis sont prélevés et contrôlés tous les 100 m³ ou 50 m de collecteur, afin de s'assurer de la conformité des matériaux injectés. On s'assure aussi du respect des critères d'injection.

[47] Vérification de l'atteinte des objectifs préalablement définis, ce qui suppose que de tels essais ont déjà été réalisés pour l'étude de diagnostic préalable aux travaux.

ou appréciation des effets des injections, par rapport aux résultats des essais et mesures réalisés avant travaux avec le même outil.

NOTA : La vérification de l'atteinte d'objectifs préalablement fixés requiert :

- L'engagement envers le maître d'œuvre du bureau d'études préconisateur vis à vis des objectifs des travaux,

L'accord de l'entreprise sur les moyens proposés par le maître d'œuvre.

[48] Localisation aléatoire ou implantation selon les résultats de l'auscultation.

[49] Dans le cas où les branchements particuliers ne sont pas réhabilités, leur inspection télévisuelle peut s'avérer nécessaire. Il s'agit de vérifier l'absence d'obstruction par du coulis et l'absence de désordres nouveaux apparus suite aux travaux.

[50] Il s'agit de vérifier la conformité du débit résiduel ou de la perméabilité imposés par le C.C.T.P. (par exemple, mesures hydrauliques en amont et/ou en aval des désordres traités ou mesures ponctuelles de perméabilité par infiltromètre).

[51] Il s'agit de mesurer les caractéristiques mécaniques ou physiques fixées en objectifs. Pour ce faire le nombre, la localisation des prélèvements ainsi que les essais auxquels ils seront soumis en laboratoire sont définis dans le C.C.T.P.

[52] (o) = opération obligatoire.

[53] Ce contrôle peut être réalisé par l'entreprise et vérifié par le contrôle extérieur.

[54] Limitations des déformations des éléments préfabriqués selon les tolérances prescrites par le fournisseur (cas des éléments préfabriqués) ou du profil imposé dans le marché.

[55] Des lots d'échantillons seront prélevés et contrôlés tous les 100 m³ de matériaux ou 100 m de collecteur, afin de s'assurer de la conformité des matériaux.

[56] En cas d'absence de contrôle en cours de travaux ou de non-conformités.

[57] Cas des éléments préfabriqués.

[58] Dans le cas de risque de vides importants.

[59] Essais effectués au droit de zones singulières ou non. La valeur requise est la plus petite des deux valeurs suivantes : 10⁻⁷m/sec (perméabilité déduite de la norme NF EN 1610) et perméabilité propre au matériau et à l'épaisseur mise en place.

[60] Relevé effectué tous les 5 m et vérification du profil exigé selon une tolérance de +/- 10 % de la pente imposée.

[61] La vérification sera réalisée transversalement dans le cas d'un objectif quantifié de capacité hydraulique et/ou longitudinalement dans le cas de rectification du profil en long.

[62] Dans cas particuliers (cf. clauses du C.C.T.P.) : essais réalisés sur un lot de trois échantillons prélevé tous les 200 m de collecteur ou par lot de fabrication :

- abrasion : essai CNR ou essai DARMSTADT,

- • corrosion : essai spécifique dans le cas d'attaque chimique prévue.

[63] (o) = opération obligatoire.

[64] Des lots d'échantillons de matériaux sont prélevés et contrôlés pour s'assurer de leur conformité. On s'assure aussi du respect des épaisseurs mises en oeuvre.

[65] Essais effectués au droit de zones de parement singulières ou non.

[66] (o) = opération obligatoire.

[67] Selon arrêté du 22 décembre 1994 et norme NF EN 1610.

[68] Choix selon considérations économiques.

[69] On évaluera les pertes de charge résultant des éventuelles déformations et réductions de section et on en appréciera l'impact sur les autres critères de réception.

[70] L'inspection télévisuelle permet de relever les éventuelles anomalies géométriques ou altérations de parement préjudiciables à la stabilité de la canalisation rénovée.

[71] Avec les techniques suivantes : vérinage intérieur ($\varnothing > 200$ mm) ou méthode par impédance mécanique ($\varnothing > 300$ mm)

[72] Essai destiné à vérifier que la chemise n'a subi aucune détérioration au cours de sa mise en oeuvre.

[73] Une épreuve d'étanchéité globale après rétablissement de l'écoulement des branchements est techniquement réalisable avec pose d'obturateurs par robot au droit des raccordements des branchements. Les obturateurs sont positionnés à une distance du raccordement égale à deux fois l'épaisseur de la canalisation en place avec un minimum de 30 mm. En cas de traitement spécifique du raccordement, les obturateurs sont positionnés 30 mm au delà de la longueur réhabilitée. Il est recommandé de tester par tronçon 100% des raccordements avec un minimum de 30% choisis par le maître d'ouvrage ou son représentant après inspection télévisuelle. Il est également possible de procéder à une épreuve d'étanchéité d'abord sur l'ensemble de la canalisation principale rénovée avant le rétablissement de l'écoulement des branchements, puis sur chacun des raccordements.

[74] A partir de la canalisation principale par caméra satellite.

[75] Le rétablissement de l'écoulement du branchement implique l'étanchéité du raccordement.

[76] (o) = opération obligatoire.

[77] Selon arrêté du 22 décembre 1994 et norme NF EN 1610.

[78] Choix selon considérations économiques.

[79] Même si les branchements n'ont pas été réhabilités, contrôle de leur bon fonctionnement hydraulique (absence de coulis de remplissage).

[80] Dans le cas de l'enroulement hélicoïdal, on évaluera les pertes de charge résultant des éventuelles déformations et réductions de section et on en appréciera l'impact sur les autres critères de réception.

[81] L'inspection télévisuelle permet de relever les éventuelles anomalies géométriques ou altérations de parement préjudiciables à la stabilité du tuyau.

[82] Avec les techniques suivantes : vérinage intérieur ($\varnothing > 200$ mm) ou méthode par impédance mécanique ($\varnothing > 300$ mm).

[83] Essai destiné à vérifier que le tuyau n'a subi aucune détérioration au cours de sa mise

en œuvre.

[84] Une épreuve d'étanchéité globale après rétablissement de l'écoulement des branchements est techniquement réalisable avec pose d'obturateurs par robot au droit des raccordements des branchements. Les obturateurs sont positionnés à une distance du raccordement égale à deux fois l'épaisseur de la canalisation en place avec un minimum de 30 mm. En cas de traitement spécifique du raccordement, les obturateurs sont positionnés 30 mm au delà de la longueur réhabilitée. Il est recommandé de tester par tronçon 100% des raccordements avec un minimum de 30% choisis par le maître d'ouvrage ou son représentant après inspection télévisuelle. Il est également possible de procéder à une épreuve d'étanchéité d'abord sur l'ensemble de la canalisation principale rénovée avant le rétablissement de l'écoulement des branchements, puis sur chacun des raccordements.

[85] A partir de la canalisation principale par caméra satellite.

[86] Le rétablissement de l'écoulement du branchement implique l'étanchéité du raccordement.

[87] (o) = opération obligatoire.

[88] Selon arrêté du 22 décembre 1994 et norme NF EN 1610.

[89] Choix selon considérations économiques.

[90] On évaluera les pertes de charge résultant des éventuelles déformations et réductions de section et on en appréciera l'impact sur les autres critères de réception.

[91] L'inspection télévisuelle permet de relever les éventuelles anomalies géométriques ou altérations de parement préjudiciables à la stabilité du tuyau.

[92] Avec les techniques suivantes : vérinage intérieur ($\varnothing > 200$ mm) ou méthode par impédance mécanique ($\varnothing > 300$ mm).

[93] (o) = opération obligatoire.

[94] Vérification de l'absence de bourrelet de gel ou de résine d'injection. Tolérance relative aux bourrelets éventuels (le mode de mise en oeuvre rend leur présence généralement exceptionnelle) : ≤ 3 % du diamètre pour \varnothing entre 150 et 600 mm, 2 % au delà.

[95] Choix selon considérations économiques.

[96] L'épreuve d'étanchéité à l'air ou à l'eau sur l'ensemble de la canalisation concernée prendrait en compte les zones qui n'ont pas été réparées. Pratiquement difficile mais réalisable, le contrôle d'étanchéité de chaque injection réalisée n'est pas économiquement raisonnable (coût proche de celui des travaux).

[97] Soit par la vérification des enregistrements continus des paramètres de l'autocontrôle, soit par la présence d'un contrôleur extérieur pendant tout ou partie des travaux.

[98] (o) = opération obligatoire.

[99] Vérification de la conformité de localisation des travaux et de l'hydraulicité (attention portée à la qualité du chanfreinage en particulier amont. Un défaut de collage aux extrémités ou dans la partie courante de la manchette constitue une non conformité).

[100] Choix selon considérations économiques.

[101] Tolérance relative aux plis éventuels (le mode de mise en oeuvre rend leur présence exceptionnelle) :

Plis longitudinaux, en principe inexistant, ils ne nuisent généralement pas à la débitance.

Plis transversaux ou biais, $\leq 3\%$ du diamètre pour \varnothing entre 150 et 600 mm.

Pour $\varnothing > 600$ mm ou dans le cas de plis multiples, on évaluera les pertes de charge résultant du dépassement des tolérances et on appréciera l'impact sur les autres critères de réception (t.q. abrasion) ou d'exploitation (t.q. fréquence de curage).

[102] « Dans le cas particulier où le contrôle d'étanchéité n'est pas réalisable sur l'ensemble des parties réhabilitées, il sera effectué à partir des contrôles d'exécution dans le cadre du PAQ » *RRR 98 p 96*

[103] (o) = opération obligatoire.

[104] Soit par la vérification des enregistrements continus des paramètres de l'autocontrôle, soit par la présence d'un contrôleur extérieur pendant tout ou partie des travaux.

[105] Ce contrôle est réalisé conformément aux recommandations pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement (RRR) de l'AGHTM relatives à l'inspection télévisée.

[106] Vérification de l'absence de bourrelets de gel ou de résine d'injection ou de plis.

[107] Tolérance relative aux bourrelets ou plis éventuels (le mode de mise en œuvre rend leur présence généralement exceptionnelle) : $\leq 3\%$ du diamètre pour \varnothing entre 150 et 600 mm, 2% au-delà.

[108] Choix selon considérations économiques.

[109] (o) = opération obligatoire.

[110] Dans le cas d'une réhabilitation globale et sauf impossibilité technique (réf. NF EN 1610).

[111] En cas d'absence de contrôle en cours de travaux, des carottages peuvent être réalisés en fin de travaux.

[112] Un lot de matériau sera prélevé pour chaque produit utilisé ou au moins tous les 100 m² de parement réhabilité.

[113] Dans cas particuliers (cf. clauses du C.C.T.P.), essai spécifique sur un lot de 3 échantillons par lot de fabrication en cas d'attaque chimique prévue.

[114] A titre indicatif pour un conduit circulaire, l'allongement du diamètre horizontal sur la canne principale est limité à 0,025%, soit 500 micromètres pour un conduit de DN 2000.

En règle générale, dans tous les ouvrages, le déplacement se situe entre 0 et 500 micromètres.

Pour certains ouvrages à géométrie non courante ou implantés dans un environnement particulier ou encore très fortement endommagés, une limite des déplacements peut être retenue.

Les courbes de raideur étant visualisées en temps réel, le chargement peut être stoppé immédiatement en cas de déplacement trop important.

[115] Amplitudes normalisées correspondant aux indices d'énergie nivelés de 0 à 100 dont la valeur 0 correspond à une réflexion nulle, matériau infiniment homogène (p. ex. la glace ou l'air) et 100 à une réflexion totale (p.ex. un milieu métallique).

[116] Un bon contact structure / sol ou coque / coulis génère de très faibles amplitudes (contraste diélectrique très faible). La présence du vide génère un très fort contraste diélectrique entre les matériaux solides (béton, coulis, sol) et l'air et provoque une

réflexion de très forte amplitude.

[117] La faisabilité de cette procédure est avérée dans le cas général (sous l'unique réserve, bien sûr, que l'échantillonnage permette d'obtenir le nombre d'éprouvettes suffisant). Pour les cas exceptionnels, le maître d'oeuvre sera fait juge de l'impossibilité liée à la spécificité de son chantier de l'appliquer.

[118] Quelle que soit la dimension de l'ouvrage. En ouvrage visitable, l'échantillonnage peut éventuellement se faire en des endroits représentatifs en section courante.

[119] A titre d'exemple, pour un \varnothing 300, une longueur de cylindre de 400 mm permet la découpe de 20 éprouvettes. Pour un \varnothing 200, une longueur minimale de 420 mm est nécessaire. En cas de prélèvement dans un regard intermédiaire (éléments demi-cylindriques), il convient de disposer d'une longueur au moins double de celle indiquée.