

LISTE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DE L'AMENAGEMENT

SERVICE DE LA MISE EN VALEUR DE L'HYDRAULIQUE
ET DU DEVELOPPEMENT RURAL

BUREAU DES SERVICES PUBLICS RURAUX

19 Avenue du Maine .75732 PARIS Cédex 15

DOCUMENTATION TECHNIQUE

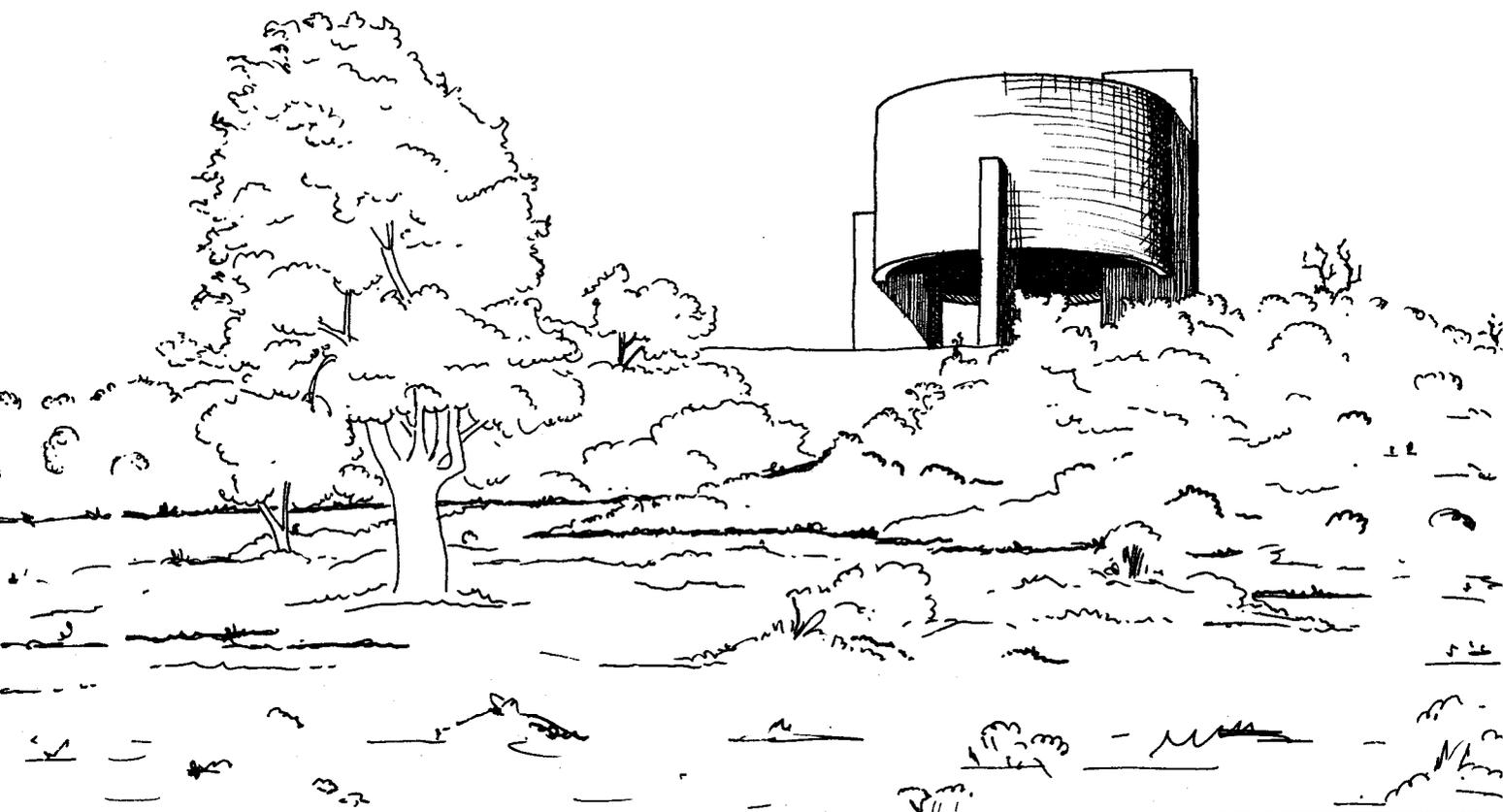
F. N. D. A. E.

(Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau Rurales)

N° 3

MANUEL PRATIQUE POUR LE RENFORCEMENT DE L'ETANCHEITE DES RESERVOIRS D'EAU POTABLE

Recensement et comparaison des différents procédés
de renforcement de l'étanchéité des réservoirs
d'eau potable



R.J. CHAUVET

SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMENAGEMENT DE LA REGION PROVENCALE

Boîte Postale 100 Le Tholonet 13603 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 1
TELEX 420512 F - TEL.42.23.98.50



MARS 1986

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DE L'AMÉNAGEMENT
SERVICE DE LA MISE EN VALEUR, DE L'HYDRAULIQUE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL
78, rue de Varenne - 75700 PARIS — Tél. : 555.95.80

BUREAU : Services Publics Ruraux

N/Réf. : G.LB/E.P.

V/réf. :

Dossier suivi

par : M. LE BARBANCHON

Poste : 5356

Objet : "Documentation technique
FNDAE n°3"

Monsieur le Chef de Division
Section qualité des eaux, pêche et pisci-
culture Paris
CEMAGREF

Groupement d'Antony
14 avenue de Saint-Mandé
75012 PARIS

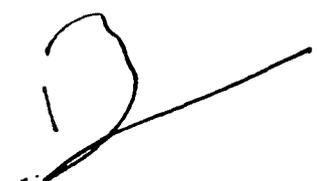
Paris, le **07 AOUT 1986**

Le Comité du Fonds National de Développement des Adductions d'Eau rurales (FNDAE) a souhaité, pour améliorer la diffusion des connaissances techniques et économiques utiles pour la conception et la gestion de services efficaces en milieu rural, que des plaquettes techniques soient élaborées et largement diffusées.

Le n°3 de cette "DOCUMENTATION TECHNIQUE FNDAE" vient de paraître, il recense et compare les différents procédés de réfection de l'étanchéité des réservoirs d'eau potable.

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint un exemplaire de ce manuel pratique destiné aux responsables des collectivités rurales et aux techniciens qui les assistent pour une gestion efficace des services de distribution d'eau potable.

Le Directeur de l'Aménagement


J. RENARD

Pièces Jtes :

S O M M A I R E

AVANT-PROPOS

Chapitre I	Introduction - Présentation du manuel
Chapitre II	Rappels de notions sur la dégradation des maçonneries et bétons, la corrosion des aciers et bétons, les fissurations
Chapitre III	Principales causes et conséquences des défauts d'étanchéité
Chapitre IV	Règlementation - cahiers des charges - potabilité - garanties et assurances
Chapitre V	Rappel de quelques notions sur les produits spéciaux utilisés en Génie Civil Principaux défauts constatés et leurs causes
Chapitre VI	Recommandations pour l'analyse des défauts d'étanchéité et le choix des procédés de réparation
Chapitre VII	Présentation des procédés utilisés pour le renforcement de l'étanchéité (fiches)

ANNEXES

AVANT-PROPOS

Les réservoirs d'eau potable sont un élément essentiel du fonctionnement des systèmes de distribution. D'après une estimation récente (Congrès AGHTM, 1980), le parc de réservoirs d'eau potable en France représente plus de 40 000 ouvrages contenant quelques 6 000 000 de mètres cubes d'eau.

Or, comme pour toute construction, la durée de vie d'un réservoir n'est pas illimitée, même si elle est relativement grande par rapport à celle d'autres parties du système de distribution (pompes, vannes, etc...).

Les premiers ouvrages en béton (armé d'abord, puis précontraint), qui succédaient aux anciens réservoirs en maçonnerie, ont été construits avec beaucoup de soins, par une main-d'oeuvre attentive. Les besoins urgents de la reconstruction après la deuxième guerre mondiale, puis le développement démographique et économique ont appelé la construction de réservoirs de plus en plus nombreux, quelquefois par des entreprises et une main d'oeuvre peu préparées, augmentant les cadences en diminuant parfois la qualité. Enfin, le développement industriel, source de pollutions, participe de façon non négligeable à l'accélération actuelle du vieillissement des ouvrages.

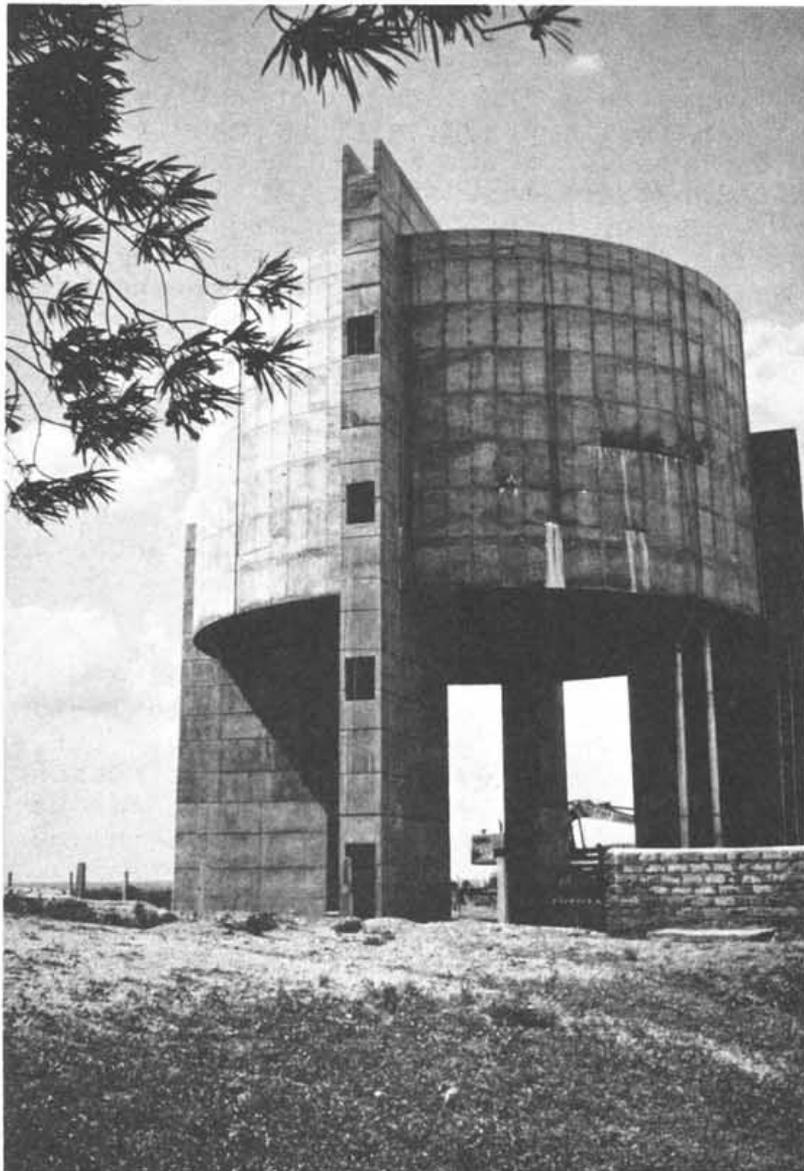
Nous sommes donc à une époque où les constructions soignées du début du siècle nécessitent, compte tenu de leur âge, des travaux de restauration, mais où des constructions plus récentes doivent également faire l'objet de réparations.

En effet, en cas de détérioration de l'étanchéité de réservoirs d'eau potable, les conséquences économiques (surconsommation d'énergie, diminution de la durée de vie des investissements) et surtout les nuisances (gêne des usagers, prélèvement accru des ressources en eau, détérioration de l'environnement et de l'image de marque du maître d'ouvrage ou du concessionnaire) sont de moins en moins admissibles.

Jusqu'à un passé relativement récent, le renforcement de l'étanchéité des réservoirs s'effectuait généralement par application d'un enduit dit de cuvelage à base d'un mortier à liant hydraulique.

L'augmentation du coût de la main-d'oeuvre, les contraintes d'intervention (délais) et l'augmentation rapide du nombre de matériaux et produits nouveaux disponibles sur le marché ont contribué au développement de nouvelles techniques de renforcement de l'étanchéité des réservoirs, applicables dans les conditions les plus variées.

Dans le but d'aider les collectivités locales et leurs conseils à choisir la méthode la mieux adaptée au problème à résoudre, le Comité du Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau a donné son accord pour que soit dressé, sous le contrôle du Ministère de l'Agriculture, un inventaire relatif aux différents procédés et produits pour le renforcement de l'étanchéité des réservoirs d'eau potable. Cette opération, confiée à la Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la Région Provençale, porte sur le recensement et la comparaison des différents procédés, précise leurs conditions de mise en oeuvre et analyse les contraintes techniques et économiques qui leur sont liées, donne enfin un certain nombre de recommandations pour l'obtention d'une bonne étanchéité.



L'établissement de cet inventaire s'est appuyé sur trois actions complémentaires :

- enquête auprès des exploitants de réservoirs d'eau potable,
- enquête auprès d'entreprises intervenant dans leur réparation,
- documentation bibliographique et contacts avec divers organismes intéressés par les questions abordées dans le manuel.

C'est ainsi qu'ont été recueillis, à différents stades de l'étude, les avis et informations des organismes suivants :

- . Syndicat Professionnel des Distributeurs d'Eau, par l'intermédiaire duquel a été lancée l'enquête auprès des exploitants ;
- . Chambre Syndicale Nationale des entreprises et industries de l'Hygiène Publique (6° section : Génie Civil) dont l'aide bénévole et la collaboration se sont avérées très précieuses à toutes les phases de l'étude et qui a bien voulu relire la minute du manuel ;
- . Cinq compagnies fermières de taille nationale, représentant un parc de plus de 2 300 réservoirs en exploitation, qui ont apporté leur utile expérience de maître d'ouvrage ;
- . Quatre vingts entreprises opérant dans le domaine des réparations ou de l'étanchéité, en tant qu'entreprise générale, applicateurs spécialisés ou formulateurs, grâce auxquelles a été réunie une abondante documentation sur les produits et procédés, d'où sont extraites certaines illustrations figurant dans le manuel ;
- . Le Ministère de l'Agriculture, instigateur de l'opération à laquelle il a apporté une attention toute particulière ;
- . Le Ministère des Affaires Sociales, qui a bien voulu faire le point sur la question délicate de la réglementation applicable en matière de qualité alimentaire ;
- . Le Syndicat des Formulateurs de Résines (SNFORES),
Le Centre d'Information d'Information des Assurances,
Le Syndicat des joints et façades (SNJF),
L'OPQCB,
et de nombreux autres organismes qui ont contribué par leurs avis à éclaircir divers points particuliers abordés.

Que tous soient ici remerciés de l'aide précieuse apportée à l'élaboration de ce document.

CHAPITRE I - INTRODUCTION - PRESENTATION DU MANUEL

I .- AVERTISSEMENT

Ce manuel pratique ne constitue pas un "cahier des charges" qu'il suffirait d'annexer à une consultation pour résoudre tous les problèmes de renforcement d'étanchéité de réservoirs d'eau potable.

Mais il veut être un outil de travail à l'usage des collectivités locales et de leurs conseils techniques ou administratifs confrontés à ces problèmes afin de les aider à analyser le plus efficacement possible l'état de l'étanchéité d'un réservoir et ses conséquences, et à choisir les procédés de renforcement les plus adéquats, en liaison avec les spécialistes (bureaux d'études, entreprises générales, applicateurs).

II.- PRESENTATION ET APPROCHE DU PROBLEME

Le renforcement de l'étanchéité d'un réservoir d'eau potable est généralement envisagé lorsque les dommages causés à l'environnement ou les perturbations du fonctionnement du réseau de distribution ne sont plus acceptables.

Parmi les conséquences de la détérioration de l'étanchéité d'un réservoir d'eau potable le plus souvent constatées, on peut mentionner :

- le risque d'accélération de la dégradation du réservoir : en effet, un défaut d'étanchéité peut constituer, à son tour, une nouvelle cause de dégradation. Par exemple, une fuite par une fissure peut entraîner une corrosion des aciers de la structure, qui sera affaiblie, et l'apparition de rouille entraînant à son tour un risque d'éclatement du parement par gonflement, etc....,
- le défaut d'aspect (taches, suintements, etc...). Ce n'est peut être pas techniquement le plus grave, mais ces manifestations ont le mérite de constituer un "signal d'alarme" visible pour l'exploitant et le grave inconvénient de nuire à l'image du service auprès des usagers. C'est donc souvent ce qui déclenchera une campagne de renforcement,
- le risque de dégradation des sols. Les fuites, même peu sensibles dans le fonctionnement du réseau de distribution, peuvent menacer la stabilité d'ouvrages riverains (plates-formes, routes, murs) voire même les fondations du réservoir proprement dit, le terrain étant ameubli ou au pire affouillé.

D'autres conséquences peuvent également apparaître. Les objectifs d'une campagne de renforcement d'étanchéité d'un réservoir sont donc multiples.

En pratique, on constate que l'approche du problème diffère selon de nombreux critères :

- la pérennité de l'ouvrage, si elle est menacée, privilégiera un renforcement rapide et systématique de la structure,
- l'aspect ne sera pas traité avec la même urgence selon l'environnement (réservoir isolé non visible ou bien château d'eau à l'entrée d'un village par exemple),
- l'âge du réservoir interviendra également avec les conséquences contractuelles des réparations d'un ouvrage jeune encore sous garantie,
- etc...

III.- OBJECTIF ET LIMITE DU PRESENT MANUEL

Ce manuel pratique a pour objectif de présenter un inventaire des procédés de renforcement des étanchéités les plus utilisés à l'heure actuelle, d'effectuer un recensement et une analyse des contraintes techniques et économiques liées à chacun d'eux, dans le but de sélectionner les procédés de renforcement les plus adéquats pour résoudre un cas concret, en liaison avec les différents intervenants (conseils techniques, entreprises).

L'étude est limitée aux réparations d'étanchéités de réservoirs en maçonnerie ou béton (armé ou précontraint). On a volontairement laissé de côté les réservoirs métalliques ou en polyester, très peu fréquents et qui font appel à des procédés spécifiques.

La taille du réservoir ou sa forme n'a que peu d'influence sur le choix du procédé, à l'exception du cas particulier rencontré pour le traitement des joints de dilatation qui n'apparaissent que pour les grands réservoirs.

Enfin, il faut rappeler que l'étude porte exclusivement sur les réservoirs d'eau potable avec les particularités que cela implique :

- . pas de possibilité d'étanchement naturel par des charges transportées (limon, etc...),
- . peu de risque d'attaque chimique par le contenu, excepté le cas d'eau de sources très pures pouvant attaquer certains types de ciments,
- . contraintes d'exploitation du réseau de distribution,
- . présence d'une couverture avec ses problèmes propres (condensation),
- . exigence de qualité "alimentaire" des produits utilisés.

IV.- PLAN DU MANUEL

Le présent manuel s'articule en trois parties principales.

Tout d'abord, après l'introduction, quatre courts chapitres font le point sur des notions techniques et réglementaires qu'il est bon de connaître avant d'aborder la question de la réparation proprement dite :

- . le chapitre II rappelle les principaux mécanismes de dégradation des matériaux rencontrés couramment dans la construction des réservoirs ;
- . le chapitre III présente un essai de classification des causes et des conséquences des défauts d'étanchéité ;
- . le chapitre IV replace les diverses interventions possibles dans le cadre réglementaire et contractuel en vigueur ;
- . le chapitre V paraît utile enfin pour démystifier certains produits spéciaux couramment utilisés en matière de réparation.

Ensuite, le chapitre IV réunit les recommandations pour l'analyse systématique des défauts d'étanchéité et le choix des procédés de réparation ; ce chapitre, par ses conseils et le développement d'une méthodologie proposée, constitue le noyau du présent manuel.

Enfin, le chapitre VII présente, sous forme de fiches, l'inventaire des différents procédés utilisés pour le renforcement de l'étanchéité et constitue la documentation de base sur laquelle s'appuie le chapitre précédent.

V .- METHODOLOGIE

Qu'entend-on par renforcement de l'étanchéité d'un réservoir d'eau potable ?

Le renforcement de l'étanchéité d'un réservoir d'eau potable consiste à rétablir dans son état un réservoir détérioré afin qu'il puisse assurer à nouveau ses fonctions.

Il a donc pour but :

- d'assurer l'étanchéité du "contenant", rôle premier du réservoir, en empêchant les déperditions,
- de restaurer la structure de l'ouvrage quand elle est déficiente (cassure, fissures ouvertes, etc...),

- d'assurer la potabilité de l'eau en interdisant les échanges avec le milieu extérieur polluant (réservoirs enterrés, couverture),
- de rétablir un aspect extérieur convenable, le cas échéant,

et cela dans les meilleures conditions de tenue dans le temps et de coût, si possible.

V.1.- Inventaire des principales techniques de renforcement

Les techniques de renforcement de l'étanchéité peuvent être classées en deux catégories:

- les techniques de réparation d'étanchéité qui consistent à améliorer une étanchéité défailante ; elles seront souvent l'objet d'applications ponctuelles ou limitées,
- les techniques de rénovation qui reprennent entièrement le système d'étanchéité, souvent après enlèvement d'une étanchéité précédente.

Il faut également mentionner le remplacement, peu souvent employé : on peut avoir recours à la construction d'un nouveau réservoir dans quelques cas particuliers (cuve très gravement détériorée, réaménagement du réseau de distribution).

On peut distinguer également les techniques :

- non structurantes, qui ne traitent que la fonction étanchéité,
- structurantes, qui ont pour but d'améliorer la résistance structurelle de l'ouvrage en même temps que d'assurer son étanchéité ou préalablement à la mise en place de celle-ci.

Suivant l'importance des travaux, on emploiera également les termes de "réfection" et "réhabilitation".

Ces opérations peuvent prendre place :

- au cours de la réalisation de l'ouvrage (renforcement en période de garantie),
- dans le cadre de la maintenance et de l'entretien courant du réservoir (petites réparations),
- au cours d'opérations particulières.

Dans le cadre du manuel, les différents procédés de renforcement sont classés selon trois critères :

- l'étendue d'application, le renforcement pouvant être effectué :
 - . point par point (joint, nid de cailloux, pénétration de canalisation, etc...),
 - . localement sur une partie du réservoir (chape partielle, ...),
 - . systématiquement sur l'ensemble de l'ouvrage.

- l'interaction avec la structure, le renforcement étant structurant ou non selon le degré de dégradation du support et la durée de vie escomptée pour la réparation.

- le mode d'intervention
 - . par l'intérieur, de loin le cas le plus fréquent, applicable à la quasi totalité des procédés,
 - . par l'extérieur, dans les cas particuliers imposés par les contraintes d'exploitation, limités à quelques procédés seulement (injections).

Les différents procédés inventoriés font l'objet de fiches descriptives, figurant au chapitre VII.

Pour chaque fiche, le procédé est étudié selon le plan suivant :

- I.- Description du procédé
 - 1.- Principe -
 - 2.- Variantes technologiques
 - 3.- Nature des produits utilisés.

- II.- Mise en oeuvre
 - 2.- Moyens et matériels nécessaires
 - 3.- Délais de remise en eau.

- III.- Domaine d'utilisation
 - 1.- Type et partie d'ouvrage
 - 2.- Etat de l'ouvrage
 - 3.- Points particuliers
 - 4.- Adéquation aux détériorations
 - 5.- Tenue.

- IV.- Diffusion du procédé
 - 1.- Cahier des charges
 - 2.- Agréments
 - 3.- Références

V.- Avantages et inconvénients

- 1.- Avantages (selon technologie et produits)
- 2.- Inconvénients (selon technologie et produits)

VI.- Influence des contraintes particulières sur le coût

Pour faciliter le choix des procédés, un tableau récapitulatif rappelle de manière synthétique leur adéquation aux causes de détérioration.

Enfin, pour faciliter la compréhension des différentes fiches, un chapitre spécial en annexe présente les différentes natures de produits disponibles sur le marché classés par grandes familles.

V.2.- Analyse des contraintes économiques

Dans ce manuel, il n'est pas question de donner des prix d'ordre de réparation, encore moins des prix unitaires selon les procédés utilisés.

En effet, ceux-ci s'avèreraient très rapidement inutilisables en raison des variations économiques d'une part, et de l'évolution prochaine des technologies et produits d'autre part.

Mais surtout le coût de mise en oeuvre d'un procédé de renforcement est très largement affecté par les conditions particulières propres à chaque cas (accessibilité, délai de chômage possible, présence éventuelle d'un ancien produit d'étanchéité à supprimer, etc...).

Le paragraphe correspondant dans les fiches est donc essentiellement un guide permettant le recensement des différents facteurs pouvant avoir une influence sur le coût, avec une indication de la sensibilité du prix des différents procédés à ces facteurs et des recommandations concernant les sous-détails de prix à demander aux entreprises pour permettre une saine comparaison.

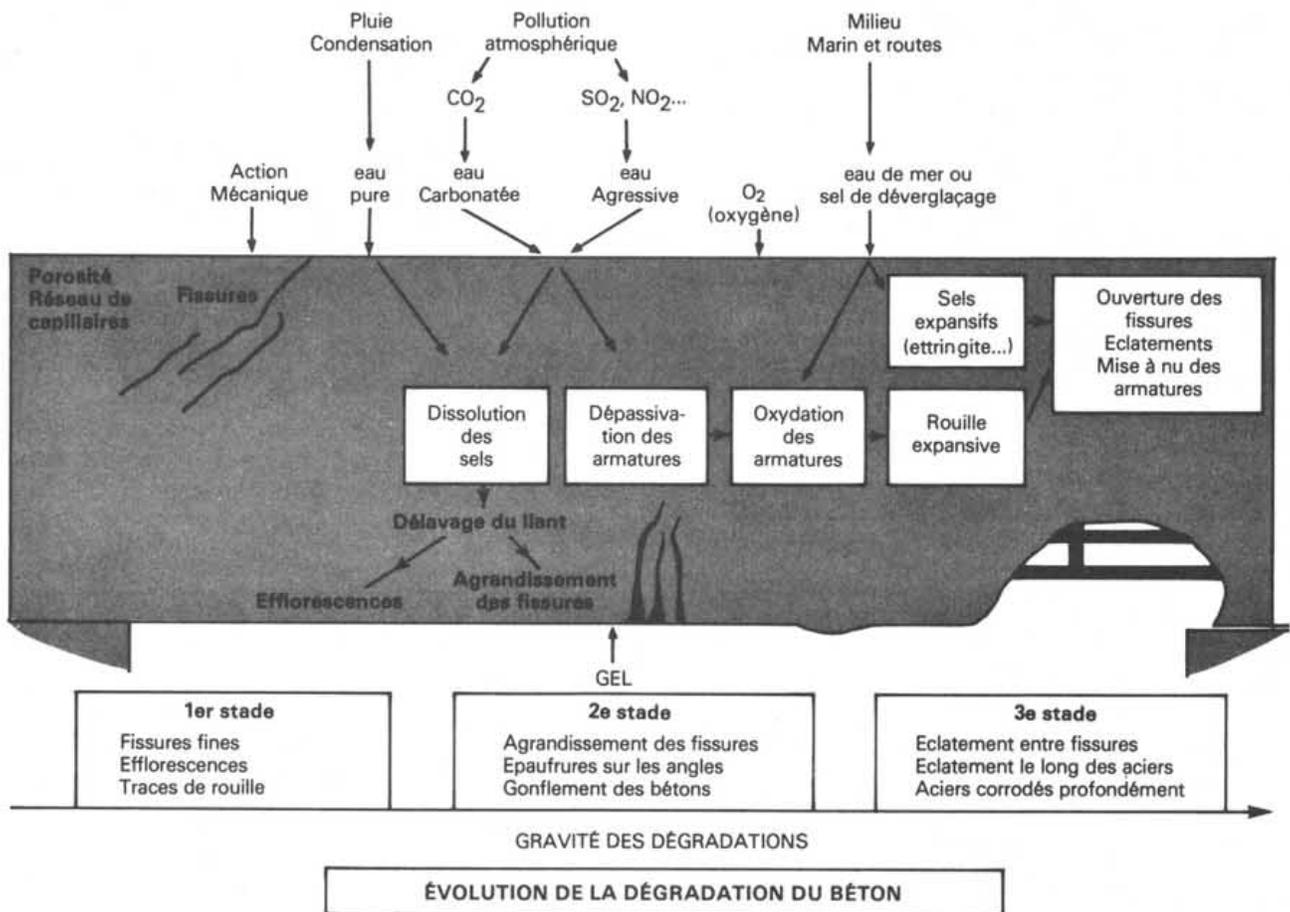
CHAPITRE II - RAPPELS DE NOTIONS SUR LA DEGRADATION DES MACONNERIES ET BETONS, LA CORROSION DES ACIERS ET BETONS, LES FISSURATIONS

Les rappels de notions contenus dans ce chapitre ne concernent pas directement l'"étanchéité" du réservoir proprement dite, mais sa structure.

Néanmoins, lorsqu'on est confronté à un problème d'étanchéité, il paraît indispensable d'avoir quelques connaissances en ce domaine pour plusieurs raisons :

- on ne peut pas toujours dissocier les deux fonctions "structure" et "étanchéité", soit parce que la structure assure directement l'étanchéité, soit parce qu'elle en assure le support, qui doit de toute façon présenter un minimum de qualité pour jouer son rôle,
- la défaillance de la structure est très souvent à l'origine des défauts d'étanchéité observés : création de fissures, mouvement entraînant l'ouverture de joints ou la chute d'enduits, etc...
- risque enfin de détérioration grave de la structure, dans le cas de défaut d'étanchéité, par attaque due aux fuites.

Sans rentrer dans les détails, il est donc intéressant de rappeler les processus des différentes dégradations. Le schéma ci-après (tiré d'un document SIKA) résume parfaitement ces mécanismes.



Il faut retenir que les principaux agents de corrosion des maçonneries et bétons que l'on rencontrera en matière de réservoir sont :

- . le gaz carbonique amené en dissolution dans l'eau,
- . l'oxygène, de l'air ou dissout,
- . les sels internes anhydres (le sulfate de sodium, par exemple, augmente son volume de 320 % en s'hydratant),
- . les eaux pures de condensation,
- . les écarts de température et le gel,

Ces phénomènes ont pour conséquence d'affaiblir la structure soit :

- . par des variations de dimensions successives entraînant ouvertures de fissures, déchaussements d'agrégats, éclatements,
- . par des affaiblissements chimiques, entraînant une attaque de liants et des aciers, pouvant dans les cas extrêmes aller jusqu'à la coupure totale des aciers et la désagrégation des mortiers.

Les modes de dégradation accidentels et leurs effets sur le béton peuvent être repris dans le tableau suivant :

Cause accidentelle	Mécanisme	Effet
Choc	Rupture	Fissure, éclatement
Alternance de charges	Fatigue	Fissures, rupture
Ecoulement d'eau	Erosion	Surface détériorée
Gel	Extension	Fissuration
Gel/dégel	Chute de température	Effritement, désagrégation
Chlorures, etc...	Dépassivation	Corrosion en profondeur
Sulfates	Expansion de cristaux	Désintégration
Eau de condensation, de pluie	Neutralisation	Corrosion
Micro-organismes	Production d'acides	Corrosion
Dioxyde de carbone	Carbonatation	Corrosion
Corrosion des aciers	Amincissement	Rupture
Corrosion des aciers	Rouille	Fissuration de surface, éclatement
Pollution	Cristallisation	Fragmentation du béton
Agrégats alcalins	Réaction silico-alcaline	Expansion

En pratique, on pourra se protéger contre ces différents agents par :

- . un béton le plus compact et le moins poreux possible,
- . un dosage suffisamment riche (plus il y a de ciment, moins il y a risque de carbonatation et plus on doit obtenir un mortier étanche),
- . une bonne ventilation (éviter les eaux pures de condensation),
- . une obturation des fissures et autres points de fuite (pour éviter la circulation de l'oxygène et du gaz carbonique dissout, ainsi que l'entraînement de sels du liant et de la rouille),

Il sera utile de garder en mémoire ces principes de base lorsqu'on analysera les défauts d'étanchéité et les remèdes possibles.

CHAPITRE III - PRINCIPALES CAUSES ET CONSEQUENCES DES DEFAUTS D'ETANCHEITE

Les principaux défauts d'étanchéité d'un réservoir en maçonnerie ou béton peuvent se résumer en six grandes familles principales :

- . fissuration, de loin le défaut le plus courant,
- . porosité de la structure,
- . désagrégation de la structure,
- . décollement d'enduit ou revêtements divers,
- . ouverture de joints,
- . épaufrage et éclatement du béton.

Mais, ces mêmes défauts peuvent être la manifestation de multiples causes, qu'il est bon de connaître afin d'établir le meilleur diagnostic et de déterminer le meilleur remède. Pour plus de facilité, on se reportera au tableau suivant.

A- Opérations de construction. La mise en oeuvre est à l'origine de de très nombreux défauts.

Parmi ceux-ci, on peut citer en particulier :

- . une mauvaise vibration du béton ou un mauvais serrage de mortiers de maçonnerie, d'où une porosité dans la masse et l'ouverture de fissures de construction (reprises),
- . aciers mal placés ou oubliés : erreur heureusement rare, entraînant fissuration par action mécanique,
- . un mauvais calage des aciers : trop près de la surface, ils sont attaqués plus rapidement par la corrosion,
- . trous pour écarteurs de coffrages mal obturés : fuites,
- . un déplacement des coffrages en cours de bétonnage : déformation de surface et risque de fissuration plane parallèle au coffrage,
- . mauvais nettoyage des fonds de coffrage : porosité à la reprise, etc...

On pourrait citer de nombreuses autres opérations de construction étant à l'origine de défauts. Mais, il ne s'agit souvent que de défauts créant un affaiblissement, la cause directe de dégradation intervenant ensuite avec plus d'efficacité (exemple : aciers mal enrobés et corrosion).

B- Retrait. C'est un phénomène naturel des bétons et mortiers et qui se traduit par :

- . un réseau de fissures fines apparaissant surtout en surface, sans direction préférentielle. Peu gênantes par elles-mêmes pour l'étanchéité, elles peuvent favoriser les autres agents de détérioration,
- . un décollement des mortiers de liaison des maçonneries,
- . l'ouverture de reprises de construction. Ce dernier phénomène, particulièrement gênant dans une cuve de réservoir, est fréquemment la source de fuites lors des premières mises en eau.

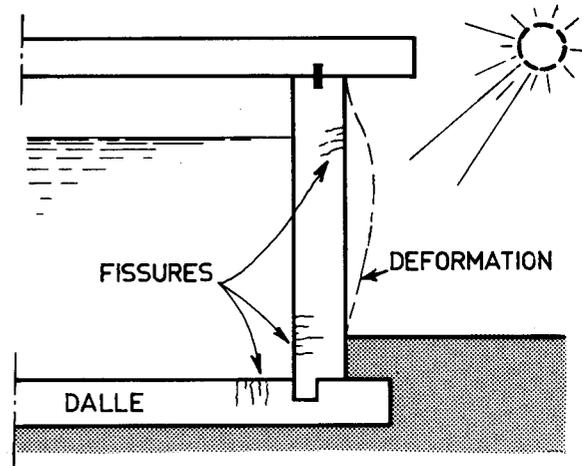
DEFAUTS d'ETANCHEITE des RESERVOIRS
SYMPTOMES DIRECTS et CAUSES PRINCIPALES

Causes principales		Principaux symptômes directs					Etat probable	
		Fissuration	Epaufrure	Désagrégation	Décollement enduit	Porosité	Ouverture joints	a c t i f
Opérations de construction		X			X	X	X	X
Retrait au séchage		X				X		X
Contraintes thermiques	Température extérieure	X			X		X	
	Température intérieure	X	X				X	X
Absorption d'eau		X		X	X		X	
Corrosion des barres	Chimique	X	X				X	
	Electrolytique	X	X				X	
Réaction chimique		X	X	X		X	X	
Altération atmosphérique			X	X	X		X	
Choc		X	X		X			X
Mouvements de fondation		X	X		X		X	X
Détails mal conçus		X	X		X		X	(?)
Erreurs d'étude		X	X				X	(?)

C- Contraintes thermiques. La dilatation différentielle due aux différences de température peut entraîner des fissurations. On en rencontre dans certains types de réservoirs dont la dilatation de quelques pièces est gênée (cf. figure).

D'autre part, la dilatation thermique fait varier l'ouverture des fissures créées par ailleurs, ainsi que l'ouverture de joints.

Enfin, la dilatation des parois exposées au soleil peut entraîner des décollements d'enduits s'ils sont mal accrochés.



D- Absorption d'eau par la maçonnerie ou le béton qui peut avoir pour effet immédiat :

- . le gonflement du mortier,
- . l'attaque chimique ou la dissolution des agrégats défectueux.

Cela peut se traduire par :

- . des fissures de gonflement (fines, réparties),
- . une désagrégation éventuelle des parties où les agrégats sont mal enrobés ou attaqués,
- . un décollement des enduits sous l'effet du gonflement et de la pellicule d'eau s'établissant derrière l'enduit.

E- Corrosion des aciers. A effet spectaculaire et parfois dangereux (affaiblissement de la structure, voire rupture), elle peut avoir deux origines : électrolytique ou chimique.

Son identification est aisée :

- . d'abord apparition de fissures parallèles aux tracés des armatures,
- . puis apparition de traces de rouille,
- . enfin, le béton s'épauvre au droit des armatures, éclatant sous la poussée de la rouille qui augmente le volume des aciers.

Il faut dégager les armatures pour connaître l'origine de la corrosion :

- . si la rouille apparaît sous forme ponctuelle, en piquage ou aux contacts entre barres, c'est probablement une corrosion électrolytique. Seul remède, supprimer les courants vagabonds : vérifier l'isolation électrique des canalisations liées au réservoir, les câbles éventuels (éclairage, pompage, ...),
- . si la rouille est générale, c'est probablement une corrosion chimique (cas le plus fréquent). Le remède est alors une reconstitution soignée du béton d'enrobage dégradé par ragréage et étanchéité de surface éventuelle.

Ce phénomène apparaît particulièrement en sous-face des couvertures, par attaque par les eaux de condensation et au droit des angles saillants (nervures, ceintures en b.a., piliers de cuves surélevées, etc...). Il faut particulièrement le surveiller dans le cas des réservoirs en béton précontraint, les câbles tendus étant des plus fragiles à la corrosion.

F- Réactions chimiques. Il en existe de nombreuses qui attaquent les agrégats ou le mortier de liant. Citons entre autres :

- . l'eau douce qui entraîne la chaux libre du liant, laissant un squelette poreux. Peu rapide, ce phénomène se manifeste parfois dans le cas de percolation à travers un béton ou une maçonnerie déjà poreux à l'origine par défaut de mise en place,
- . le gaz carbonique, dans l'air ou en dissolution dans l'eau, attaque également la chaux libre du liant,
- . les sulfates (apportés par la pollution atmosphérique sur les structures extérieures) agissent sur les constituants du ciment pour créer des sels gonflants,
- . les chlorures (cas des embruns pour les ouvrages construits près de la mer) attaquent aussi le ciment,
- . enfin, certains agrégats peuvent réagir avec les ciments très basiques, laissant apparaître des désagrégations en surface (alcali réaction, d'autant plus fréquente qu'elle s'exerce en milieu humide).

Toutes ces attaques chimiques sont favorisées par la circulation d'eau, donc par les défauts d'étanchéité, qu'ils aggravent ensuite, engendrant un processus de détérioration qui va s'accélération.

Les symptômes de l'attaque chimique sont en général la désagrégation et l'épaufrure des arêtes, le gonflement éventuel, et l'apparition de fissures fines en réseau.

G- Altérations atmosphériques. Elles sont en fait des causes indirectes car elles apparaissent par :

- . l'apport d'eau douce ou de polluants atmosphériques par les eaux de pluies, favorisant l'attaque chimique (voir F),
- . l'attaque du béton ou de la maçonnerie par le gel : désagrégation par éclatement dû à la glace des parties extérieures.

Le meilleur remède est une étanchéité extérieure et un bon drainage des eaux pluviales.

Attention aussi aux agrégats gelifs.

H- Chocs. C'est une cause purement accidentelle, au sens original du terme, qui se traduit par des fissures, des éclatements de béton ou des chutes d'enduit.

Citons également, dans le cas particulier des réservoirs :

- . les vibrations des conduites pénétrant dans la cuve, par suite de coups de bélier ou de transmission de vibrations (pompes, etc...) qui peuvent causer des descellements,
- . des chocs lors d'opérations de maintenance : enduits raclés ou poinçonnés, arrachements accidentels de revêtements souples.

I- Mouvement de fondations. Ils peuvent se produire soit par insuffisance au cours des études ou des travaux, soit par suite d'infiltration d'eau dans le sol qui en modifie alors le comportement.

Ces mouvements peuvent se traduire par l'apparition de fissures (tassements différentiels), l'ouverture de joints de construction, particulièrement en radier de cuves au sol, l'épaufrage au droit de ces joints par suite de frottement mécanique lors des tassements, ou des décollements d'enduits mal accrochés lors des mouvements.

Ils sont plus sensibles dans le cas des réservoirs au sol ou enterrés, les fondations des châteaux d'eau faisant généralement l'objet de soins particuliers.

J- Détails mal conçus (ou mal réalisés). Ils sont malheureusement nombreux et on ne peut les passer tous en revue. Citons à titre d'exemple les plus caractéristiques.

- . les jonctions jupes-radier, sources de nombreux incidents, qui doivent permettre un jeu relatif suffisant ou faire l'objet de renforcements particuliers,
- . l'accrochage des enduits et des revêtements souples,
- . le détail des joints de dilatation,
- . les détails des évacuations des eaux pluviales,
- . les ancrages des conduites pénétrantes et les scellements divers.

K- Erreurs d'études. Il arrive hélas encore trop fréquemment qu'il en soit commis. Mise à part la conception des détails cités plus haut, il s'agit principalement d'erreurs de dimensionnement ou de défauts de prises en compte de charges extérieures qui conduisent à un ouvrage trop faible et entraînent surtout des fissurations et des ouvertures de joints.

On peut rattacher à cette famille, les modifications de conditions de fonctionnement au cours de la vie de l'ouvrage (surélévation du plan d'eau, apport de remblais extérieurs, création d'ouvertures ou de pénétrations supplémentaires, etc...) qui conduisent à des déboires du même ordre, même pour un réservoir bien conçu à l'origine.

En conclusion de ce chapitre, il faut garder à l'esprit, ainsi qu'il est rappelé dans le tableau récapitulatif, qu'il s'agit là d'un classement des causes principales en grandes familles. Mais généralement, une cause unique a rarement des conséquences graves pour l'étanchéité du réservoir et seule une combinaison de plusieurs causes entraîne une dégradation notable, comme on l'a vu dans l'exposé des mécanismes d'action.

On peut donc en tirer les recommandations suivantes :

- . lors de l'examen des causes possibles, ne jamais s'arrêter à la première cause évidente, mais les passer toutes en revue, systématiquement, pour détecter les combinaisons possibles,
- . dès qu'une cause de détérioration est mise en évidence, il est prudent de la supprimer par une intervention adéquate sans attendre l'évolution ultérieure, car c'est généralement la porte ouverte à d'autres agents de dégradations et la réparation ultérieure n'en sera que plus complexe et coûteuse si on attend trop longtemps.



CHAPITRE IV - REGLEMENTATION - CAHIER DES CHARGES - POTABILITE -
GARANTIES ET ASSURANCES

Ce chapitre traite de quelques aspects contractuels concernant la construction et la réparation des réservoirs.

I.- REGLEMENTATION TECHNIQUE ET CAHIERS DES CHARGES

La construction et la réparation des réservoirs sont maintenant soumises à l'application du fascicule 74 du C.C.T.G. des marchés publics de travaux : "Construction des réservoirs et châteaux d'eau en béton armé, en béton précontraint ou en maçonnerie et des ouvrages annexes" publié en 1983.

Ce fascicule fait suite au "Cahier des prescriptions communes" pour le même objet établi par le Ministère de l'Agriculture en 1966.

Bien qu'il ne s'applique en principe qu'aux marchés de travaux passés au nom de l'Etat, la plupart des marchés de travaux des collectivités y fait référence.

D'une façon générale, on appliquera les différents fascicules du CCTG pour les travaux concernés (terrassements, béton armé, béton précontraint, canalisations, etc...).

En matière d'étanchéité de réservoirs, il est à souligner que le fascicule 74 prévoit expressément une méthode de calcul des structures en béton armé différente des règles usuelles (connues sous le terme BAEL 83) afin de garantir une meilleure étanchéité de la cuve (jupe et radier).

Pour les dispositions particulières, on fait référence également aux documents techniques unifiés (DTU), notamment le DTU 14.1 "Travaux de cuvelage", le DTU 26.1 "Travaux d'enduits aux mortiers de liants hydrauliques" et 26.2 "chapes et dalles à base de liants hydrauliques".

Parallèlement à ces documents réglementaires, on trouvera également des renseignements et recommandations dans d'autres documents fort utiles en matière de réservoirs et de réparation :

- . le cahier des charges "Réservoirs et cuves en béton armé", établi par la Chambre Syndicale des Constructeurs en ciment armé, publié dans les Annales de l'ITBTP de février 1960,
- . le "guide pour le choix et l'application des produits de réparation des ouvrages en béton", document de travail établi par le Laboratoire Central des ponts et chaussées,
- . les "cahiers des charges" établis par les entrepreneurs (formulateurs ou applicateurs) pour différents procédés de réparation d'étanchéité soumis aux visas des bureaux de contrôle (Veritas, Socotec, ...).

Parmi ces documents, on trouve des cahiers des charges concernant la mise en oeuvre d'enduits, d'injections de fissures, d'étanchement par feuilles plastiques collées ou accrochées, de revêtement de résines, etc...

Les maîtres d'ouvrages peuvent les demander aux entreprises consultées et les annexer éventuellement au marché.

- . La collection des guides traitant des différentes techniques de réparation et de renforcement des ouvrages en béton, réalisée par l'Association Française pour la Construction (AFPC) associée avec la FNTF, le SNBATI et le STRRES.

II.- AGREMENT DES PRODUITS ET PROCÉDES

En ce qui concerne la qualité des produits de réparation, la plupart d'entre eux ne fait pas l'objet de normes (excepté les ciments). Mais il existe des organismes spécialisés qui procèdent à des analyses et essais, et peuvent donner éventuellement un "avis" pour des usages définis. Citons notamment :

- . le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), notamment pour les produits annexes d'étanchéité,
- . le SNJF (Syndicat National des Joints et Façades), pour les produits de joints,
- . le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) pour les produits de réparation des bétons et maçonneries (ragréage et injections).

Ces divers organismes ne délivrent pas d'"agrément" officiel donnant une garantie de résultat, mais leur "avis" permet de s'assurer d'une utilisation correcte et d'une qualité de fabrication suivie. Souvent cités par les fournisseurs, il est bon d'en connaître l'existence.

En matière de savoir-faire des entreprises, il faut mentionner l'OPQCB (Organisme Professionnel de Qualification et de Classification du Bâtiment et des activités annexes) qui décerne un certificat de capacité. Souvent cité par les entreprises titulaires de ces certificats il y a lieu de noter les qualifications :

- . 1352 - ouvrages étanches en béton armé, avec les subdivisions
1 "cuvelages" et 2 "cuves et réservoirs à eau"
- . 337 - enduits et chapes en ciment hydrofugé,
- . 339 - application de résines synthétiques.

Comme pour les avis de produit, le certificat OPQCB n'assure pas une garantie absolue de bonne exécution, mais une bonne présomption de capacité professionnelle dans les domaines considérés. S'il vaut mieux faire appel à de telles entreprises pour des travaux très spécialisés (résines, par exemple), rien n'empêche cependant de trouver des entreprises ou applicateurs très efficaces par ailleurs.

III.- POTABILITE

En matière de réparation de réservoir d'eau potable, il convient évidemment que les produits utilisés au contact de l'eau n'altèrent pas la "qualité alimentaire" de celle-ci. Ces produits doivent donc :

- . ne pas libérer de produit toxique en quantités supérieures au minimum défini par les normes,
- . ne pas modifier les qualités organoleptiques de l'eau potable (goût, couleur et odeur).
- . ne pas provoquer de réaction intempestive avec les supports.

Ces conditions sont indépendantes : il y a eu, par exemple, un certain nombre de déboires avec des produits de revêtement parfaitement inoffensifs mais qui donnaient à l'eau un goût inacceptable.

Si les principes ci-dessus paraissent évidents, leur mise en application sur le plan réglementaire est moins simple. La situation présente (1985) est la suivante :

- . la qualité des eaux potables distribuées est définie par les textes de 1961 et 1962,
- . les produits au contact des eaux potables (revêtements, etc...) ne sont pas soumis à obligation réglementaire de contrôle de qualité. Mais le règlement sanitaire départemental type laisse la liberté à chaque intervenant (maître d'ouvrage ou entreprise) de faire le nécessaire, s'il le juge utile, pour s'assurer de la compatibilité du produit utilisé avec une eau potable.

Dans ce cadre très libre, de nombreux fournisseurs de produits ont fait des demandes d'analyse auprès de divers laboratoires et les joignent à leurs références.

Mais cette situation va évoluer très prochainement puisque de nouveaux textes en cours d'élaboration au Ministère des Affaires Sociales devraient être signés et publiés très prochainement (début 1986 en principe).

Les principes retenus dans cette future réglementation, en accord avec les directives européennes sur les eaux potables, rendront obligatoire pour tout produit au contact de l'eau potable un agrément qui devra porter sur deux plans :

- . la nature des substances constituant le produit, qui devront être déclarées aptes au contact des denrées alimentaires,
- . un criblage sur le produit fini au contact de l'eau, selon un protocole d'essais approuvé par le Conseil Supérieur de l'Hygiène.

Dans l'état actuel des choses, et en attendant la publication des textes habilitant les laboratoires, seul le laboratoire des services de Contrôle des Eaux de la ville de PARIS est reconnu par le Ministère pour effectuer ces tests.

IV.- GARANTIES ET ASSURANCES

En la matière, il faut distinguer les aspects "responsabilité" d'une part et "assurance" d'autre part.

1.- Responsabilités. La responsabilité des constructeurs après réception des travaux est régie par le Code Civil (articles 1792 et 2270), applicable à tous les marchés de travaux publics ou privés, de génie civil ou de bâtiment. Ces articles mettent à la charge du constructeur deux types de garanties :

- a- une garantie de parfait achèvement, d'un an à compter de la réception, s'étendant à la réparation de tous désordres signalés par le maître d'ouvrage (notifiés lors de la réception ou postérieurement), mais non aux désordres survenant de l'usure normale et de l'usage.

On pourrait admettre que l'étanchéité d'un réservoir est couverte par cette garantie, mais la jurisprudence ne s'est pas encore prononcée sur cette question.

- b- Une garantie de 10 ans (garantie décennale) pour tous les dommages survenus après réception et qui :
- . rendent l'ouvrage impropre à sa destination,
 - . ou portent atteinte à la solidité de l'ouvrage.

Cette garantie s'applique d'office au constructeur, à charge pour celui-ci, éventuellement, de prouver que les dommages proviennent d'une cause étrangère (événement de force majeure ou faute de tiers, y compris faute de conception imputable aux seuls maîtres d'ouvrage ou d'oeuvre).

Ces principes s'appliquent à la réalisation d'ouvrages neufs. S'agissant des travaux de réparation et d'entretien, il convient de distinguer :

- . les dommages survenant aux ouvrages existants du fait de l'exécution des nouveaux travaux : ces dommages ne sont pas soumis à garantie décennale mais à la seule garantie de droit commun ;
- . les dommages susceptibles d'affecter les travaux neufs (de réparation ou d'entretien) : la loi du 4 janvier 1978 ne s'est pas prononcée sur le point de savoir si ces travaux devaient être soumis à garantie décennale et la jurisprudence n'a pas eu à connaître de cette question pour des travaux soumis à la législation nouvelle.

En conséquence, il y a lieu de respecter un certain nombre de précautions non limitatives pour éviter les difficultés entre intervenants :

- . nécessité d'un diagnostic de l'ouvrage existant,
- . réalisation d'un constat contradictoire de l'état des lieux au début des travaux et, en cours des travaux, en cas de rencontres imprévues,
- . attention particulière à porter aux solutions et produits à retenir pour les travaux neufs,
- . définition précise des essais et de celui qui devra les réaliser,
- . Prévoir des paiements en dépense contrôlée pour les imprévus, etc...

- 2.- L'assurance de la garantie décennale n'est obligatoire, de part la loi, que pour les travaux de bâtiments.

Aucune assurance n'est donc obligatoire en matière de renforcement d'étanchéité de réservoirs, classés explicitement parmi les ouvrages de génie civil.

Mais rien n'empêche une entreprise d'en souscrire une volontairement soit spontanément, soit sur demande du maître d'ouvrage. Dans ce cas, cette demande est à inclure dans le texte du marché ; mais son surcoût est assez élevé.

CHAPITRE V - RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS SUR LES PRODUITS SPECIAUX UTILISES EN GENIE CIVIL

PRINCIPAUX DEFAUTS CONSTATES ET LEURS CAUSES

La réparation de réservoirs peut faire appel à des produits spéciaux, souvent à base de résines, dans la plupart des procédés : obturations, calfeutrements, pontages, injections, enduits et revêtements, ragréages, collages.

Le présent chapitre rappelle quelques notions sur ces produits spéciaux :

I.- LES PRODUITS UTILISES

Les qualités recherchées dans la plupart des applications sont :

- . une bonne adhérence au support,
- . une résistance mécanique au moins égale à celle du support,
- . une imperméabilité à l'eau, même en faible épaisseur,
- . un module d'élasticité équivalent à celui du support (enduits, ragréages, colmatages) ou au contraire bien supérieur (pontages, revêtements souples),
- . un coefficient de dilatation équivalent à celui du support,
- . pas d'altération par les agents extérieurs (eau, condensation, sous-pressions),
- . une bonne tenue dans le temps,
- . pas de réaction parasite au contact de l'eau et des supports.

Pour répondre à ces critères, et selon les applications, on utilise essentiellement :

- * les liants hydrauliques :
 - . traditionnels (ciment + sable + eau + adjuvant éventuel),
 - . prédosés (seule l'eau est à ajouter sur le chantier),
- * les liants de résines seuls,
- * les liants hydrauliques améliorés :
 - . aux résines "miscibles" (acétates, styrène-butadiènes, sur chantier),
 - . prédosés avec résines "miscibles" (acryliques, latex...),
 - . prédosés avec résines "miscibles" plus fibres synthétiques.

Parmi les résines synthétiques, on distingue deux grandes familles :

- . les thermoplastiques,
- . les thermodurcissables.

Les résines thermoplastiques peuvent se présenter sous diverses formes :

- . telles quelles, avec mise en oeuvre par simple chauffage,
- . diluées dans un solvant,
- . en émulsion aqueuse.

En matière de réparation de béton, cette famille comprend principalement les acryliques, les acryloamides et les styrène-acryliques, l'acétate de polyvinyle, les styrène-butadiènes (PVC, polyéthylène, polystyrène...).

Les résines thermodurcissables comprennent trois grandes familles :

- . polyesters et polyethers qui durcissent par polymérisation sous l'effet d'un catalyseur,
- . polyuréthanes, soit monocomposants durcissant à l'humidité de l'air par polyaddition, soit bicomposants,
- . époxydes, obtenues par réaction d'une base et d'un durcisseur dans des proportions et des conditions bien définies.

En pratique :

- . les résines sans solvant peuvent être utilisées en film ou en masse (mortiers),
- . les résines avec solvant ne sont utilisées qu'en film pour permettre l'évaporation du solvant.

II.- CONDITIONS D'UTILISATION

Toujours se conformer strictement au mode d'emploi du fournisseur.

Pour les résines époxydiques, retenir les recommandations suivantes :

- . ne rien laisser dans les boîtes prédosées ; mélanger avec un malaxeur à rotation lente, en raclant les parois,
- . tenir compte des temps :
 - . de durcissement : délai pour obtenir la compatibilité base-durcisseur,
 - . DPU (Durée Pratique d'Utilisation) : période de performance constante, avant la gélification.

Le froid augmente la viscosité ; la chaleur la diminue, mais diminue la DPU également.

- . mélanger dans un récipient plat, pour une meilleure homogénéité de la température,
- . ne préparer que de petites quantités (inférieures à 5 kg).

Attention aux conditions de conservation en stock.

Précautions d'hygiène et sécurité :

- . toujours bien ventiler les locaux,
- . éviter les contacts avec la peau (gants) et surtout les yeux (lunettes).

III.- AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Les résines époxy présentent des avantages :

- . de hautes résistances mécaniques,
- . une résistance obtenue rapidement,
- . de fortes adhérences,
- . pas de retrait,
- . de bonnes résistances chimiques (passivation).

Mais elles ont aussi des inconvénients :

- . coefficient de dilatation thermique élevé,
- . une grande sensibilité à la température,
- . toxicité,
- . une sensibilité à l'humidité pendant la préparation,
- . un prix assez élevé.

Les fibres synthétiques :

- . améliorent la thixotropie, donc la tenue sur parois verticales ou en sous-oeuvre,
- . augmentent les résistances en traction et flexion,
- . diminuent les fissurations à âge jeune.

Les mortiers prédosés en usines assurent :

- . une régularité de fabrication,
- . un dosage parfait, y compris des adjuvants spécifiques,
- . une simplicité et une commodité d'emploi sur chantier.

Les mélanges liants hydrauliques + résines réunissent les avantages des deux constituants tout en limitant leurs inconvénients.

On trouve ainsi des liants applicables à chaque cas particulier, y compris des résines applicables en milieu humide ou sous l'eau et des résines époxydes souples.

IV.- PREPARATION DES SUPPORTS

Dans tous les cas, il faut éliminer :

- . les zones poreuses et friables,
- . les huiles, graisses, laitances,
- . les anciens revêtements et peintures,
- . les produits de cure,
- . la rouille.

La préparation du support peut se faire par des moyens :

. Mécaniques

- . à la main (brosse métallique) pour de petites surfaces seulement
- . à la machine : brosse rotative,
pistolet à dégorger,
fraiseuse de surface,
meule émeri,
jet de sable à sec, ou avec dépoussiérage, ou avec eau,
jet d'eau haute pression.

. Thermiques

au jet de flamme (à utiliser avec prudence sous peine de détériorer la structure ou certains points particuliers).

- . Chimiques : à l'acide,
lessive,
émulsifiants,
jet de vapeur.

Les moyens chimiques sont à utiliser avec prudence, car on risque de redistribuer les produits en film très mince, ou de les faire pénétrer dans la masse.

V.- PRINCIPAUX DEFAUTS ET LEURS CAUSES

Il est utile de connaître les principales causes de défauts constatés avec l'utilisation des résines afin d'essayer d'éviter des déboires lors de leur choix et de leur application :

- . dosage imprécis ou mélange incomplet (défaut de résistance, de tenue, d'adhérence),
- . mauvaise application sur le support ou omission de la couche primaire si nécessaire (décollement, bullage),
- . application sous des températures non prévues (défaut de polymérisation, d'adhérence),
- . présence d'eau sous-pression ou de vapeur d'eau (bulles, cloques),
- . attaque par le gel du béton saturé derrière la résine (la résine peut être étanche à la vapeur d'eau, mauvais drainage),
- . formulation de résine mal adaptée (résine dure cassée sur fissures vivantes, incompatibilité avec un primaire, qualité non alimentaire, etc...),
- . application sur des fissures ou joints actifs sans précaution particulière (fissures, fuites, arrachements),
- . attente excessive entre couche (mauvaise liaison physico-chimique, défaut d'adhérence par dépôt de poussière ou condensation.

Les tableaux des pages suivantes présentent de manière synthétique ces quelques notions générales sur les liants spéciaux.

/ LIANTS POUR REPARATIONS /

Hydrauliques	traditionnels	ciments normalisés
	spéciaux	sans retrait, etc...
Organiques (polymères)	thermoplastiques	<ul style="list-style-type: none"> . acryliques . acrylamides . styrènes-acryliques . styrènes-butadiènes . Acétate de polyvinyle
	thermodurcissables	<ul style="list-style-type: none"> . epoxydes . polyuréthanes . polyesters

/ RAGREAGES EPAIS : $e \geq 2$ cm /

CARACTERISTIQUES		Polymères		Liants hydrauliques		Liants hydrauliques + polymères	
		Thermodurcisables	Thermoplastiques	Traditionnels	Spéciaux	Thermodurcisables	Thermoplastiques
Forme	liant	accrochage	déconseillé				accrochage
	mortier						
	béton						
Résistance	sollicitée	possible					
	non sollicitée						
Support	sec					possible	
	humide						
Qualité	étanchéité						
	déformabilité	variable			faible		
Mise en service (20°)	< 12 h	possible					déconseillé
	12 à 24 h						
	> 24 h				possible		

Tableau présentant succinctement les possibilités d'utilisation de liants pour l'application considérée.

Remarques importantes :

La mention "possible" signifie que l'on peut utiliser certains éléments de la famille de liants en regard, mais non pas qu'ils conviennent tous à l'application envisagée.

Il convient de bien choisir l'élément en fonction des cas particuliers, de prendre toutes les précautions indispensables à sa bonne utilisation et de suivre très scrupuleusement le mode d'emploi préconisé par le fabricant.

/ RAGREAGES MINCES : e 2 cm /

CARACTERISTIQUES		Polymères		Liants hydrauliques		Liants hydrauliques + polymères	
		Thermodurcis-sables	Thermoplastiques	Traditionnels	Spéciaux	Thermodurcis-sables	Thermoplastiques
Forme	liant			déconseillé			
	mortier			possible			
Résistance	sollicitée		déconseillé				
	non sollicitée						
Support	sec				possible		
	humide						
Qualité	étanchéité			déconseillé			
	déformabilité	variable		faible			
Mise en service (20°)	< 12 h		déconseillé		déconseillé		
	12 à 24 h		déconseillé		déconseillé		
	> 24 h			possible			

Tableau présentant succinctement les possibilités d'utilisation de liants pour l'application considérée.

Remarques importantes :

La mention "possible" signifie que l'on peut utiliser certains éléments de la famille de liants en regard, mais non pas qu'ils conviennent tous à l'application envisagée.

Il convient de bien choisir l'élément en fonction des cas particuliers, de prendre toutes les précautions indispensables à sa bonne utilisation et de suivre très scrupuleusement le mode d'emploi préconisé par le fabricant.

/ INJECTIONS DE FISSURES /

CARACTERISTIQUES		Polymères		Liants hydrauliques		Liants hydrauliques + polymères	
		Thermodurcis-sables	Thermoplastiques	Traditionnels	Spéciaux	Thermodurcis-sables	Thermoplastiques
But	étanchéité			réserves		possible	
	traction		réserves	déconseillé			
	compression		réserves				
Support	sec			possible			
	humide						
	immergé			réserves			
Largeur	$L < 0,2$ mm	réserves		réserves			
	$0,2 \leq L < 0,6$			déconseillé			
	$0,6 \leq L < 3$			réserves			
	$3 \text{ mm} \leq L$						
Cavités internes		coût	déconseillé	réserves		déconseillé	

Tableau présentant succinctement les possibilités d'utilisation de liants pour l'application considérée.

Remarques importantes :

La mention "possible" signifie que l'on peut utiliser certains éléments de la famille de liants en regard, mais non pas qu'ils conviennent tous à l'application envisagée.

Il convient de bien choisir l'élément en fonction des cas particuliers, de prendre toutes les précautions indispensables à sa bonne utilisation et de suivre très scrupuleusement le mode d'emploi préconisé par le fabricant.

CHAPITRE VI - RECOMMANDATIONS POUR L'ANALYSE DES DEFAUTS D'ETANCHEITE ET LE CHOIX DES PROCEDES DE REPARATION

I .- PRESENTATION DU PROBLEME

Le renforcement de l'étanchéité d'un réservoir d'eau potable est généralement envisagé lorsque les dommages causés à l'environnement ou les perturbations au niveau du fonctionnement du réseau de distribution ne sont plus acceptables.

L'enchaînement habituel des différentes phases de prise en compte du problème posé par le renforcement de l'étanchéité d'un réservoir est schématisé ci-après.

Dans un premier temps, on constate des effets dûs au manque d'étanchéité qui sont principalement :

- des taches d'humidité et venues d'eau sur les parois extérieures du réservoir,
- des mouvements de terrains (affaissements, ramollissement) au voisinage des réservoirs posés sur le sol ou enterrés.

Dans un deuxième temps, face à ces effets, les services concernés cherchent à localiser plus ou moins les défauts d'étanchéité et à en évaluer les conséquences.

Il y a là un premier écueil à éviter : car si les effets qui ont déclenché la prise de conscience sont jugés peu importants (simples taches d'humidité, par exemple), on peut être entraîné, faute d'expérience et de méthodologie appropriée, à sous-estimer les conséquences des défauts d'étanchéité.

Il faut savoir en effet qu'un défaut d'étanchéité peut constituer à son tour, une nouvelle cause de dégradation. Par exemple, une fuite par une fissure, peu importante en soi, peut entraîner une corrosion des aciers de la structure, qui sera affaiblie, et l'apparition de rouille, entraînant à son tour un risque d'éclatement du parement par gonflement, etc.

Sans verser dans une attitude alarmiste, il est donc bon de prendre conscience de ces phénomènes de dégradation et de se doter d'une méthode systématique permettant d'éviter une réparation suffisante dans l'immédiat, mais qui sera à refaire l'année suivante. C'est le but du présent chapitre.

Dans un troisième temps, au vu des résultats de cette recherche des défauts et de l'appréciation de leurs conséquences, le service technique décide si une opération de renforcement de l'étanchéité est nécessaire ou non.

Dans la majorité des cas rencontrés en pratique, il faut bien reconnaître que l'absence de visites systématiques et d'entretien préventif périodiques, faute de moyens, fait que lors de la prise en compte d'une dégradation de l'étanchéité, son évolution est telle que l'on est très souvent amené, à ce stade, à conclure à la nécessité d'un renforcement d'étanchéité.

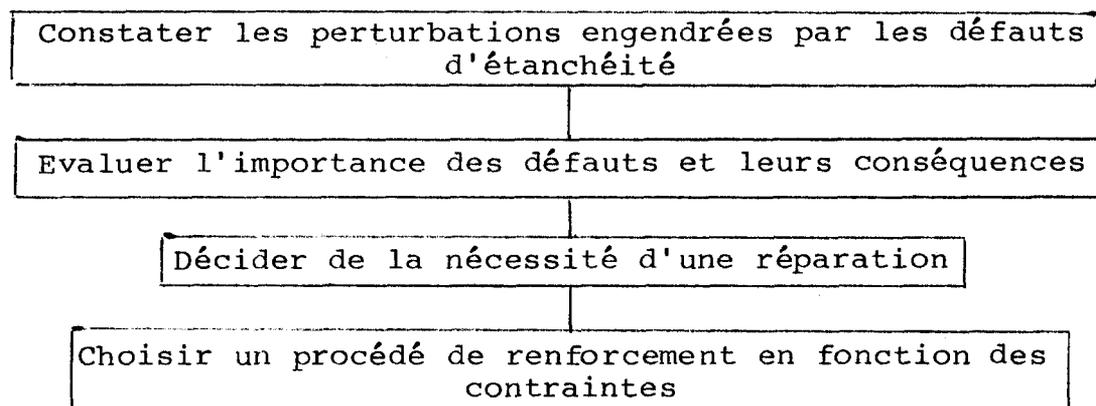
Et même, si la décision de réparer a été longtemps différée, consciemment ou non, le renforcement peut dépasser le simple niveau de l'étanchéité et affecter d'autres parties de l'ouvrage : réparations d'épaufrures, réfection d'enduits extérieurs, etc...

Pour cette raison, la méthodologie proposée dans le présent chapitre examine certains aspects de renforcement des réservoirs qui ne sont pas limités à la seule étanchéité proprement dite, mais à des travaux connexes que l'on sera amené à exécuter en parallèle, ou mieux, au préalable.

Enfin, si la décision de renforcer a été prise, se pose alors pour les services concernés le problème de savoir quelle méthode ou quel procédé de renforcement utiliser.

Pour cela, il faut tout d'abord connaître les différents procédés existant (c'est le but des fiches du chapitre VII) et analyser les différentes contraintes techniques, qui font qu'un procédé sera adéquat ou non à traiter le problème particulier.

Réparation des étanchéités de réservoirs d'eau potable
Schéma simplifié habituel



Ces considérations montrent qu'une opération de renforcement de l'étanchéité d'un réservoir fait intervenir de multiples facteurs et qu'il est indispensable de connaître et de prendre en compte l'ensemble des contraintes liées aux défauts, au réservoir, à son exploitation et aux procédés de réparation eux-mêmes pour obtenir des résultats satisfaisants, sous peine d'être conduit à de nouvelles interventions ultérieures, avec toutes les conséquences économiques que cela entraîne.

En pratique, le choix du ou des procédés de renforcement applicables s'opère en plusieurs étapes au cours desquelles on élimine successivement les solutions non compatibles avec les conditions examinées.

Ce n'est qu'ensuite, et si il reste plusieurs procédés en compétition, que l'on pourra examiner les coûts afin de retenir celui qui sera effectivement appliqué (choix qui peut n'être fait qu'après consultation des entreprises sur des procédés adéquats mais concurrents).

L'enchaînement des différentes phases de la démarche proposée (analyse des données, prise en compte des contraintes et décisions à prendre) est schématisé dans le tableau ci-après. Chacune de ces phases est analysée et commentée en détail dans les paragraphes suivants.

II.- PREMIERE PHASE : RECHERCHER ET REPERTORIER TOUS LES INDICES DE DEFAUT D'ETANCHEITE

Il peut sembler inutile de le préciser, mais pour qu'une réparation puisse être effectuée, il faut avoir détecté la dégradation avant qu'il ne soit trop tard. S'agissant d'étanchéité de réservoir, cette précision peut en pratique poser un problème délicat : savoir où il faut chercher les indices de dégradation et comment il faut les chercher nécessite la connaissance des différents processus de dégradations. Inversement, un inventaire détaillé des défauts observables dans un cas précis permettra de mieux cerner les causes possibles et les effets probables.

Dans le cas général, la première alerte sera provoquée par une manifestation indirecte du défaut d'étanchéité. Ces indices indirects sont :

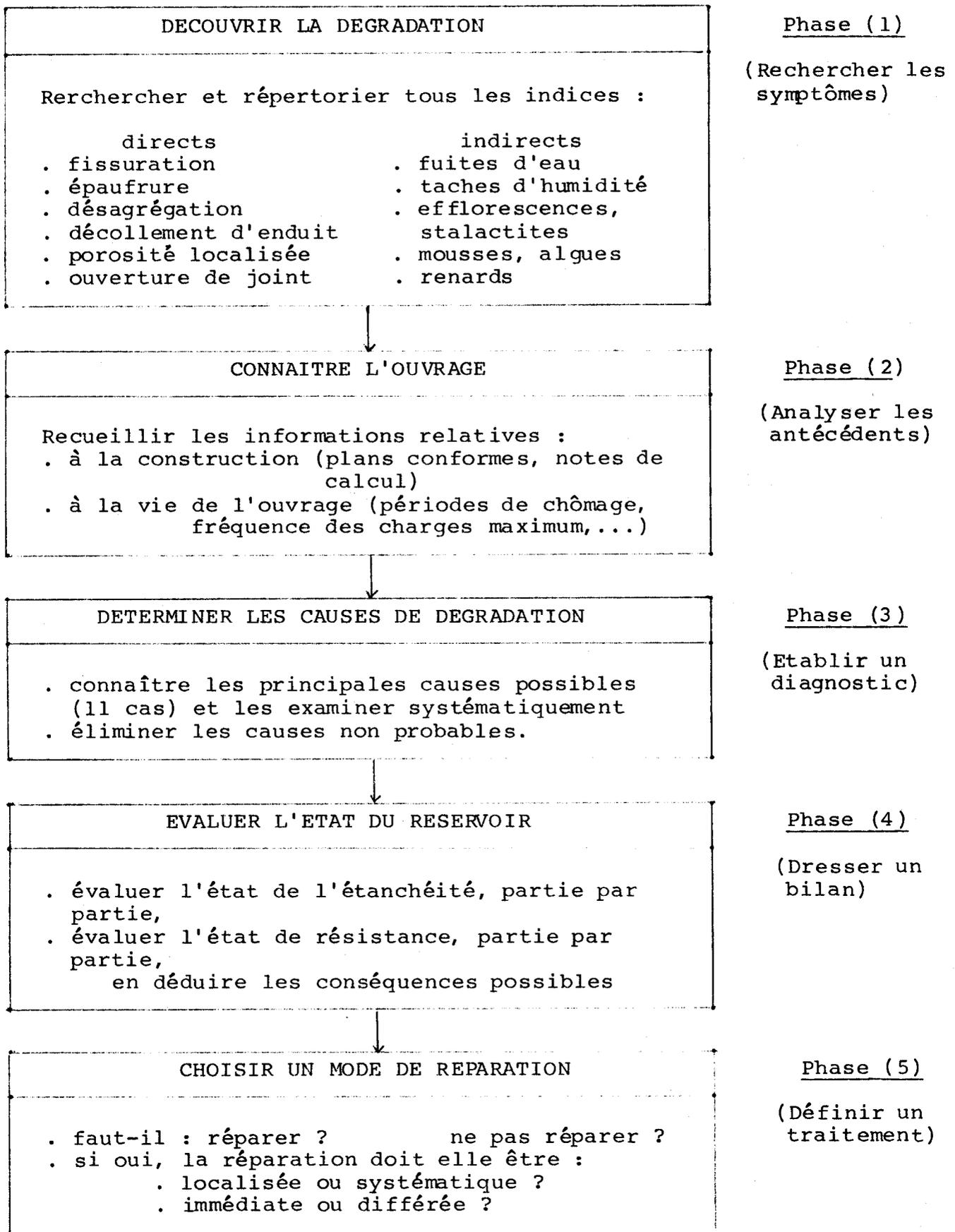
- . Les fuites d'eau : visible de l'extérieur, une fuite d'eau traduit généralement un défaut important, mais souvent localisé.

Pour un réservoir au sol, elles sont à rechercher surtout au pied des parois (jonction jupes-radier), aux traversées de canalisations (défaut de scellement), aux reprises de construction et au droit des joints de dilatation dans le cas de cuves de grande dimension. Pour les réservoirs surélevés, on les recherchera en outre en sous-face du fond.

Des fuites peuvent également se manifester en d'autres points particuliers, plus difficilement localisables : trous d'écarteurs de coffrage mal rebouchés, ouverture de fissures larges, nids de cailloux (surtout aux reprises de bétonnage).

- . Les taches d'humidité et les efflorescences. Elles apparaissent sur les jupes des cuves et en sous-face des réservoirs surélevés. Pour les rechercher, on choisira de préférence un jour où le réservoir est rempli à son niveau maximum, ni trop chaud, ni trop venté (l'évaporation rapide peut effacer ces indices). De même deux inspections à des heures différentes, pour tenir compte des orientations différentes de l'ensoleillement, sont préférables.

Analyse des défauts d'étanchéité et choix des procédés de réparation



↓

SELECTIONNER LES PROCÉDES DE RENFORCEMENT

- A - Recenser les contraintes particulières
- . d'exploitation :
 - . délai de chômage possible,
 - . possibilité d'isolement,
 - . vidange,
 - . points singuliers,
 - . de chantier :
 - . accessibilité,
 - . énergie disponible,
 - . aération,
 - . évacuation des matériaux,...
- B - Analyser l'adéquation de la technique des procédés
- . aux natures et causes de la dégradation :
=== éliminer les procédés non adéquats
 - . aux contraintes particulières :
=== éliminer les procédés non applicables
- C - Choisir un ou des principes de renforcement parmi ceux qui restent applicables
- D - Dresser un cahier des charges précisant :
 - . les contraintes
 - . les objectifs

Phase (6)

(Prescrire les remèdes et la posologie)

↓

EXECUTER LE RENFORCEMENT

- . consulter des entreprises spécialisées ou ayant des références pour les procédés retenus
- . consulter l'entreprise en fonction des garanties techniques et du coût des prestations,
- . surveiller l'exécution,
- . être attentif aux détails et points particuliers,
- . procéder à des essais en cas de produit nouveau,
- . exécuter des essais de contrôle de résultat avant remise en service.

Phase (7)

(Administrer les soins)

- . Les stalactites et dépôts de calcites. Les stalactites, observables en sous-face de réservoirs surélevés, mettent en évidence les fuites éventuelles en radier (fissures) ou à la jonction jupe-radier non détectables autrement. Les dépôts de calcite extérieure soulignent les fissures en parois les plus importantes. Attention toutefois : une fissure n'est jamais de largeur constante et elle se prolonge le plus souvent bien au-delà du dessin souligné par le dépôt.
- . Les mousses et algues. Elles se développent dans les endroits humides et relativement à l'abri du soleil. Elles sont à repérer, mais ne désignent pas nécessairement un défaut d'étanchéité car elles peuvent aussi croître dans des zones de stagnation des eaux de pluie (ceintures de béton armé en pied de jupe par exemple).
- . les renards. Il s'agit de fuites d'eau se manifestant dans le terrain voisin du réservoir. Leur recherche est surtout intéressante pour les réservoirs posés au sol ou enterrés car ils permettent de mettre en évidence des fuites non détectables autrement. On les recherchera dans tous les endroits surplombés par le réservoir (talus, regards d'accès, ...). Dans les cas sérieux, on pourra être amené éventuellement à creuser quelques tranchées de reconnaissance.

Une fois alerté par la manifestation d'effets indirects, on recherchera systematiquement les indices directs qui se traduisent par :

- des fissures : les souligner si possible d'un trait de crayon feutre pour un meilleur repérage. A l'intérieur, les chercher peu après la vidange, car elles sont alors soulignées par l'eau qui resse des parois. On notera l'ouverture des fissures en précisant si l'ouvrage est en charge ou non,
- des épaufrures : vérifier les lèvres de joint, les scellements de conduites, tous les angles saillants. Une attention particulière sera réservée à la sous-face de la couverture, souvent détériorée par condensation,
- des désagrégations : correspond souvent à des niveaux de reprise de bétonnage. Sonder légèrement au marteau les parois des maçonneries et béton douteuses,
- des décollements d'enduit : rechercher les chutes, les bulles. Pour les enduits épais, les sonder au son (marteau). Les risques les plus grands sont au-dessus du plan d'eau normal et au voisinage des points particuliers (canalisations, points bas, joints..)
- des porosités localisées : à chercher tout de suite après vidange (ressuage),
- des ouvertures de joints : inspection visuelle des joints sur toute leur longueur ; ne pas hésiter à tâter le produit de joint pour contrôler son élasticité et essayer de le décoller à la main.

Toutes les incidences intérieures et extérieures seront reportées utilement sur plan avec repérage facilement identifiable (panneaux de coffrage, etc...). Deux opérations de repérage par deux personnes différentes sont préférables pour éviter les oublis.

III.- CONNAITRE L'OUVRAGE

Une bonne connaissance du réservoir sera très utile pour l'interprétation des phénomènes constatés, comme pour la mise au point de la réparation.

On recherchera, si ils existent, les dossiers de plans conformes et les notes de calcul de l'ouvrage. Leur examen permettra entre autres de préciser :

- . le mode de fonctionnement statique de la structure pour l'interprétation des fissures,
- . les points de faiblesse éventuels : ferrailage insuffisant, erreurs de conception (cela arrive, surtout dans les détails),
- . les transformations subies : ouvertures créées ou rebouchées, enduits ajoutés ou refaits (décollements), remblais non prévus à l'origine, ouvertures d'aération bouchées, etc...

On s'intéressera aussi à la vie de l'ouvrage :

- . des variations fréquentes de niveau rendent l'ouvrage plus fragile,
- . des chômages longs, en période hivernale ou estivale selon les régions, peuvent expliquer certains défauts (d'une façon générale, il est préférable de maintenir un ouvrage en eau de la façon la plus continue possible).

Ces renseignements sont à rechercher auprès :

- . de l'exploitant,
- . du propriétaire,
- . de l'entreprise de construction.

IV.- DETERMINER LES CAUSES DE DEGRADATION

Pour cela, il faut examiner les causes possibles. Elles peuvent être très nombreuses, mais se ramènent en pratique à quelques grandes familles de causes qu'il faut connaître.

Le tableau présenté au chapitre III schématise les relations qu'il peut y avoir en général entre les symptômes directs de dégradation observés et les grandes causes possibles. Une analyse détaillée de ce tableau sortirait du cadre de ce chapitre, mais on pourra se reporter utilement aux chapitres II et III et aux publications spécialisées traitant de la pathologie des ouvrages (par exemple "Dégradation, entretien et réparation des ouvrages du génie civil" par Johnson, Ed. Eyrolles).

Pour chaque type de dégradation constatée, il importe de passer en revue systématiquement toutes les causes possibles, sans s'arrêter à la première explication trouvée. En effet, une cause principale n'a souvent pas d'effet sur un ouvrage bien conçu et bien réalisé car il possède toujours une certaine réserve de sécurité ; par contre l'apparition d'un défaut résulte la plupart du temps d'une conjonction de plusieurs facteurs et il importe pour un bon traitement de n'en négliger aucun.

Bien penser qu'il peut exister des liens non apparents pouvant être cachés par certaines dispositions du réservoir. En particulier, une fuite peut apparaître à l'extérieur en un point éloigné de sa source, si l'eau chemine derrière un enduit, le long d'un réseau de fissures fines ou derrière un joint décollé.

Après élimination des causes non probables, on aura donc pour chaque dégradation constatée une liste d'une ou plusieurs causes probables retenues qui constitue le diagnostic de l'ouvrage.

V.- EVALUER L'ETAT DU RESERVOIR

Connaître les défauts d'étanchéité et leurs causes est nécessaire, mais ce n'est pas suffisant pour choisir un renforcement, car le défaut n'est rien en soi, et c'est finalement l'état du réservoir lui-même le seul critère intéressant l'exploitant, des deux points de vue :

- . de l'étanchéité,
- . de la résistance.

Les questions à se poser sont notamment :

- . le débit de fuite est-il acceptable dans le bilan de l'exploitation ?
- . risque-t-il d'augmenter dans le temps ?
- . ou bien les fuites vont elles se colmater (calcite dans des fissures fines) ?
- . menace-t-il l'environnement extérieur (talus, chemin, aspect de l'ouvrage...) ?
- . les fuites menacent-elles des points singuliers (infiltration derrière un enduit, risque de gel,...) ?
- . la résistance d'une partie d'ouvrage est-elle menacée (fondation, enduit, corrosion du ferrailage ou de gaines de précontrainte,...)?

VI.- CHOISIR UN MODE DE REPARATION

En fonction des investigations précédentes et indépendamment de la technique à mettre en oeuvre, il faut alors décider de l'opportunité d'une réparation. En effet, un défaut d'étanchéité peut être jugé éventuellement acceptable soit parce qu'il va se supprimer de lui-même (colmatage de fissures après les premières mises en eau, par exemple), soit parce que son incidence est estimée négligeable.