



Projet INCO-WADEMED
Actes du Séminaire
Modernisation de l'Agriculture Irriguée
Rabat, du 19 au 23 avril 2004



Evaluation du patrimoine des ouvrages d'irrigation

H. Bartali, El Abidi El Alaoui

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202, 10101 Rabat-Instituts, Maroc

E-mail : h.bartali@iav.ac.ma

Résumé - La maintenance des canaux d'irrigation est une activité indispensable pour une gestion rationnelle de l'eau, afin d'assurer la pérennité du bon fonctionnement du réseau. De plus, les considérations économiques, notamment le manque de ressources financières publiques, incitent à conserver les ouvrages existants. Dans cette étude, la méthodologie proposée par le CEMAGREF nous permet d'établir un classement des défauts des ouvrages hydrauliques en vue de l'appliquer au contexte marocain et de concevoir une base de donnée qui servira de guide pour la maintenance. Cette méthode consiste à mettre en évidence les défauts éventuels, à préciser leur nature ainsi que leur typologie, à énumérer les causes possibles et à préconiser les réparations appropriées. Pour ce faire, des visites sur terrain ont été effectuées dans les périmètres des Doukkala et du Tadla. Les causes de ces détériorations sont diverses, elles proviennent d'erreurs sur la connaissance géologique et hydrodynamique des sols, de l'absence ou de l'insuffisance d'études préalables sur les sols (sur le site ou en laboratoire), d'erreurs commises sur les hypothèses de calcul et la définition des ouvrages, du manque d'information sur la qualité des eaux (notamment leur agressivité), de l'effet " barrage " imprévu provoqué par l'ouvrage, et de malfaçons. Les procédés de réparation diffèrent selon le degré de dégradations de l'ouvrage. Cet article met en évidence l'importance d'inventorier le patrimoine marocain des ouvrages d'irrigation et l'intérêt de répertorier leurs défauts sous la forme d'une base de donnée qui constituera une référence des types d'ouvrages existant au Maroc et de leur état.

Mots clés : base de données, défaut, dégradation, détérioration, infrastructure, irrigation, maintenance, ouvrage hydraulique, réparation, Maroc, Doukkala, Tadla.

1 Introduction

L'ensemble des ouvrages hydrauliques construits dans les périmètres irrigués représente un patrimoine très important qu'il faut entretenir. Il faut bien le constater, l'âge avancé, les conditions d'exploitation ou d'entretien de certains ouvrages, les défauts d'exécution ou de conception d'autres entraînent une diminution de leur durée de vie. Il en résulte des fuites d'eau et des dégradations multiples qui justifient le renforcement ou la réparation de l'étanchéité et quelquefois même de la structure.

Dans cette étude, la méthodologie proposée par le CEMAGREF (1998)[1] nous permet d'établir un classement des défauts des ouvrages hydrauliques en vue de l'appliquer au contexte marocain

et de concevoir une base de donnée qui servira de guide pour la maintenance. Cette méthode consiste à mettre en évidence les désordres éventuels, à préciser leur nature ainsi que leur typologie, à énumérer les causes possibles et à préconiser les réparations appropriées.

Il est attendu que l'inventaire obtenu permette de mieux gérer économiquement l'entretien et la maintenance des ouvrages. Il facilite la mise au point d'une bonne programmation des travaux de réparation, par typologie d'ouvrage, mais aussi par grand type de dégradation rencontrée.

Pour ce faire, des visites sur terrain ont été effectuées dans les périmètres des Doukkala et du Tadla dont les résultats constituent le contenu de mémoires de fin d'étude – encadrés par le département de génie rural – et d'articles (Bartali, 1999a[2]).

Le classement affecté aux défauts apparents sur les exemples en photos peut être critiqué, car cette affectation est subjective.

2 Défauts apparents des ouvrages par indice de gravité

2.1 Rappel du classement des défauts apparents des ouvrages

Ce classement prend en compte six sortes de défauts qui sont affectés d'un ou plusieurs indices :

- classe A, ouvrage en bon état (neuf ou ancien) ;
- classe B, défauts existants dès la naissance de l'ouvrage et sans conséquence importante autre qu'esthétique ;
- classe C, défauts dont l'évolution risque de s'aggraver ;
- classe D, défauts révélateurs d'une évolution de la dégradation d'un ouvrage, répartis en trois sous-classes. D1, défauts qui indiquent un début d'évolution ; D2, défauts qui indiquent une évolution avancée pour des pièces (ou ouvrages) qui ne sont pas en contact avec des liquides ; D3, défauts qui indiquent une évolution avancée pour des pièces (ou ouvrages) en contact avec des liquides ;
- classe E, défauts qui traduisent de façon très nette une modification du comportement de la structure et qui mettent en cause la durée de vie de l'ouvrage ;
- classe F, défauts indiquant la proximité d'un état limite et nécessitant soit une restriction d'utilisation, soit la mise hors service de l'ouvrage.

2.2 Défauts sur les ouvrages en béton, en béton armé et en béton précontraint

Les ouvrages en béton, en béton armé et en béton précontraint constituent la grande partie des équipements hydrauliques des périmètres irrigués, on y trouve plusieurs types de défauts qui vont du simple défaut esthétique au défaut très grave. Le faïençage est un défaut très répandu sur les canaux trapézoïdaux mais il est sans effet négatif sur le fonctionnement de l'ouvrage (figure 1), d'autres défauts plus graves, tels que les fissures, sont rencontrés sur les ouvrages hydrauliques de tous les types (figures 2 à 5).

Classe B :

- carbonatation (peau, traces) ;
- défaut géométrique du parement à grande échelle ;
- défaut géométrique du parement à petite échelle ;
- différence de teinte à grande échelle ;
- différence de teinte à petite échelle ;
- efflorescence ;
- faïençage ;

- fuite de laitance (ouvrage courant) ;
- salissures.

Classe C :

- alignement général de l'ouvrage défectueux à la construction (pour mémoire) ;
- carbonatation (surface) ;
- défaut d'enrobage localisé (ouvrage courant) ;
- défaut géométrique du parement (alignement) ;
- efflorescence ;
- faïençage ;
- fissures apparues à la construction ;
- fissures courtes <60 cm ;
- fissures le long des câbles de précontrainte ;
- fissure longitudinale ou verticale ;
- fissure oblique ;
- fissure transversale ou horizontale ;
- gaine de câble de béton précontraint apparente ;
- gonflement ;
- fissurations de joint de retrait ;
- défauts localisés ou variation de teinte des liants hydrauliques ;
- manque local de recouvrement des armatures par le béton ;
- nids de cailloux ;
- porosité localisée ;
- poussierage profondeur <5 mm ;
- salissures avec fuites ;
- ségrégation ;
- traces de rouille en petite quantité.

Classe D :

- aciers dénudés ;
- affouillements de fondations ;
- alcali-réaction (locale) ;
- basculement ;
- corrosion acier ;
- corrosion béton en surface ;
- défaut d'enrobage ;
- défaut géométrique du parement (variation d'épaisseur, ségrégation) ;
- déformation légère ;
- différence de teinte sur ouvrage contenant des liquides ;
- écaillage ;
- efflorescences importantes ;
- épaufrure ;
- faïençage sur ouvrage étanche ;
- fissure ayant évolué depuis la construction ou apparence dans le temps ;
- fissure courte en contact avec un liquide ;
- fuite de laitance ;
- fissure le long des câbles de précontrainte ;
- fissure longitudinale ou verticale ;
- fissure oblique ;
- fissures reproduisant le ferrailage ;
- fissure transversale ou horizontale ;
- gonflement ;
- défauts généralisés des liants hydrauliques ;

- nids de cailloux ;
- porosité localisée ;
- poussérage du béton ;
- protection de gaine des câbles de précontrainte ;
- rouilles ;
- salissures avec fuites assez importantes ;
- ségrégation localisée ;
- stalactites ;
- suintements ;
- tassement ;
- traces de rouille nombreuses ;
- usure.

Classe E :

- aciers dénudés très nombreux ;
- affouillement des fondations ;
- alcali-réaction généralisée ;
- basculement important ;
- cassure ;
- corrosion acier très prononcée ou début corrosion d'un câble de précontrainte ;
- corrosion béton en profondeur ;
- défaut géométrique du parement (insuffisance d'épaisseur) ;
- déformation importante ;
- déformation permanente importante ou flèche permanente anormale ;
- fers non adhérents ;
- fissure dans la zone d'ancrage d'un câble de précontrainte ;
- fissure le long des câbles de précontrainte ;
- fissure longitudinale ou verticale ;
- fissure oblique avec problème de stabilité ;
- fissure transversale ou horizontale ;
- fuite de laitance (très importante) ;
- fuites ou fissuration en dehors du joint de dilatation prévu ;
- nids de cailloux généralisés ;
- porosité généralisée ;
- poussérage généralisé de l'enduit proprement dit ;
- ségrégation importante ;
- stalactite en sous-face de dalles de cuves ;
- tassement important.

Classe F :

- affouillement des fondations ;
- alcali-réaction généralisée ;
- basculement très important ;
- cassure ;
- corrosion avancée de câbles de précontrainte ;
- défaut géométrique du parement (insuffisance d'épaisseur) ;
- déformation permanente très importante ou flèche permanente excessive ;
- déformation très importante ;
- désintégration généralisée ;
- fers non adhérents sur grande surface ;
- fissure longitudinale ou verticale ;
- fissure oblique avec problème de stabilité ;
- fissure transversale ou horizontale avec problème de stabilité ;
- fuite de laitance généralisée ;

- déchirures ou fissures dans la zone d'ancrage de la bande d'étanchéité d'un joint de dilatation ;
- nids de cailloux généralisés ;
- porosité généralisée ;
- rupture ;
- ségrégation très importante ;
- stalactite en sous-face de dalles de cuves ;
- tassement très important.



FIG. 1 – Faïencage de la couche supérieure du revêtement d'un canal rectangulaire, classes B ou C.



FIG. 2 – Ecaillage en zone de marnage, avec des petits cratères dans la partie supérieure du revêtement d'un canal trapézoïdal, classe D1.



FIG. 3 – Fissures longitudinales sur canaux trapézoïdaux, classes D2 ou E.

2.3 Défauts sur les enduits, sur les membranes, sur les joints

Si les défauts touchant les enduits et les membranes sont souvent peu graves et surtout d'ordre esthétique (figure 6), ceux qui touchent les joints évoluent dans la plupart des temps et en-



FIG. 4 – Eclatement du béton suite au développement de rouille expansive résultant de la corrosion des armatures d'un ouvrage de prise sur le canal, classe E.



FIG. 5 – Décollement de la paroi extérieure d'un canal semi-circulaire à la suite d'une corrosion de l'acier très prononcée, classes D2 ou E.

gendrent souvent des fuites graves (figure 7).



FIG. 6 – Mauvais état de surface, classe B.

2.3.1 Types de défauts rencontrés sur les enduits

Classe B :

- mauvais état de surface ;
- défaut de planéité (ne concernant que les liants hydrauliques simples et modifiés).

Classe C :



FIG. 7 – Joint détérioré avec fuites, classe E.

- mauvais état de surface avec craquelure (Ces défauts concernent aussi bien les enduits à base de liant hydraulique que les revêtements à base de résine synthétique).

Classe D :

- décollement ;
- craquelure ;
- manque d'adhérence ;
- bombement (Ces défauts concernent aussi bien les revêtements à base de liants que ceux à base de résines synthétiques).

2.3.2 Types de défauts rencontrés sur les membranes

Classe C :

- membranes avec amorce de déchirures.

Classe D :

- membranes déchirées.

2.3.3 Types de défauts constatés sur des joints

Classe C :

- joint de retrait ou joint de retrait flexion détérioré ;
- joint sec détérioré ;
- joint de construction ou de clavage détérioré sans fuite ou suintement.

Classe D :

- joint de construction ou de clavage détérioré avec fuites ou suintements.

Classe E :

- joint de dilatation bloqué ;
- joint de retrait ou de retrait flexion détérioré ;
- joint de construction ou de clavage avec des fuites ou des suintement importants.

2.4 Défauts liés à des agents extérieurs à l'ouvrage

Plusieurs défauts touchant les ouvrages hydrauliques sont liés à des agents extérieurs : les défauts liés à la circulation de l'eau, les dépôts et les traces – toujours peu ou pas graves – (figure 8), les attaques et les usures, – qui peuvent être d'ordre esthétique mais qui peuvent nécessiter la mise hors service de l'ouvrage (figure 9), et les défauts liés à la présence de végétation. Ce sont des défauts gênants mais souvent dont les répercussions sont faibles sur le bon fonctionnement de l'ouvrage (figure 10).

2.4.1 Types de défauts liés à la circulation d'eau

Classe B :

- percolation.

Classe C :

- absence de système d'évacuation des eaux ;
- insuffisance du système ;
- mauvaise conception du système.
- percolation

Classe D :

- percolation en cours.

Classe E :

- mauvaise conception du système d'évacuation et risque pour la stabilité ;
- percolation importante.

2.4.2 Types de défauts provenant de dépôts et de traces

Classe B :

- concrétion ;
- coulure ;
- dépôt ;
- efflorescence ;
- salissure.

Classe C :

- concrétion ;
- coulure ;
- dépôt ;
- efflorescence ;
- salissure ;
- tache d'humidité.

Classe D :

- stalactites.

2.4.3 Types de défauts montrant une usure et une attaque des matériaux

Classe C :

- abrasion superficielle ;
- corrosion ;
- dégarnissage des pieux ;
- érosion.

Classe D :

- abrasion superficielle ;
- corrosion intense ;
- dégarnissage des pieux.

Classe E :

- abrasion profonde ;
- corrosion profonde ;
- dégarnissage des pieux.

Classe F :

- abrasion profonde ;
- dégarnissage des pieux ;
- érosion intense.

2.4.4 Types de défauts résultant de l'installation de végétation

Classe C :

- présence de végétation.

Classe D :

- développement de végétation.



FIG. 8 – Salissure et tache d'humidité sur la paroi extérieure du canal, classe B.

3 Les causes

Les causes de ces défauts sont évidemment multiples mais peuvent se classer en un certain nombre de catégories bien distinctes.

3.1 Erreurs sur la connaissance géologique et hydrodynamique des sols

Des erreurs commises sur la connaissance géologique et hydrodynamique des sols sont beaucoup plus fréquentes qu'on ne le pense car, pour des raisons d'économie ou même de négligence,



FIG. 9 – Abrasion profonde, érosion intense et lèvres cassées, classe F.



FIG. 10 – Développement de végétation, classe C.

certains maîtres d'ouvrages ne font faire aucune campagne de reconnaissance sur le site. Ils se contentent, quelquefois, d'une vague coupe de terrain récupérée sur un site éloigné de plusieurs centaines de mètres, quand ce n'est pas de plusieurs kilomètres.

Des informations très importantes ne sont alors pas disponibles pour le responsable du projet : variations importantes de la géologie locale ;

remontées importantes de la nappe phréatique ;

existence de vides de dissolutions (gypse), d'une formation karstique, d'anciennes exploitations de carrières plus ou moins remblayées ou de fontis plus ou moins comblés ;

existence de zones notoirement instables ou de surfaces de glissement de terrain possibles.

3.2 Erreurs, insuffisances ou absence d'essais de laboratoires ou in situ

La détermination des caractéristiques physiques et mécaniques du sol de fondation est indispensable pour le bureau d'études. Il est nécessaire qu'un géotechnicien détermine la consistance de l'étude de mécanique des sols qui peut être réalisée aussi bien sur le site qu'en laboratoire.

3.3 Erreur sur les hypothèses de calcul et la définition des ouvrages

Les erreurs sur les hypothèses de calcul et la définition des ouvrages sont assez rares. Les multiples contrôles au cours de l'élaboration du projet permettent, en général, d'éliminer ce risque.

3.4 Méconnaissance sur la présence et la nature des eaux

Dans certains cas, on ignore la présence et la nature des eaux ou bien, lorsqu'on connaît la présence d'eau, sont utilisés des matériaux incompatibles avec la nature chimique de ces eaux.

3.5 L'effet " de barrage "

Dans certains cas, n'est pas pris en compte l'effet de barrage que certains ouvrages (parois moulées) peuvent constituer vis-à-vis de la nappe ou de certaines circulations d'eau.

3.6 Malfaçons

Si elles sont relativement rares, les malfaçons peuvent, en revanche, être extrêmement variées, par exemple, des pieux trop courts ou n'atteignant pas le substratum rocheux.

4 Traitement des dégradations

4.1 Traitement des défauts propres au béton

La réparation des ouvrages d'irrigation est une opération délicate qui nécessite un diagnostic approfondi et de bien identifier la nature des détériorations à traiter. Les procédés de réparation diffèrent en fonction du degré des dégradations subies par le revêtement. On peut avoir recours

à des procédés de réparation superficiels, à des procédés de réparation profonds, et enfin à la reconstitution totale d'une partie du revêtement.

4.1.1 Procédés de réparation profonds

Ces procédés concernent les fissures transversales profondes et les fissures longitudinales. Il s'agit de faire pénétrer dans les fissures un produit susceptible de créer une liaison mécanique et une étanchéité entre les parties disjointes. On utilise couramment les coulis de ciment, constitués de ciment, d'eau de gâchage et d'adjuvant pour régler les conditions de prise et les performances finales (expansion, résistance, adhérence).

Le colmatage est préconisé pour le traitement des fissures actives, c'est-à-dire les fissures dont l'ouverture varie avec le temps, c'est le cas des fissures longitudinales qui se trouvent dans la partie amont du canal Est et la partie amont du canal Ouest. Il s'agit de les colmater avec des produits souples, en profondeur, pour rétablir une étanchéité des fissures à l'eau, et pour éviter des pénétrations de matières solides risquant de bloquer le mouvement de la fissure – un blocage pourrait provoquer l'apparition d'autres fissures dans les autres parties du revêtement.

D'après le procédé de traitement des fissures appliqué pour la réhabilitation du canal trapézoïdal en béton du Beht, la procédure de réparation est la suivante :

ouverture en " V " des fissures au marteau burineur pneumatique léger (3 à 4 kg), cette opération consiste à obtenir une saignée ;

sciage du fond de la saignée à l'aide d'une meule pneumatique ou électrique munie d'un disque à segments diamantés soudés au laser d'une épaisseur de 1cm environ. Cette opération a pour but d'éviter une fermeture en sifflet de la saignée sur la fissure qui risquerait de provoquer la déchirure du mastic de bourrage ;

brossage et soufflage de la rainure ainsi obtenue ;

coulage de mastic fluide à haute température.

Cette procédure constitue donc une solution à court terme pour les problèmes que connaissent les parties fissurées de ces canaux, la solution à long terme consiste à installer un réseau de drainage, afin qu'il puisse évacuer les excès d'eau responsables des sous-pressions génératrices des fissures longitudinales.

4.1.2 Les procédés de réparation superficiels

Imperméabilisation des parements L'imperméabilisation des parements est un traitement permettant d'empêcher le cheminement de l'eau dans un revêtement faïencé ou microfissuré ou à la limite atteint d'une efflorescence. Il est recommandé d'utiliser un revêtement à base de liant hydraulique constitué essentiellement d'un enduit traditionnel élaboré sur le chantier.

Revêtement d'étanchéité Le revêtement d'étanchéité permet d'empêcher la pénétration de l'eau dans les revêtements atteints d'une efflorescence. Ces revêtements sont constitués par des systèmes souples et adhérents, composés à base de produits organiques semi-fluides à l'application, un enduit à base de ciment.

4.1.3 Reconstitution d'une partie du revêtement

Au cours du diagnostic, des points où le revêtement est totalement dégradé ont été relevés. Ces parties doivent être refaites avec un béton de la même composition que le béton utilisé lors de la construction du canal.

Le béton doit être dosé à 350 kg/m³ de ciment CPJ, les dimensions maximales des granulats ne doivent pas dépasser 2,5 cm, dosé à 1 000 kg/m³ de béton, le sable est apporté pour 800 kg/m³.

4.1.4 Traitement des joints

Le traitement des joints comporte trois opérations essentielles : l'enlèvement des mauvaises herbes installées sur la matière des joints, la réparation des lèvres, et enfin le traitement de la matière du joint proprement dit.

4.1.5 Traitement de la corrosion

La préparation de la surface pour traiter les parties atteintes de corrosion comprend les étapes suivantes :

les parties décollées sonnantes creux sont éliminées à la massette et au burin et les armatures bien dégagées ;

il faut alors procéder à un sablage général des surfaces concernées par les travaux et en particulier les armatures visibles ;

la procédure de ragréage comprend deux étapes :

les aciers sablés sont passivés au pinceau à l'aide d'un inhibiteur de corrosion ;

la zone à recharger est alors humidifiée puis enduite sur 1 à 2 mm d'épaisseur d'une barbotine d'adhérence de protection extérieure.

5 Conclusion

En conclusion, on peut dire qu'une maintenance des canaux d'irrigation est une activité indispensable pour une gestion rationnelle de l'eau. Elle a pour objectif d'assurer la pérennité du bon fonctionnement du réseau, c'est-à-dire une continuité du service de l'eau. Tout arrêt a de graves conséquences sur la production, et ainsi sur l'économie.

La maintenance a été longtemps considérée comme une activité secondaire, mais il est avéré qu'elle constitue une étape irremplaçable dans toute politique de gestion des réseaux d'irrigation. De plus, les considérations économiques incitent à conserver les ouvrages existants, car les ressources financières publiques sont de plus en plus rares.

Cet article met en évidence l'importance d'inventorier le patrimoine marocain en ouvrages d'irrigation et de répertorier les défauts existants sous la forme d'une base de donnée qui constituera une référence des types d'ouvrages existants au Maroc et de leur état, et qui pourra être actualisée à tout moment.

Références

- [1] CEMAGREF, 1998, Méthodologie de classement des défauts apparents des ouvrages hydrauliques, Paris, France.
- [2] Bartali El H., 1999a. Maintenance des canaux trapézoïdaux d'irrigation : cas du périmètre de la Tessaout amont dans le Haouz.
- [3] Bartali El H., 1999b. Etude de la structure des canaux semi-circulaires portés.