

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

Fabrice Daly^a, Corinne de la Personne^b et Laura Chapital^b

En France, la presque totalité des canaux sont anciens et à petit gabarit. L'état de leurs digues conduit actuellement à des ruptures assez fréquentes, avec des conséquences sur la sécurité publique et l'exploitation. En tant que gestionnaire d'un réseau navigable de 6 700 km, composé de rivières naturelles aménagées et de canaux, Voies navigables de France (VNF)¹ entreprend une démarche de recensement et d'étude des risques sur les digues de canaux. Cet article traite seulement des digues de canaux anciens construits pour une grande partie au XIX^e siècle ; après une première partie consacrée à la typologie des ouvrages et des dégradations, nous présentons la démarche patrimoniale de VNF avec ses actions de fiabilisation du réseau et ses outils d'évaluation et de gestion.

L'état des lieux

Constitution et typologie des digues

Selon la configuration du canal, différents types de digues peuvent se rencontrer : déblai, déblai partiel, remblai ou canaux latéraux aux rivières. Les digues se différencient également par le type de berges et d'étanchéité.

La constitution des digues anciennes est souvent mal connue sauf celles pour lesquelles des sondages ont été réalisés récemment. La plupart d'entre elles sont constituées de couches de matériaux locaux de natures très variables, plus ou moins perméables avec des discontinuités favorisant l'écoulement interne. Lorsque les matériaux n'étaient pas

étanches, les constructeurs mettaient en place un tapis d'argile sur les digues et la cuvette.

Elles ne comportent ni dispositif de drainage interne, ni système filtrant pour empêcher l'érosion régressive, et rarement un véritable noyau argileux. Beaucoup de ces digues anciennes ont fait l'objet de renforcements, par différentes techniques avec des fortunes diverses.

Les dégradations et pathologies

De nombreuses digues présentent des fuites importantes, pouvant mener à des ruptures dues à l'érosion régressive ou plus rarement à une perte de stabilité d'ensemble (rupture circulaire). En pratique, les ruptures sont souvent déclenchées par des facteurs initiant dans un premier temps des désordres localisés :

- l'érosion des berges due au batillage ou à la rivière pour un canal latéral ;
- les galeries de rongeurs ;
- les coupes des arbres, pouvant provoquer des renards ;
- la création d'un point faible mal protégé et favorisant l'infiltration.

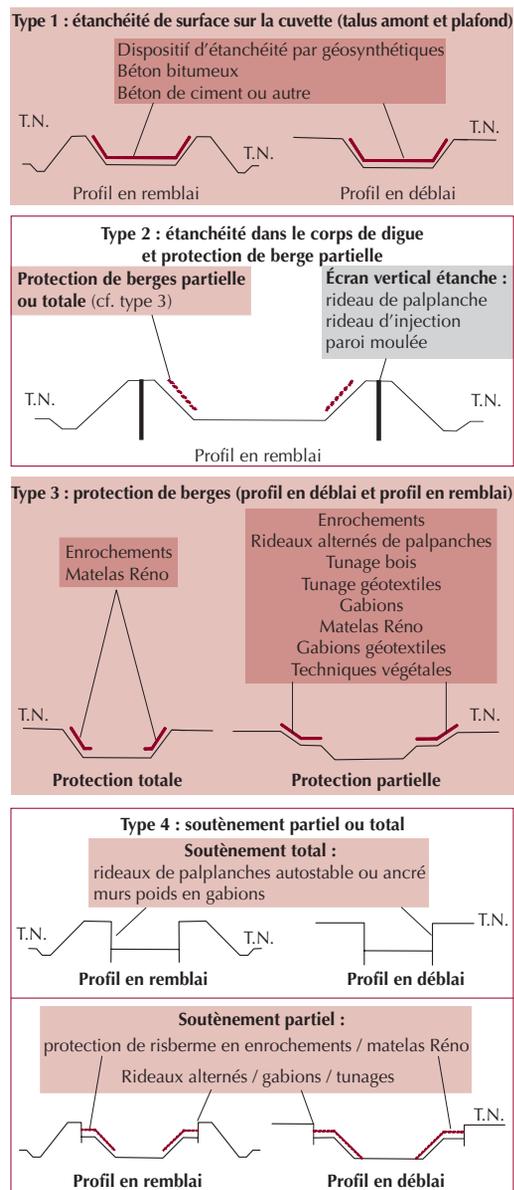
D'autres phénomènes, d'origine naturelle (climat, nappes, crues...) ou liés à la constitution ou l'exploitation du canal (approfondissements, marnages, travaux...) peuvent contribuer à fragiliser la digue. Les pathologies dues à des confortements anciens sont fréquentes : confortements insuffisants, effets sur la circulation d'eau.

1. Voies navigables de France est un établissement public sous la tutelle du ministère en charge de l'Équipement et des Transports. <http://www.vnf.fr>

Les contacts

a. Cetmef, Division
Ouvrages fluviaux et de
navigation intérieure,
2, bd Gambetta,
BP 60039, 60321
Compiègne Cedex
b. VNF, Direction de
l'Infrastructure et
l'environnement,
175, rue Ludovic
Boutleux, 62408
Béthune Cedex

► Figure 1 –
Typologie des berges.



Des cas de circulations plus complexes en fondation se rencontrent fréquemment : écoulement souterrain propre à la nappe phréatique et perpendiculaire au canal, terrain de fondation karstique.

Les fuites très localisées ou plus diffuses, se manifestent en général par une consommation d'eau importante, des problèmes de stabilité d'ouvrage, des suintements ou résurgences à la surface du talus externe ou à l'aval du pied de digue, une végétation hydrophile, des bruits d'écoulement,

un vortex à la surface de l'eau. Les résurgences peuvent se trouver à une certaine distance de la digue. Il arrive qu'elles soient accompagnées de dépôt de sols fins de la digue, ou de formations de cavités en pied ou en milieu de digue. Les passages d'eau débouchent souvent dans la zone de battillage qui est la plus agressée, mais on trouve des renards aboutissant dans les plafonds, lorsque ceux-ci ne sont pas étanches ou subissent un gradient élevé, ou en cas de sol karstique.

Pour ces 5 dernières années (1999-2004), on a dénombré une cinquantaine de brèches accidentelles sur les canaux anciens, et également des fuites importantes susceptibles d'évoluer vers des brèches. Les causes précises des ruptures ne sont pas toujours clairement analysées, mais les deux principales qui se dégagent sont les débordements de rivières et les galeries de rongeurs. Les autres causes non identifiées sont probablement dues à une évolution progressive de fuites.

Surveillance, entretien et petites réparations

La plupart des services pratiquent une surveillance des digues, mais pas toujours de manière très systématique et organisée. Ils réalisent une inspection visuelle lors des campagnes d'entretien et surveillent l'évolution des fuites. Dans certains services, la surveillance est organisée et périodique avec une attention différente selon le niveau de risque. Le fauchage et le débroussaillage sont souvent pratiqués afin de permettre des inspections visuelles complètes. Sur la plupart des canaux, les exploitants interviennent régulièrement en préventif ou en urgence (avant ou après rupture) pour colmater les amorces de renard, en procédant à une reconstitution très localisée par un matériau argileux, complétée parfois par une protection de berge, ou boucher le passage d'eau par des enrochements, du béton, de l'argile ou des palplanches.

Les confortements

Les digues de canaux sont confortées soit en recouvrant la cuvette de canal d'un revêtement étanche, soit en incorporant à la digue un écran vertical étanche. Le drainage aval lorsqu'il est possible constitue une solution alternative plus légère ou simplement un complément aux autres solutions.

LA RÉPARATION PAR PALPLANCHE

Elle reste actuellement de loin la plus pratiquée, et est presque systématiquement préférée lorsqu'elle est possible. Les principaux avantages en sont :

- technique éprouvée et efficace ;
- mise en œuvre et contrôle maîtrisés par les services ;
- mise en œuvre sans gêne pour la navigation ;
- prix intéressant et démarches administratives réduites grâce à l'utilisation de marchés à bons de commande.

La difficulté est de battre suffisamment la palplanche pour assurer sa stabilité et d'atteindre un niveau de terrain peu perméable. Lorsque le sol comporte des blocs, le battage devient plus difficile voire impossible, et on cherche à éviter le surbattage car il peut avoir comme conséquence de casser le bloc ou de déformer la palplanche, avec un effet négatif sur la perméabilité. Par ailleurs, il est souhaitable de réaliser un linéaire suffisant pour éviter le contournement des fuites.

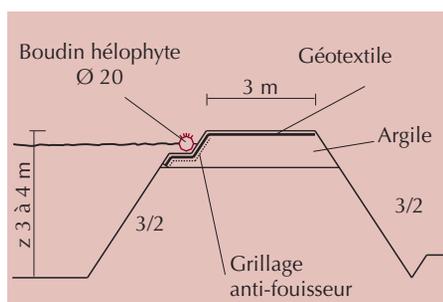
Des sondages voire des essais de battage sont pratiqués. Parfois, les techniques de réparation par palplanches sont complétées par des injections localisées.

LES INJECTIONS

De manière générale, les injections dans les digues se heurtent à deux difficultés : le remplissage des vides qui peut conduire à des volumes trop importants, et l'orientation des parties perméables dans le sens transversal de la digue 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. Cependant, des expérimentations ont donné de bons résultats : des injections à faible pression (3 bars) ou à pression gravitaire avec des forages très rapprochés (33 à 75 cm).

RÉFECTION COMPLÈTE DE CUVETTE

Cette méthode a l'inconvénient de nécessiter un chômage du canal, et est de manière générale

Réparation de digue en argile**Canal de Briare : utilisation expérimentale de Gabions****Canal du Nord : réparation de la dalle béton****Canal du Midi : rideau de palplanches**

◀ Figure 2
– Exemples de réparations de digues.

plus onéreuse. Elle permet cependant le traitement global de l'ensemble de la cuvette. La solution la plus utilisée maintenant est fondée 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 dispositif 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, enrochements bétonnés et en expérimentation : matelas de gabions).

RÉFECTION DE LA DIGUE EN ARGILE

Plus rarement, notamment lorsqu'on veut éviter les palplanches, on a recours à des méthodes plus traditionnelles utilisant des matériaux argileux. 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 supérieure.

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 de 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 au 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 ouvrages.

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 prédiagnostic ;
- la définition des priorités d'intervention ;
- un diagnostic approfondi et la définition des solutions techniques.

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 (débroussaillage, etc.).

L'ensemble des données recueillies lors des enquêtes seront intégrées sous la forme d'une base de données sous système SIG et au format tableur Microsoft Excel® :

- l'utilisation de la base de données au format tableur Microsoft 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.

– *La définition d'un ordre de priorités*

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

À 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 prédiagnostic*

Il est fait mention ci-dessous, des principales étapes d'une méthodologie issue de recommandations du MEDD² 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 » :

- étude historique ;
- étude topographique ;
- inspection visuelle.

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.

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 doit inclure des reconnaissances :

- 1) géophysiques en continu ;
- 2) ponctuelles le long du linéaire ;
- 3) approfondies ponctuelles.

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.

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

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 Cetmef³ et les services du Réseau scientifique et technique⁴, permet une évaluation rigoureuse et homogène de l'état des digues.

En effet, cette méthode labellisée par le réseau des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées et le Service d'études 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 à déjà été retenue par VNF pour la réalisation des « avant-projets sommaires d'itinéraire des voies navigables » (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 ;

2. MEDD : ministère de l'Écologie et du Développement durable.

3. Centre d'études techniques maritimes et fluviales.

4. Réseau scientifique et technique de l'Équipement (RST) : <http://www2.equipement.gouv.fr/recherche/>

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

LES PRINCIPES DE LA MÉTHODE

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. À cet effet, cette méthode associe les avis techniques des spécialistes et les choix stratégiques de l'exploitant.

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 (tableau 1).

L'ADAPTABILITÉ AU DIAGNOSTIC DES DIGUES

Il n'apparaît pas nécessaire de démontrer l'adéquation de la méthode VSC au diagnostic des digues des voies navigables. 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) ;

▼ Tableau 1 – Grille descriptive de l'indice d'état.

Indice d'état : IE	État 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

- 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, 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, navigateurs, touristes, riverains...).

En définitive, les différentes étapes faisant partie du prédiagnostic⁵, 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**.

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,

en général de petites dimensions et constitués de matériaux hétérogènes sans dispositifs de filtration. Il souffre surtout de problèmes de fuites amenant régulièrement à des ruptures. La situation a été aggravée par les évolutions du xx^e siècle : changement de caractéristiques, navigation plus agressive.

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 œuvre 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 d'entretien de ce patrimoine. Ainsi, en fonction de la criticité de l'ouvrage et des risques pour les personnes et les biens, les évaluations, les 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, de la VSC. D'autre part, cet outil permettra également une gestion du parc d'ouvrages des voies navigables, avec une planification des interventions stratégiques. □

5. Recommandations du MEDD et du Cemagref en matière de gestion et de surveillance pour les digues.

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, géomembranes. 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, geomembranes. The organization of a new management policy by VNF is described.

Bibliographie

- BRYGO, Y., mai 1979, Notice STC n° 79-2, Les digues des Voies Navigables.
- JOSSEAUME, H., octobre 1986, Étude des anciennes digues de canaux – Rapport de Synthèse.
- LRPC d'Autun et ÉTIENNE, D., août 1996, Notice STC. ERVN n° 96-01 – Digue ancienne de canaux – Utilisation des méthodes géophysiques pour la reconnaissance des digues des voies navigables et cours d'eau.
- STCVN, Note 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.
- Groupe de travail n° 4 du CTP, 1987, Rapport : recommandations pour le dimensionnement et la construction de revêtements souples incorporant des géotextiles pour les voies navigables intérieures, supplément au bulletin 57 de l'AIPCN.
- Cetmef, VNF, janvier 2002, Ouvrages de navigation et écoulements souterrains, Les repères.