

# État des lieux patrimonial des digues de canaux de navigation en France

## *Patrimonial situation of navigation canals dykes in France*

Fabrice DALY

CETMEF -Division Ouvrages fluviaux et de navigation intérieure

2 bd Gambetta – BP 60039 – 60321 Compiègne Cedex

Tel. : 03 44 92 60 09

Fax : 03 44 92 60 75

E.mail : [fabrice.daly@equipement.gouv.fr](mailto:fabrice.daly@equipement.gouv.fr)

Corinne de la Personne et Laura Chapital

VNF – Direction de l'Infrastructure et l'environnement

175 rue Ludovic Boutleux- 62408 Béthune Cedex

Tel : 03 21 63 24 24

Fax : 03 21 63 29 58

E.mail : [Corinne-de-la-Personne@vnf.fr](mailto:Corinne-de-la-Personne@vnf.fr) et [Laura Chapital@vnf.fr](mailto:Laura-Chapital@vnf.fr)

### **Résumé**

Le présent article fait l'état des lieux du réseau de digues anciennes des voies navigables françaises, qui est constitué d'ouvrages relativement hétérogènes avec des sections en mauvais état. Il décrit les types de digues existantes ainsi que les problèmes rencontrés par les exploitants : fuites et ruptures nombreuses ainsi que leurs pratiques relatives à la surveillance, et aux réparations : rideau de palplanche, corroi d'argile, geomembranes. La mise en place d'une nouvelle politique de gestion par VNF est présentée.

### **Abstract**

*The paper describes the situation of old dykes network of French waterways, which is made of heterogeneous dykes with some sections in bad state. It describes the different types of dykes, as well as the problems of operators: leakages, dykebreaks, and practices about survey and repairing: sheet piles, clay protections and geomembranes. The organization of a new management policy by VNF is described.*

**Mots-clés** : Canal, digue, rupture, brèche, fuites

**Keywords** : Canal, dyke, break, breach, leakage

## Introduction

En France, la presque totalité des canaux sont anciens et à petit gabarit, les voies navigables à grand gabarit plus récentes ayant été réalisées par canalisation des fleuves. Il ne sera donc traité dans cet article que des digues de canaux anciens construits pour une grande partie au XIX<sup>e</sup> siècle, voire avant.

Parties intégrantes du réseau hydraulique français, les voies d'eau gérées par les Voies Navigables de France (VNF)<sup>1</sup>, sont inscrites à la nomenclature des voies navigables et se composent de **rivières naturelles aménagées et de canaux** favorisant les liaisons inter-bassins, qui innervent 2763 communes, 57 départements et 17 régions.

Par sa diversité, le domaine public fluvial géré par VNF, qui s'étend au fil des **6 700 km de voies d'eau**, est le lieu d'expression d'une véritable politique d'aménagement du territoire au service de grands enjeux nationaux et du développement local de la voie d'eau. Le développement équilibré de ces aménagements constitue un enjeu majeur pour l'essor du transport de marchandises et du tourisme.

C'est pourquoi, en tant que gestionnaire du réseau, Voies Navigables de France prévoit d'entreprendre une démarche de recensement et d'étude des risques sur les digues de canaux.

Ces digues sont souvent mal connues quant à leur constitution interne et de nombreuses sections sont en mauvais état et sujettes aux fuites, bien que cette situation soit très variable selon les biefs, y compris pour un même canal.

Il en résulte des ruptures assez fréquentes: de l'ordre d'une dizaine par an, avec des conséquences sur la sécurité publique et l'exploitation : dégâts aux ouvrages ou aux biens et interruption de la navigation.

Toutefois, peu de ces digues présentent un danger marqué pour la sécurité publique : cette situation peut cependant se présenter, notamment lorsque les canaux sont construits à flanc de colline avec une digue en surplomb par rapport à la plaine.

L'article présente l'état actuel des digues en ce qui concerne leurs typologies, leurs pathologies et les pratiques techniques des services exploitants avec les difficultés qu'elles impliquent. En revanche, Il n'a pas pour objet de donner des recommandations sur ces différents points.

---

<sup>1</sup> **Etablissement public à caractère industriel et commercial** créé à la suite de l'Office national de la navigation constitué en 1912 par la Loi de finances pour 1991 du 29 décembre 1990. Son statut est fixé par un décret du 26 décembre 1960, en dernier lieu modifié le 18 juillet 1991

# 1. L'état des lieux

## 1.1. Constitution et typologie des digues

### 1.1.1. La typologie

Physiquement, les digues de canaux sont analogues à des barrages réservoirs, par le fait qu'elles sont toujours en eau et assurent les mêmes fonctions. Elles s'en distinguent notamment par des hauteurs plus faibles et surtout des linéaires beaucoup plus importants. Il en résulte que les constructeurs ou les exploitants ont des moyens financiers (rapportés à la longueur d'ouvrage) beaucoup plus faibles, ce qui a une incidence sur le choix des méthodes de diagnostic ou réparation. Selon la configuration du canal, différents types de digues peuvent se rencontrer (fig.1).

- les canaux en déblai, ne comportant pas de digue,
- les canaux en léger déblai entourés par 2 digues de faible hauteur qu'on nomme parfois des cavaliers,
- les canaux en remblai, où l'ensemble de la cuvette (plafond, berge, digues) constitue un ensemble artificiel soumis aux infiltrations d'eau,
- les canaux latéraux aux rivières (Loire, Marne, Aisne...) situés soit directement à leur contact dans le lit majeur, soit à flanc de colline et comportant une digue importante du côté fleuve et en général une berge du côté colline pouvant se confondre avec le terrain naturel.

Dans ce dernier cas, on peut avoir le cas particulier d'une digue se comportant en même temps comme une digue de protection contre les crues, submersible ou non par celles-ci, et subissant des problèmes d'érosion de berge du côté rivière. Le niveau d'eau du canal est en principe supérieur ou égal à celui de la rivière, mais cette situation peut s'inverser en crue.

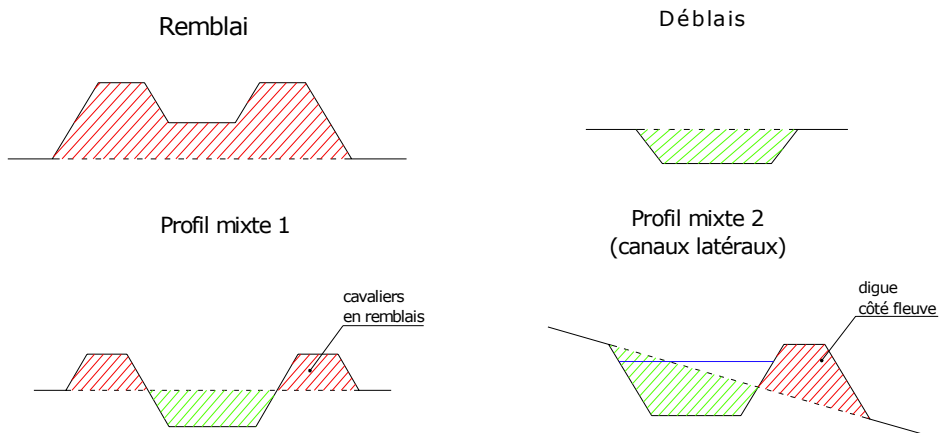
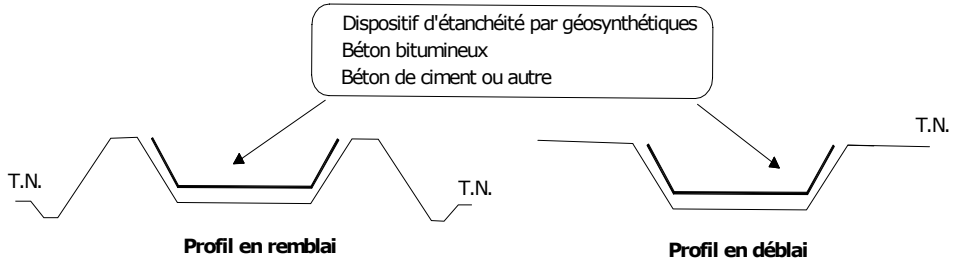
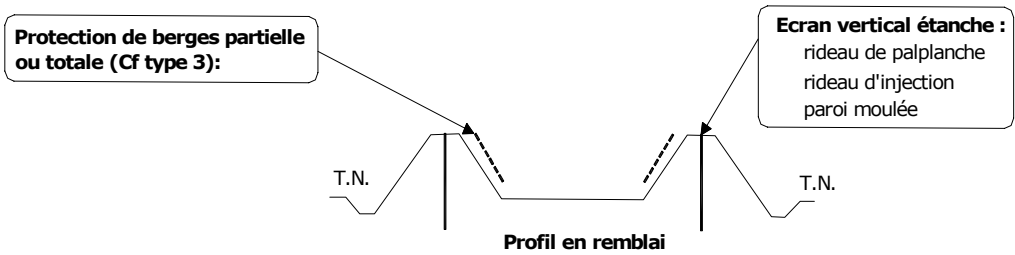


Figure 1: Typologie de digues de canaux en fonction de la position par rapport au terrain naturel

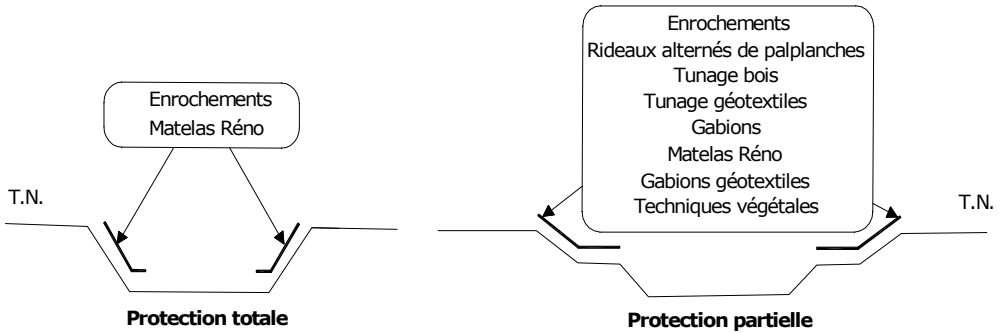
**Type 1 : Etanchéité de surface sur la cuvette (talus amont et plafond)**

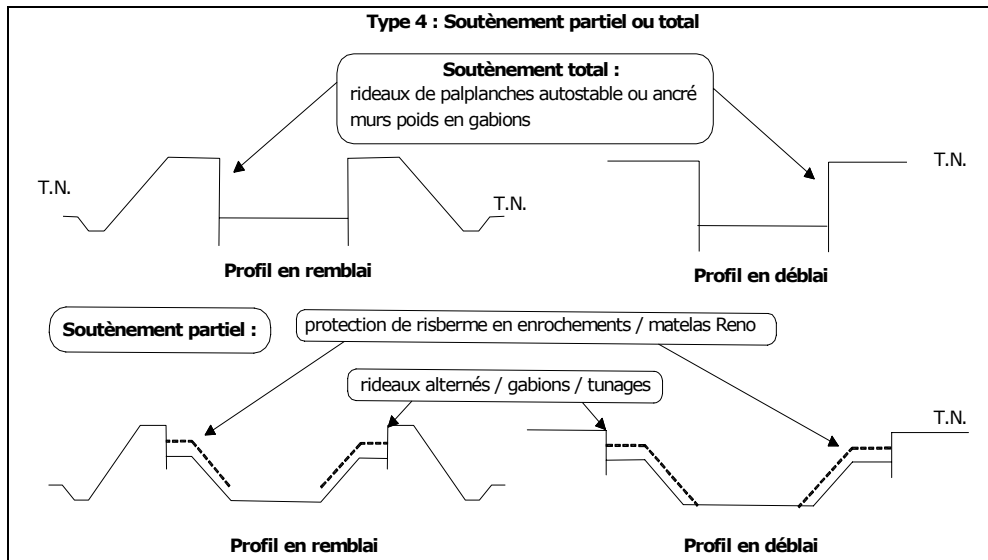


**Type 2 : Etanchéité dans le corps de digue et protection de berges partielle**



**Type 3 : Protection de berges (profil en déblai et profil en remblai)**





*Figure 2: Typologie des berges*

### 1.1.2. La constitution et les matériaux

La constitution interne précise des digues est le plus souvent très mal connue et il n'y a pas d'archives disponibles. Toutefois, dans certains cas, l'importance des problèmes rencontrés ou des travaux nécessaires, ont amené les exploitants à réaliser de nombreux sondages de reconnaissance, de sorte que la constitution est mieux connue.

Les digues de canaux anciens ont souvent été réalisées avec des matériaux locaux peu sélectionnés, dont la perméabilité ne permettait pas toujours une bonne étanchéité des ouvrages. Il en résulte que la constitution d'une digue peut être hétérogène sur un même canal.

Schématiquement, les sols employés pour la construction des digues peuvent être classés en deux grandes catégories :

- les matériaux perméables (sables, graves) caractérisés par une résistance au cisaillement élevée.
- les matériaux peu perméables (argiles, limons argileux) caractérisés par une résistance au cisaillement plus faible

Les matériaux du corps de digue comportent parfois des blocs calcaires, des vides ou des discontinuités locales favorisant l'écoulement interne.

Comme pour toutes les digues, on peut distinguer celles qui sont dans un matériau à peu près homogène et les digues zonées qui comportent un noyau argileux étanche. Néanmoins, pour les digues de canaux anciens, il semble très rare qu'il y ait présence d'un véritable noyau argileux.

Si on considère le profil en travers, les digues anciennes sont souvent constituées de plusieurs matériaux en couches distinctes, par exemple sol argileux traversé

par des veines de matériaux plus perméables orientés horizontalement, ou sol globalement gravelo-argileux semi perméable.

Lorsque les matériaux n'étaient pas étanches, les constructeurs mettaient en place un tapis d'argile sur les digues et la cuvette.

Les digues anciennes ne comportent ni dispositif de drainage interne, ni système filtrant pour empêcher l'érosion régressive.

Beaucoup de ces digues anciennes ont fait l'objet de renforcements plus ou moins récents, par des palplanches, des étanchéités en béton de ciment, des injections, des géomembranes, avec des fortunes diverses (figure 2).

Du côté canal, on trouve des défenses de berge : palplanches (double rôle : lutte contre l'érosion et étanchéité), tunage bois, protection en béton, gabions, perré maçonné...

Sauf en cas de remblai élevé, la cuvette du canal est le plus souvent dans le terrain naturel qui peut être de natures très différentes, y compris du rocher. Elle peut faire l'objet d'une étanchéité spécifique analogue ou distinct de celle de la digue.

## **1.2. Les dégradations et pathologies**

### **1.2.1. Les causes et facteurs aggravants**

Il résulte du caractère souvent peu étanche des matériaux et de l'absence de dispositif de filtration ou de drainage que de nombreuses digues présentent des fuites importantes, et que celles-ci peuvent conduire à des ruptures dues à l'érosion régressive ou plus rarement à une perte de stabilité d'ensemble (rupture circulaire). C'est le phénomène majeur qui menacent la sécurité des digues de canaux.

En pratique les ruptures sont généralement déclenchées par des facteurs complémentaires initiant dans un premier temps des désordres localisés :

- l'érosion des berges due au batillage ou à la rivière pour un canal latéral : celle-ci favorise l'infiltration et l'augmentation du gradient hydraulique
- les galeries de rongeurs
- les coupes des arbres : on trouve des exemples où la disparition des arbres (accidentellement ou coupés) sans l'enlèvement des racines, a provoqué des renards.
- création d'un point faible mal protégé et favorisant l'infiltration : conduite, siphon (création d'un écoulement à l'interface du génie-civil et du remblai) ou extrémité d'un rideau de palplanches,

Toutefois d'autres fuites ou ruptures peuvent intervenir en section courante même en l'absence de ces facteurs.

Sans être la cause principale de l'érosion, certains phénomènes particuliers d'origine naturelle ou humaine, contribuent à fragiliser la digue :

- Facteurs relatifs à la constitution du canal et son évolution

- la mauvaise qualité des matériaux du site,
- l'approfondissement du canal qui a parfois entraîné la destruction de la protection en argile,
- le rehaussement des digues (matériaux différents, berges non protégées),
- la disparition des protections végétales anciennes.
- Facteurs relatifs à l'exploitation
  - l'augmentation de la puissance des bateaux préjudiciable pour la tenue des berges
  - le cassage de glace très violent pour les berges non protégées
  - les chômages qui fragilisent les digues (fuites plus importantes après la remise en eau qu'avant)
  - le marnage (baisse du niveau pour économiser de l'eau)
  - des éléments traversant présents dans le corps de digue: les tirants de palplanches, les conduites, les siphons
  - des réparations anciennes néfastes (injections..)
- Facteurs naturels
  - la présence d'arbres dont les racines (même vivantes) peuvent déconsolider un terrain avec l'action du vent sur les arbres,
  - les climats extrêmes (gel et sécheresse),
  - terrain de fondation perméable ou karstique,
  - la circulation d'une nappe d'eau sous le canal,
  - les crues (il s'agit d'un autre phénomène).

### **1.2.2. Les manifestations**

Les fuites peuvent être très localisées ou plus diffuses, et se manifestent en général par une consommation d'eau importante, et dans certains cas également par des problèmes de stabilité d'ouvrage.

Sur les digues elle-mêmes, les fuites se traduisent par des suintements ou résurgences à la surface du talus externe et parfois à l'aval du pied de digue, détectables parfois par une végétation hydrophile ou par des bruits d'écoulement.

Ces résurgences peuvent également être signalées à une certaine distance de la digue (inondations de riverains). Il arrive qu'elles soient accompagnées de dépôt de sols fins constitutifs de la digue, ou de formations de cavités en pied ou en milieu de digue. Dans le cas de résurgences importantes, la présence d'un vortex (tourbillon) est parfois observée à la surface de l'eau.

Lorsqu'il s'agit de renards ou de passage d'eau assez important, ils débouchent souvent dans la zone de battillage qui est la plus agressée et où interviennent également les dégradations dues aux rongeurs : l'érosion externe favorise l'érosion interne. On trouve cependant des renards aboutissant dans les plafonds des canaux, lorsque ceux ci ne sont pas assez étanches ou subissent un gradient élevé, ou lorsqu'on a affaire à un sol karstique fissuré.

### 1.2.3. Les circulations d'eau plus complexes

Il a été expliqué ci dessus que les venues d'eau sur le talus externe des digues trouvaient principalement leur origine dans le caractère trop perméable des digues ou de leur protection, laissant ainsi se développer des circulations d'eau excessives à travers le corps de digue.

Toutefois, il faut signaler que des cas de circulations plus complexes dans les fondations peuvent se rencontrer assez fréquemment :

- pour les canaux latéraux aux rivières : un écoulement souterrain propre à la nappe phréatique et perpendiculaire au canal, peut donner lieu à es résurgences ou créer des fontis dans la cuvette. Dans ce cas, il y a interaction avec le canal, et une intervention par rideau dans les digues peut amener à bloquer l'écoulement naturel avec des conséquences négatives.
- Présence d'un terrain de fondation karstique : ce phénomène peut provoquer l'apparition de fontis dans la cuvette, et il est évolutif jusqu'à une éventuelle rupture, le caractère karstique de la fondation se développant avec les passages d'eau.

### 1.2.4. Pathologies liées aux renforcements anciens ou récents

Etre confronté à des confortements anciens problématiques, est une situation qui n'a rien d'exceptionnel sur les canaux anciens. Plusieurs situations méritent d'être citées :

- les confortements anciens sont insuffisants ou inefficaces par erreur de dimensionnement, ou le sont devenus par vieillissement,
- ils compliquent les réparations ultérieures (injections empêchant le battage de palplanches),
- ils ont des effets négatifs sur les circulations d'eau,
- ils ont leur propre pathologie.

Ce dernier cas peut être illustré par les étanchéités en béton, qui constituent des renforcements ou une partie du projet neuf (cas du canal du nord).

En effet, le marnage et le battillage endommagent les joints entre plaques et favorisent la circulation d'eau à l'arrière des plaques. Le comportement rigide de ces protections amène ensuite à des fissures et à un passage d'eau. Progressivement il se produit un entraînement de matériaux fins et difficilement détectable au départ, puis de matériaux plus gros et conduit à la formation de cavités et un affaissement des plaques béton.

Ce type de protection fait l'objet de travaux de remplacement courants.

Plus rarement, on signale un vieillissement du béton bitumineux : fluage, fissure. Un seul cas de dégradation des dispositifs récents comportant une géomembrane, a été rencontré.

Il convient d'ajouter les pathologies liées aux protections de berges, parmi lesquelles on peut citer quelques exemples:



- les défenses de berges en rideaux de béton ou palplanches connaissent parfois des dégradations avec le temps : perte de stabilité suite à une érosion en pied suivi d'un déchaussement (exemple des écrans « Gallio » en béton sur le canal de Briare), lorsque le rideau n'est pas fiché assez profondément, dégradation du béton favorisant les passages d'eau,
- les gabions peuvent être dégradés par des rongeurs,
- les renforcements trop courts (rideau ou cuvelage) ou n'étant pas complétés par un retour vers la berge peuvent être contournés par les écoulements d'eau et donc ne pas résoudre totalement les problèmes. On peut voir le même phénomène lorsque l'espace entre le rideau de palplanches et la berge n'est pas rempli.

### 1.2.5. Les ruptures de digues récentes

Une enquête récente de VNF a mis en évidence qu'une cinquantaine de brèches accidentelles s'étaient produites ces 5 dernières années (1999-2004) sur les canaux anciens (figures 3, 4 & 5). On a dénombré également à cette occasion des fuites importantes susceptibles d'évoluer vers des brèches.

Les causes précises des ruptures ne sont pas toujours clairement analysées. Cependant, il se dégage plusieurs causes principales:

- des débordements de rivières (cause externe) : c'est surtout le cas pour le canal du midi ou latéral à la Garonne,
- des galeries de rongeurs,
- les autres causes non identifiées précisément sont probablement dues à une évolution progressive de fuites, dues à la faiblesse structurelle de la digue (voir ci-dessus liste des causes et facteurs aggravants possibles).



*Figure 3: le canal des Ardennes, février 2004*



*Figure 4: le canal latéral à la Loire. Décembre 2002*



*Figure 5: le canal latéral à la Loire. Décembre 2002*

## **1.3. Surveillance, entretien et petites réparations**

### **1.3.1. La surveillance**

La plupart des services pratiquent une surveillance des digues, mais de manière très hétérogène et pas toujours systématique et organisée.

Ils réalisent une inspection visuelle lors des campagnes d'entretien (fauchage) et surveillent l'évolution des fuites. La fréquence des visites varie suivant les services et le canal. Dans certains services et sur des canaux sensibles et stratégiques, la surveillance est organisée et périodique avec une attention différente selon le niveau de risque, voire une augmentation de la fréquence des visites si des inquiétudes sont justifiées.

C'est le cas du canal de la Marne au Rhin, qui est le mieux surveillé du SN Strasbourg de part sa position stratégique (bief de partage) et son passé mouvementé (nombreuses fuites récurrentes). Les fuites sont répertoriées et les débits de fuites sont relevés et consignés par les agents du service à l'aide d'une planchette graduée. Les variations à la hausse sont signalées.

Le service navigation du Nord pas de Calais mène une politique de niveau de service, c'est à dire qu'il réalise des inspections systématiques des zones endiguées tous les trois mois, qui deviennent mensuelles avec surveillance des débits dans le cas de détection de fuites.

Malgré une forte hétérogénéité des pratiques, il semble qu'il y ait ces dernières années plutôt une prise de conscience de la nécessité de surveiller régulièrement, compensant une perte de mémoire et de connaissance liée à un personnel en moyenne plus mobile, voire des réductions de personnel.

Ces politiques de surveillance plus actives permettent fréquemment des réparations à temps avant que les fuites n'augmentent. Cependant, rien ne permet de préciser le pourcentage de brèches qui auraient pu être évitées si on avait pratiqué une surveillance plus forte.

### **1.3.2. L'entretien**

Le fauchage et le débroussaillage sont souvent pratiqués afin de permettre des inspections visuelles complètes, mais il reste encore des digues où ce n'est pas le cas.

Sur la plupart des canaux, les exploitants interviennent régulièrement pour colmater les amorces de renard, en procédant à une reconstitution très localisée par un matériau argileux, complété parfois par une protection de berge.

### 1.3.3. Les réparations en urgence

Le caractère soudain des dégradations amène à des interventions d'urgences soit pour remettre en service après rupture soit pour éviter une rupture de digue.

Des réparations provisoires consistant à boucher le passage d'eau par des enrochements, du béton, de l'argile ou des palplanches sont pratiquées. Elles peuvent si nécessaire être suivies par des confortements ultérieurs.

Pour illustrer ce type de situation, deux exemples peuvent être donnés :

#### Rupture d'une digue sur le canal du Nord en janvier 2003

La surveillance de cette digue avait mis en évidence un phénomène d'érosion interne (entraînement de matériaux dans les fuites, érosion sur le talus aval).

Un confortement de la digue par la mise en place d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane était programmé au cours du chômage du mois d'avril. Mais la digue n'a pas résisté et a cédé un vendredi en soirée en janvier 2003. Une brèche importante s'est formée et le bief a inondé les terrains environnants.

Les problèmes rencontrés étaient logistiques : absence de personnel, carriers ne travaillant pas le samedi, circulation interdite des camions le week-end ...

La réparation d'urgence a consisté à mettre en place des enrochements et couler du béton pour consolider le tout (figure 8).

#### Réparation d'un trou dans une digue équipée d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane sur le canal de la Marne au Rhin Bief 34

En mars 2001, des fuites importantes ont été observées ainsi qu'un vortex (tourbillon) dans le canal. Le bief a été vidé, une galerie était formée dans la digue, la géomembrane était poinçonnée et la dalle béton dégradée. La galerie et la zone sensible ont été comblées par 35 m<sup>3</sup> de béton. Actuellement il subsiste des petites fuites, incomparables avec les débits très importants avant la réparation.

### 1.4. Les confortements

Les digues de canaux sont confortées :

- soit en recouvrant la cuvette de canal d'un revêtement étanche : revêtement traditionnel en argile, béton de ciment ou béton bitumineux, des nattes en béton, ou une géomembrane correctement protégée,
- Soit en incorporant à la digue un écran vertical étanche : rideau de palplanches, rideau d'injection ou une paroi moulée (figure 9),
- Le drainage aval lorsqu'il est possible constitue une solution alternative plus légère ou simplement un complément aux autres solutions (permettant la réalisation d'un rideau plus court allongeant les lignes d'eau).

### 1.4.1. La réparation par palplanche

Elle reste actuellement de loin la plus pratiquée, et est presque systématiquement préférée lorsqu'elle est possible, et que le cuvelage entier n'apparaît pas indispensable. Les principaux avantages en sont :

- la mise en œuvre et le contrôle sont maîtrisés par les services,
- la technique a fait ses preuves, elle est efficace
- la mise en œuvre ne présente pas de gêne pour la navigation puisqu'elle ne nécessite pas de chômage.
- le prix est intéressant et les démarches administratives sont réduites grâce à l'utilisation de marchés à bons de commande,

Parfois, les techniques de réparation par palplanches sont complétées par des injections localisées.

La difficulté est de battre suffisamment la palplanche pour assurer sa stabilité et d'atteindre un niveau de terrain peu perméable. Par ailleurs, il est souhaitable de réaliser un linéaire suffisant pour éviter le contournement des fuites.

Dans le cas contraire, il n'y aura pas d'étanchement mais tout de même un rôle anti érosion interne.

Lorsque le sol comporte des blocs, le battage devient plus difficile voire impossible. En tout état de cause on cherche à éviter le sur battage car il peut avoir comme conséquence de casser le bloc ou de déformer la palplanche, l'effet sur la perméabilité peut être négatif.

Des sondages voire des essais de battage sont donc pratiqués.

Il est préférable d'éviter les trous de manutention qui peuvent être un point de passage d'eau s'ils sont situés sous le niveau d'eau.

### 1.4.2. Les injections

De manière générale, pour les injections dans les digues, deux difficultés se présentent :

- le remplissage des vides existants peut conduire à des volumes trop importants
- les parties perméables sont orientées dans le sens transversal de la digue et non longitudinal alors qu'on vise à créer un écran longitudinal.

Ces difficultés ou une pratique d'espacements trop importants entre les forages, ou encore des critères d'exécution trop peu contraignants ont souvent conduit à des mauvais résultats, de sorte que postérieurement d'autres réparations ont dû être faites.

Des injections à faible pression (3 bars) ou à pression gravitaire ont été essayées, avec des forages très rapprochés (33 à 75 cm). Avec cette technique, de bons résultats expérimentaux ont été obtenus.

### 1.4.3. Réfection complète de cuvette

Cette méthode a l'inconvénient de nécessiter un chômage du canal, et est de manière générale plus onéreuse. Elle permet cependant le traitement global de l'ensemble de la cuvette (fond, berges et digues).

La solution la plus utilisée maintenant est basée sur l'usage des géomembranes qui s'est considérablement développé ces 20 dernières années et semble amener à des solutions performantes mais relativement onéreuses.

On utilise un DEG (dispositif d'étanchéité par géomembrane) composé d'une structure support (couche support du remblai + géotextile), de la structure d'étanchéité (géomembrane bitumineuse) et d'une structure de protection (dalle béton de l'ordre de 15 cm, enrochements bétonnés et en expérimentation : matelas de gabions) (figure 7).

### 1.4.4. Réfection de la digue en argile

Plus rarement, notamment lorsqu'on veut éviter les palplanches (pour des raisons esthétiques notamment), ou qu'on craint des instabilités de terrain préjudiciables à des revêtements complets de la cuvette, on a recourt à des méthodes plus traditionnelles utilisant des matériaux argileux (figure 6).

Une technique de réparation est de reconstituer une digue en argile complétée par un géotextile, un grillage anti-fouisseur et un boudin hélophyte au niveau de la zone de battillage.

La mise en œuvre est cependant délicate. Il est possible de simplement constituer un corroi argileux par tranchée lorsque les fuites sont en partie supérieures.

#### Réparation de digue en argile

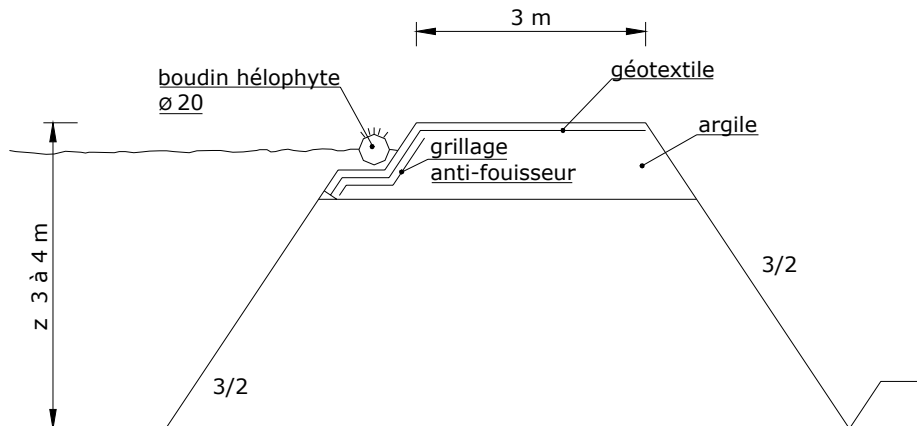


Figure 6 : Réparation de digue en argile



*Figure 7 : Canal de Briare - digue de Montambert : utilisation expérimentale de Gabions*



*Figure 8 : Canal du Nord – réparation de la dalle Béton*



Figure 9: Canal du Midi – bief de Trèbes : utilisation d'un rideau de palplanches

## 2. La démarche patrimoniale de VNF

De nombreux canaux gérés par VNF sont endigués sur une partie importante de leur linéaire. Tel qu'il a été énoncé dans la première partie, la plupart des ces **digues sont anciennes et ont été construites avec des matériaux non sélectionnés disponibles à proximité du canal**. De plus elles ont subi des changements de leurs structures aux cours des travaux de confortement et de ce fait les typologies sont variées et mal connues. En outre, de nombreuses digues sont en mauvais état et sujettes à des fuites ; cette situation étant variable selon les biefs y compris pour un même canal.

Afin de garantir la sécurité des biens et des personnes, ainsi que pour assurer un niveau de service aux professionnels du transport fluvial, VNF prévoit de mettre en place un **plan de fiabilisation des digues**. Une telle démarche implique notamment la connaissance approfondie du linéaire et la réalisation d'une évaluation de l'état de ces d'ouvrages.

### 2.1. Les étapes pour la fiabilisation du réseau

Les études nécessaires à la mise en place d'un plan de fiabilisation des digues, doivent être faites sur la base d'un raisonnement par itinéraire, pour distinguer les priorités et permettre une programmation. On aboutit ainsi à des projets par axe



permettant l'élaboration des projets de restauration validés sur le plan technique, juridique et environnemental.

Ce plan de fiabilisation se déroule en **3 phases** :

- la réalisation d'un état des lieux – le pré diagnostic ;
- la définition des priorités d'intervention ;
- un diagnostic approfondi et la définition des solutions techniques.

### **2.1.1. La réalisation d'un état des lieux**

La réalisation de l'état des lieux prévoit à son tour les étapes suivantes :

#### **Le recensement du linéaire**

Afin de recenser le linéaire des digues gérées par l'établissement et de référencer ces ouvrages sur un Système d'Informations Géographiques (SIG), une enquête auprès des services est lancée. De plus, en prévision pour les étapes suivantes, il est demandé aux services de faire un constat de la végétation existante sur les digues et de chiffrer les besoins permettant d'assurer la visibilité (débranchage, etc....)

L'ensemble des données recueillies lors des enquêtes sera intégré sous la forme d'une base de données sous système S.I.G. et au format tableur Excel.

- L'utilisation de la base de données au format tableur Excel permet de disposer et d'accéder rapidement à l'ensemble des données.
- L'utilisation du listing permet de réaliser des requêtes successives en fonction des paramètres étudiés.
- La base de données sous SIG permet de faire, à l'aide des fonctionnalités thématiques et de sélection par requête, des visualisations par tronçon homogène sous fond cartographique accompagnées de l'ensemble des informations voulues.

#### **Définition d'un ordre de priorités**

Vu les dimensions du linéaire faisant l'objet de la démarche, il s'avère nécessaire établir un ordre de priorités pour la réalisation d'un pré diagnostic. Cet ordre sera donc établi sur la base de l'enjeu « sécurité des biens et des personnes ».

A cet effet, le croisement se fait sur la base SIG, en utilisant les données existantes (occupation des sols, lieux d'habitation à proximité, etc....) éventuellement complétées par des informations recueillies pendant l'enquête.

#### **Le pré-diagnostic**

Il est fait mention ci dessous d'une méthodologie issue de recommandations du MEDD<sup>2</sup> et du Cemagref dans le « guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires : surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations ».

**(1) - Etude historique** : cette étude permet un recensement de tous les documents existants sur la digue (plans, photos, archives, études

---

<sup>2</sup> MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

antérieures...) Elle permet de connaître la digue dans son ensemble, les matériaux constitutifs, le type de digue (avec ou sans étanchéité..). Cette étude permet aussi de recenser les désordres subis par la digue et les travaux de réparation ou confortement. Cette étape s'avère donc indispensable pour la suite de l'étude.

- (2) - **Topographie** : l'objectif de l'étude topographique est de préciser les profils en travers pour les études géotechniques et fournir un instrument de report et de suivi des digues. Elle permet de vérifier l'homogénéité de la hauteur des digues vis à vis du plan d'eau et/ ou de la crue de projet.
- (3) - **Inspection visuelle** : elle permet de relever les indices de surfaces tels que : mouvements de terrain, érosions et ravinements, zones de végétation singulière, terriers, fuites... Cette inspection ne peut avoir lieu que sur une digue parfaitement entretenue d'un point de vue végétation, c'est à dire fauchée et débroussaillée.

### 2.1.2. La définition des priorités d'intervention

Les problèmes observés doivent être reliés à des enjeux clairement identifiés par tronçons homogènes. Ces enjeux à identifier sont multiples et peuvent concerner entre autres :

- la sécurité des personnes et biens des risques liés aux inondations (prioritaire pour VNF);
- le maintien de la navigation;
- la protection des usages liés à l'eau.

Chaque enjeu, en fonction de cas de figures définis, est l'objet d'une évaluation relative au risque potentiel associé ; cette évaluation conduit à la définition de niveaux de risques croissants.

Ainsi, par exemple, il est possible de définir le degré de vulnérabilité en cas de problème d'inondation lié à une rupture de digue, en fonction de l'occupation des sols limitrophes ; en effet, selon la vocation des sols (de type bâti ou non bâti), le risque associé sera respectivement fort ou moyen.

Différentes combinaisons sont possibles selon les enjeux et les niveaux de risque pris en considération. A priori, l'enjeu associé au risque d'inondation reste prioritaire dans l'ensemble des analyses menées ; il conditionne donc le classement et la distinction des différents niveaux de sensibilité.

Afin de relier clairement les problèmes rencontrés sur les digues du canal avec les enjeux, et pouvoir aboutir à la définition de priorités d'intervention, un traitement informatique sous forme de base de données et sa visualisation cartographique est nécessaire.

### 2.1.3. Le diagnostic approfondi et le choix de la technique

Une fois définies des priorités d'intervention, un diagnostic approfondi s'impose afin de mieux cerner le problème et orienter le choix de la solution technique. D'après les recommandations du MEDD et du Cemagref, cette étape est basée sur le programme de reconnaissances suivant :

- (1) - **reconnaisances géophysiques en continu** : ces reconnaissances permettent d'avoir une vision spatiale de la constitution de la digue et d'apprécier son degré d'hétérogénéité. De plus, elles permettent de mettre en évidence les points ou les tronçons particuliers (confirmation ou non de l'inspection visuelle)
- (2) - **reconnaisances ponctuelles le long du linéaire** : ces reconnaissances, essentiellement des sondages et des essais géotechniques, ajusteront les méthodes géophysiques et permettront de caractériser ponctuellement mais de façon précise la constitution de la digue. Ces reconnaissances sont à réaliser de manière régulière sur tout le linéaire.
- (3) - **reconnaisances approfondies ponctuelles** : ces reconnaissances sont à réaliser aux points où des anomalies ont été relevées soit par l'inspection visuelle, la campagne géophysique ou les reconnaissances géotechniques sur le linéaire.

Enfin, le choix des solutions techniques pour tous les tronçons homogènes résultent de la combinaison des solutions types et des diagnostics. De plus le choix des techniques se fait en fonction de la disponibilité foncière, des enjeux (inondations, captages et rejets), des contraintes hydrauliques en rivière et de la hauteur du talus.

## 2.2. Un outil d'évaluation et gestion : la méthode Visites Simplifiées Comparées

VSC est une méthode globale de gestion d'un parc d'ouvrages qui permet d'associer des avis de spécialistes et des choix stratégiques de gestionnaires. Cette méthode, développée par le CETMEF<sup>3</sup> et les services du Réseau Scientifique et Technique, permet une évaluation rigoureuse et homogène de l'état des digues (figure 10).

En effet, cette méthode labellisée par le réseau des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées et le Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes a été l'objet d'une réflexion pour l'adapter aux réalités des voies navigables : prise en compte des contraintes hydrauliques, de navigation, diversité d'ouvrages fixes et mobiles....

VSC concerne la totalité des ouvrages liés à la voie d'eau, ce qui explique que cette méthodologie a déjà été retenue par VNF pour la réalisation des avant projets sommaires d'itinéraire des VN (APSIVN). L'avantage de cette méthode, c'est qu'elle associe les avis des spécialistes et les choix stratégiques de l'exploitant. Ainsi, VSC apporte une réponse aux besoins de VNF ; elle prend en compte deux aspects du plan de fiabilisation des digues :

- **l'état des ouvrages** vis à vis du fonctionnement (technique), de la sécurité et de l'environnement

---

<sup>3</sup> Centre d'études techniques maritimes et fluviales

- **la définition des priorités d'intervention** ou stratégie s'appuyant sur des études indépendantes (ex : potentiel touristique, ressource en eau, transport...)

### 2.2.1. Les principes de la méthode

Cette méthode d'évaluation et gestion s'appuie sur deux principes :

- **les visites simplifiées**, car elle permet d'aller à l'essentiel en matière d'expertise technique en définissant ce qui est important d'observer sur un ouvrage en fonction du type de structure et en fonction des paramètres d'usage,
- **les visites comparées**, car au niveau de l'expertise (recherche des états techniques et d'usages) et de la stratégie (en terme de conséquences à partir de l'expertise), les ouvrages sont comparés les uns par rapport aux autres dans une analyse différentielle qui aboutit à un classement hiérarchique des risques et des suites à donner ; les différents états dans le temps de l'ouvrage sont également comparés.

La méthode vise en premier lieu à détecter sur les ouvrages toutes les anomalies susceptibles de mettre en jeu la sécurité des usagers afin d'y remédier le plus vite possible.

En second lieu, elle permet de définir des priorités d'actions sur les ouvrages à court, moyen ou long terme à partir du croisement de deux indices attribués à chaque ouvrage :

- (1) - **un indice stratégique (IS)** fonction de l'importance et du rôle de chaque ouvrage dans le système de gestion auquel il appartient dont des règles de définition doivent être élaborées avec les gestionnaires et les partenaires locaux,
- (2) - **un indice d'état (IE)**, à caractère technique, fonction de l'état mécanique et de l'usage de l'ouvrage, à définir par l'expert du domaine.

### 2.2.2. La méthodologie

- (1) - **La décomposition en objets** : pour la réalisation de l'étude, chaque ouvrage est décomposé en objets suivant les principes suivants
  - une structure = un fonctionnement mécanique + un matériau principal
  - un objet = une structure + une utilisation
  - un ouvrage = un ou plusieurs objets

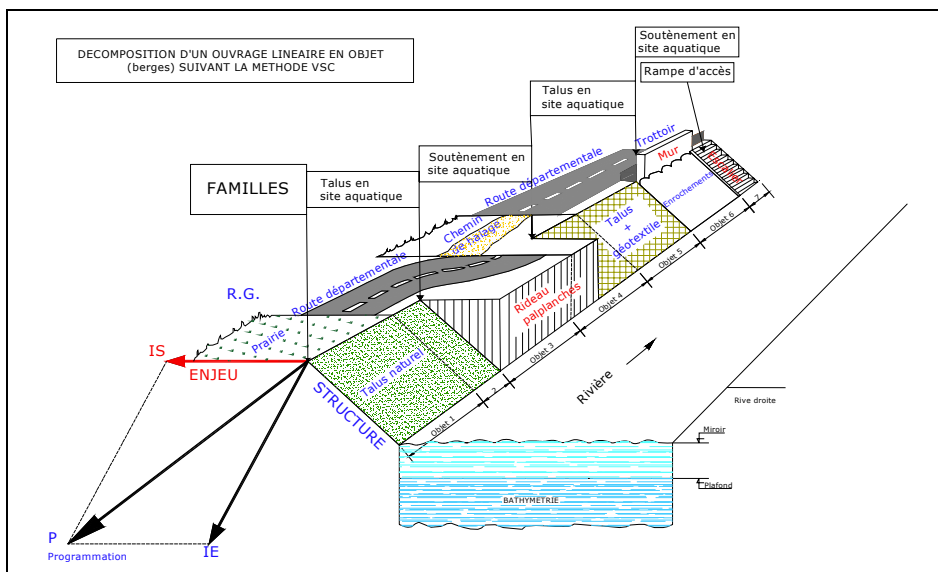


Figure 6

- (2) - **La zone d'influence de l'ouvrage** : elle est directement liée à la structure de l'ouvrage dans le sens longitudinal et aussi dans le sens transversal à la voie d'eau. Pour connaître et délimiter cette zone indispensable à la réalisation de la VSC par l'expert, on s'appuiera à chaque fois sur les principes de stabilité des ouvrages de types remblais et talus ou encore de soutènements (prismes de poussée-butée – Cercles de glissements,...). D'où l'importance d'une connaissance « minimum » du ou des matériaux constitutifs du corps de digue. On s'assurera également des interactions possibles entre cette zone d'influence purement mécanique et la zone du DPF. En ce sens sera parfois nécessaire d'introduire dans la réalisation de la VSC, l'examen d'ouvrages ou de corps d'ouvrages extérieurs ou en limite de la zone d'influence et pouvant jouer le rôle de « révélateurs de pathologies ». Le principe de précaution étant en dernier recours, la voie à suivre pour déterminer en cas de doute les limites de l'examen.
- (3) - **L'indice stratégique** : il correspond à un classement de l'ouvrage en fonction de son caractère plus ou moins prioritaire sur le plan stratégique. Il est défini par le gestionnaire de l'ouvrage selon un processus d'évaluation qui lui est propre tout en s'appuyant sur des règles qui prennent en compte les enjeux politiques et financiers (ex : importance de l'ouvrage dans la continuité du réseau...)
- (4) - **L'indice d'état** : chaque objet est affecté d'un indice d'état. L'échelle comporte 4 indices d'état correspondant à l'immédiat, le court, le moyen et le long terme ou hors classement si un doute subsiste sur la décomposition, la structure ou la notation. Ces indices d'état correspondent aux éléments suivants :

IE	ETAT DE L'OUVRAGE	Délai d'intervention	Type d'action	Action à entreprendre
1- Première catégorie	La sécurité immédiate de l'ouvrage ou de l'utilisateur n'est plus assurée	Immédiat	- Curatif - Opérations sécuritaires portant sur la structure ou les équipements - et / ou inspection détaillée urgente	Restriction d'exploitation sur l'ouvrage et diagnostic approfondi
2- Deuxième catégorie	L'ouvrage présente des désordres mécaniques graves ou des dégradations très importantes qui peuvent mettre en cause à court terme l'état de service actuel	Court terme (1 à 2 ans)	- Curatif - et / ou inspection détaillée	Diagnostic approfondi et travaux de réparation
3- Troisième catégorie	L'ouvrage demande des travaux importants ou spécialisés (matériaux et équipements), nécessaires pour arrêter le processus de dégradation qui à moyen terme le conduirait à passer en deuxième catégorie	Moyen terme (2 à 3 ans)	Préventif Travaux préventifs d'entretien spécialisés	Investigations en vue d'établir des travaux d'entretien spécialisés
4- Quatrième catégorie	L'ouvrage nécessitera un entretien courant non spécialisé	Long terme (à partir de 4 ans)	Préventif - Entretien préventif courant - Inspection détaillée long terme	Entretien non spécialisé
HC – Hors Classement	L'ouvrage ne peut recevoir d'IE car son observation n'est possible qu'avec des moyens particuliers			Mettre en œuvre des moyens particuliers adaptés à l'observation de l'ouvrage

### 2.2.3. L'adaptabilité au diagnostic des digues

Il n'apparaît pas nécessaire de démontrer l'adéquation de la méthode VSC au diagnostic des digues VN. Le CETMEF d'une part, le RST de l'autre se sont déjà saisis de cet aspect et les résultats des travaux en cours démontrent qu'il est possible de mener à bien cette application, en suivant les principes fondateurs de la méthode :

- définition du groupe d'appartenance (situation du groupe dans le patrimoine global)
- définition des familles dans les groupes (typologies à recenser)
- **découpage en objets** en fonction des « structures » et des « utilisations » : à ce stade il semble que compte tenu de la méconnaissance des corps de digues, l'on ait intérêt à un découpage plus important que celui habituellement pratiqué, afin, le cas échéant, de procéder à des regroupements au fur et à mesure de la connaissance des lieux.
- définition des **identifiants mécaniques et d'usages** en s'appuyant sur un ou plusieurs comités techniques ainsi que sur l'existant en matière de visites déjà réalisées ainsi que de textes et guides techniques. Rappelons que le principe de base consiste à décliner les problèmes pouvant être rencontrés en allant du « global » au « local ».
- Définition des différentes zones, en tenant compte notamment pour la VSC d'usages, de la diversité des « usagers » qu'ils soient de la voie d'eau ou extérieurs (service d'exploitation, navigants, touristes, riverains,...)

En définitive, les différentes étapes faisant partie du pré diagnostic<sup>4</sup>, soit : l'étude de l'historique, la topographie et l'inspection visuelle, sont tout à fait intégrables par VSC.

De plus, les études correspondant au diagnostic (programme de reconnaissances spécifiques) peuvent soit constituer les « **actions** » au sens de VSC, soit si l'ouvrage est considéré comme « sensible » par une interprétation délicate ; être intégré dans les **identifiants mécaniques**.

---

<sup>4</sup> Recommandations du MEDD et du CEMAGREF en matière de gestion et de surveillance pour les digues.

### 3. Conclusion

Le patrimoine de digues de canaux de navigation est ancien et mal connu, aussi bien dans sa longueur que par la constitution des ouvrages, qui sont en général de petites dimensions et constitués de matériaux hétérogènes sans dispositifs de filtration.

Ce patrimoine est globalement en état médiocre et souffre surtout de problèmes de fuites localisées ou diffuses amenant régulièrement à des ruptures sur les biefs les plus fragiles.

Cette situation a été aggravée par les évolutions connues au XX<sup>e</sup> siècle : changement des caractéristiques, navigation plus agressive.

La compréhension des pathologies et l'évaluation des risques réels de ruptures est souvent difficile par manque de connaissances sur la digue.

Si des pratiques de surveillance et d'entretien existent dans la plupart des services de navigation, elles restent encore insuffisamment systématisées, et ne permettent pas toujours d'anticiper sur les dégradations ou ruptures soudaines.

Toutefois, de nombreux confortements ont été réalisés ces 30 dernières années, et la sécurité des biefs les plus fragiles a été améliorée, en utilisant notamment des techniques confirmées comme les rideaux de palplanches ou plus récentes comme la technique de cuvelage complet par géomembrane protégée.

Des progrès restent à accomplir dans la mise en oeuvre rigoureuse de ces réparations, et la recherche des solutions les plus adaptées.

Cette situation amène VNF à mettre en œuvre une politique plus active de gestion et entretien de ce patrimoine. Ainsi, en fonction de la criticité de l'ouvrage et des risques pour les personnes et les biens, les évaluations, diagnostics et les restaurations des ouvrages à entreprendre seront priorisés.

Cette démarche, inscrite dans le plan de fiabilisation des digues, se sert pour l'évaluation d'une méthodologie technique mise au point au sein du réseau scientifique et technique de l'équipement: la VSC. D'autre part, cet outil permettra également une gestion du parc d'ouvrages des voies navigables, avec une planification des interventions stratégiques.



## Références bibliographiques

Notice STC n° 79-2 : Les digues des Voies Navigables Auteur Y. BRYGO - Mai 1979

Etude des anciennes digues de canaux – Rapport de Synthèse – Auteur H. JOSSEAUME. – Octobre 1986

Notice STC. ERVN n° 96-01 – Digués anciennes de canaux – Utilisation des méthodes géophysiques pour la reconnaissance des digues des voies navigables et cours d'eau – Auteurs : LRPC d'Autun et D. ETIENNE. – Août 1996

Note STCVN n°92.A – Mai 1992 « Réhabilitation de l'étanchéité d'une section de voie navigable par utilisation d'une géomembrane : présentation d'une opération de cuvelage complet sur le bief d'Iguerande du canal de Roanne à Digoin. »

Recommandations pour le dimensionnement et la construction de revêtements souples incorporant des géotextiles pour les voies navigables intérieures – rapport du groupe de travail n°4 du CTP 1, supplément au bulletin 57 (1987) de l'AIPCN.

Ouvrages de navigation et écoulements souterrains - Les repères - Cetmef-VNF - janvier 2002

Guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires : surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations. - MEDD/Cemagref - juin 2001