

Maintenance et confortement des digues

Michel Lino

Cette session 3 du colloque d'Orléans était consacrée à la maintenance et au confortement des digues fluviales et des digues de canaux. Douze communications ont été présentées par 31 auteurs.

La problématique des risques associés aux digues fluviales s'est largement développée dans la dernière décennie. Pour de nombreux ouvrages, le processus de diagnostic, de projet et de travaux de confortement est parvenu à son terme. À Orléans, lieu de notre colloque, on se doit d'évoquer le vaste programme de réhabilitation des levées de la Loire Moyenne entrepris dans le cadre du Plan interrégional « Plan Loire Grandeur Nature » il y a dix ans en 1994. Leclerc *et al.* apportent un éclairage sur cet ambitieux programme dans leur communication sur le diagnostic et le confortement de la levée d'Authion. Nos visites de l'après-midi nous permettront d'apprécier la problématique des levées de Loire Moyenne et de voir certaines actions de confortement réalisées autour d'Orléans.

Les ruptures observées lors des épisodes catastrophiques des trois dernières années, en particulier dans le sud-est de la France ont souligné l'importance et l'urgence d'un programme de réhabilitation à l'échelle nationale.

Les communications présentées dans cette session donnent un bon panorama des problématiques et des réflexions sur cette question et passent en revue la plupart des méthodes de confortement disponibles.

Typologie

Neufs communications sur les douze présentées sont de type monographique et rapportent des expériences sur des systèmes de digues ayant fait l'objet de confortement dans les années récentes. À ce titre, elles font un état de la pratique française en matière de confortement de digues. Trois communications abordent des thèmes généraux.

Digue en eau et digue sèche

Quatre communications sont consacrées aux digues en eaux et quatre aux digues sèches. Les problématiques de ces deux types de digues apparaissent bien sûr très différentes, même si la fonction commune est de s'opposer au passage de l'eau, comme l'a rappelé Gérard Degoutte dans son rapport général de la session 2. Et c'est bien l'eau qui constitue le problème des digues, que se soit l'eau qui les traverse ou l'eau qui les submerge...

Les quatre communications provenant de la CNR et d'EDF traitent des problèmes de maintenance et de confortement des digues du Rhône et du Rhin. On note que les digues en eaux présentées appartiennent à des maîtres d'ouvrage fortement structurés (EDF, CNR auxquels on peut rajouter VNF pour les digues de canaux) et la démarche de maintenance préventive est prise en compte.

Les digues sèches ne sont pas forcément aussi bien loties même si on assiste désormais à une mobilisation des maîtres d'ouvrage pour faire face à leur obligations.

Les contacts

ISL,
75, bd Mac-Donald,
75019 Paris

Digues perméables et digues étanches

Les deux communications de la CNR détaillent la conception des digues perméables du Rhône et les problématiques d'érosion interne associés. Cognet *et al.* décrivent également les digues de l'Isère comme des digues perméables. La levée d'Authion, la digue d'Aramon et la digue du Petit Rhône renvoient plutôt à des digues semi-homogènes « étanches ».

On note que dans les deux cas, la problématique érosion interne est au premier plan.

Ces exemples illustrent aussi le fait que les digues fluviales sont construites pour l'essentiel avec les matériaux disponibles à proximité immédiate. Dans les vallées alluviales du Rhône, du Rhin ou de l'Isère, les digues sont construites en alluvions grossières. Sur la Loire Moyenne ou sur le Rhône dans son cours inférieur, les levées sont en limon plus ou moins sableux correspondant à la granulométrie des alluvions dans cette partie du fleuve.

On note qu'aucune pathologie de digue à étanchéité mince (masque amont ou écran interne) n'est rapportée, si on excepte les réparations des masques semi-étanches des digues du Rhône.

Thèmes généraux

Trois communications, particulièrement intéressantes, abordent des problématiques plus générales. Goutx *et al.* discutent à partir de deux exemples concrets les problèmes de conception des déversoirs et ouvrages de retour à la rivière. Cette communication est la seule qui soit consacrée aux aspects hydrauliques de la conception des endiguements de protection contre les inondations. Les déversoirs sont des ouvrages de sécurité qui doivent permettre l'inondation contrôlée du casier en cas de dépassement de la crue de projet. L'enjeu est d'éviter que le système de protection, dans certaines circonstances, n'induit un risque supplémentaire. Les auteurs proposent des critères et méthodes de dimensionnement de ces ouvrages. Ils rappellent que d'après l'arrêté du 13 février 2002, les déversoirs sont désormais obligatoires pour les nouveaux ouvrages.

Vennetier *et al.* rapportent les études réalisées par le Cemagref sur le diagnostic et la gestion de la végétation sur les digues. Le mode d'enracinement des arbres dans les digues est l'un des points clés vis-à-vis du risque d'érosion interne. Des méthodes opérationnelles de gestion sont

proposées dont les objectifs sont d'assurer la sécurité des ouvrages tout en optimisant les autres fonctions de protection, écologiques, sociales ou économiques de la végétation, et en réduisant les coûts d'intervention. Ces travaux seront présentés en s'appuyant sur quelques exemples récents d'étude dans des systèmes endigués de dimensions et de caractéristiques variées (Vidourle, Aude, Isère, Rhône).

Flaquet-Lacoux *et al.* font une large synthèse des études et réalisation en matière de réhabilitation de l'étanchéité des digues de canaux par utilisation de géomembrane. Cette technique s'est largement développée au point de devenir sans doute la méthode de référence. L'article présente le retour d'expérience, largement positif, sur les ouvrages VNF. Les travaux de réfection de l'étanchéité de la cuvette du port fluvial de Marseilles-Aubigny sont développés ; des méthodes de dimensionnement du complexe étanche et de sa protection sont proposées.

Diagnostic et pathologies

Plusieurs communications insistent sur la dimension géographique du diagnostic d'un système d'endiguement. Leclerc *et al.* décrivent une méthodologie originale de diagnostic développée sur les 48 km de la levée d'Authion. L'aléa rupture est estimé à partir d'une typologie des situations rencontrées, d'un inventaire des mécanismes pouvant engendrer la rupture et d'une estimation de l'aléa pour chacun des risques par tronçons homogènes. L'estimation du risque est obtenue par croisement de l'aléa et de la vulnérabilité.

Duschene *et al.* décrivent également de façon pédagogique le fonctionnement et les pathologies des digues perméables du Rhône. La réflexion sur les bonnes pratiques en matière de contrôle des écoulements prennent toute leur importance dans ces digues soumises à de fortes percolations du fait même de leur conception.

Les trois pathologies classiques des digues, érosion interne, stabilité et risque de surverse sont traitées dans les communications à travers les différentes monographies présentées. Deux communications abordent les pathologies liées au développement incontrôlé de la végétation.

L'érosion interne

Cette pathologie apparaît la plus délicate tant du point de vue du diagnostic que de celui du traite-

ment. La problématique est présente dans plus de la moitié des communications. Le risque d'érosion interne est parfois lié au fait que les digues, en particulier les digues sèches sont des ouvrages qui n'ont pas fait l'objet d'études approfondies, les matériaux locaux ayant été mis en œuvre, souvent suivant des géométries étriquées, avec un compactage limité et peu de contrôle.

Nous notons que le diagnostic du risque d'érosion interne est encore plus complexe pour les digues sèches que pour les digues en eau car le caractère transitoire de la sollicitation hydraulique doit alors être pris en compte.

On insistera sur l'importance de l'évaluation de la perméabilité dans le diagnostic d'une digue, tant en terme absolu qu'en terme d'hétérogénéité.

Le risque d'instabilité

Les causes premières du risque d'instabilité de la digue sont basiquement les mêmes que celles qui déterminent le risque d'érosion interne : mauvais contrôle des écoulements internes, géométries étriquées, matériaux médiocres, mise en œuvre peu contrôlée...

On peut mentionner une autre difficulté intrinsèque du diagnostic de stabilité des digues : c'est leur faible hauteur. En effet, la stabilité d'une digue de faible hauteur dépend de façon principale de la cohésion du remblai. Et chacun sait combien il est difficile d'estimer avec précision la cohésion d'un remblai, en particulier s'il est hétérogène.

Submersion

La surverse est également une cause majeure de rupture des digues. La rupture de la digue d'Aramon rapportée par Mallet *et al.* donne un exemple de rupture par surverse, de même la digue du Petit Rhone rapportée par Aubonnet. Le dramatique exemple de la digue d'Aramon illustre la dimension hydraulique des digues de protection contre les inondations : seule une bonne analyse, à une échelle géographique pertinente, permet de prendre en compte correctement le risque de rupture par surverse. À partir de deux exemples (les digues de protection de l'Agly et la reconstruction de la digue d'Aramon), Goutx *et al.* présentent une réflexion innovante sur la conception et le dimensionnement des déversoirs.

On peut également mentionner que la revanche sur les plus hautes eaux de projet doit faire l'objet

d'une réflexion spécifique prenant en compte la fragilité de la crête si elle est de faible largeur et incluant une marge pour incertitude sur l'altitude réelle de la digue.

Végétation

Enfin, la problématique des risques liés au développement incontrôlé de la végétation est parfaitement posé par Pinhas. Vennetier *et al.* rapportent les résultats importants obtenus par le Cemagref sur la problématique du diagnostic et de la gestion de la végétation sur les digues.

Méthodes de confortement

Les deux directions principales de confortement concernent la réfection de l'étanchéité et l'amélioration des conditions de stabilité, ces deux actions n'étant d'ailleurs pas indépendantes l'une de l'autre.

Le premier défaut que l'on cherche à corriger sur une digue est sa perméabilité excessive, qui peut induire soit un risque d'érosion interne soit un risque d'instabilité. L'étanchement est donc la première méthode de confortement des digues. Cette session 3 présente un panel de solutions disponibles.

Leclerc *et al.* présentent la solution retenue sur la levée d'Authion en zone urbaine : l'écran interne en palplanches vérinées. Cette technique est intéressante car elle peut être mise en œuvre à proximité immédiate des habitations.

Bonnet *et al.* expose la conception et la réalisation d'un écran mince vibré de grande extension (58 000 m²) et de grande profondeur (jusqu'à 24 m). Cette technique, qui a été relativement peu utilisée en France, présente un grand intérêt tant technique (rapidité de mise en œuvre et faible impact sur la digue) qu'économique.

Une solution de type remblai filtrant aval est proposée par Leclerc *et al.* pour les zones rurales de la levée d'Authion. Les solutions par remblai aval sont généralement nettement plus économiques que les solutions d'étanchement mais ne sont pas toujours applicables car elles demandent une augmentation de l'emprise de la digue.

Le retour d'expérience sur les digues drainantes du Rhône est très éclairant car il porte sur un linéaire important de digue et parce que la panoplie des méthodes de traitement disponibles a été mise en œuvre et évaluée. Suivant les cas,

la CNR a donné préférence à des solutions aval (drainage et filtration) ou à des solutions amont d'étanchement (paroi moulée, écran mince, injection, masque amont). La multiplicité des choix effectués par la CNR en fonction du diagnostic détaillé pour chaque tronçon montre bien qu'il n'y a pas de remède unique et que les solutions doivent faire l'objet d'une comparaison multicritère prenant en compte les aspects techniques, économiques et environnementaux.

Une excellente synthèse sur le retour d'expérience de l'utilisation de géomembrane pour l'étanchement des canaux est donnée par Girard *et al.* Des méthodes de dimensionnement du complexe d'étanchéité et de protection amont sont proposées. Cette technique peut désormais être considérée comme parfaitement maîtrisée.

Aubonnet présente les mesures proposées pour la sécurisation des bouchures d'urgence de brèches de la digue du Petit Rhone, réalisées suite à la crue de décembre 2003. Les travaux d'urgence sont décrits et force est de constater que la sécurisation des tronçons de bouchure n'est pas aisée compte tenu de la structure peu orthodoxe de la bouchure provisoire qui présente une étanchéité aval. On ne peut que recommander aux maîtres d'ouvrages d'anticiper sur les situations de crise, tant sur le plan de l'organisation de la gestion de crise que celui des projets de bouchure de brèche qui pourraient être définis à l'avance.

Maintenance

Il ressort clairement des communications présentées que la maintenance de ces ouvrages linéaires est (ou devrait être) la préoccupation permanente des maîtres d'ouvrages. Duchesne *et al.* dressent une excellente synthèse des diagnostics et programmes de maintenance des digues perméables du Rhône. Cet article est particulièrement intéressant car il montre que l'on peut faire une digue avec des alluvions perméables mais qu'il faut prendre des précautions et que la maintenance s'impose comme une condition déterminante de la sécurité.

La communication de Pinhas *et al.* est également riche d'enseignements : il traite de la problématique des digues étroites et boisées fortement sollicitées du point de vue hydraulique. L'auteur insiste sur les difficultés liées à la maîtrise partielle du foncier. Ce papier donne une illustration prati-

que aux réflexions théoriques sur le diagnostic et la gestion de la végétation sur les digues.

Riesterer décrit un batardeau mobile permettant l'entretien et la réparation des masques amont étanches des digues du Rhin.

Leçons à tirer

Un domaine nouveau et du plus grand intérêt

La première leçon que j'aimerais tirer est que les digues et tout particulièrement les digues fluviales constituent un domaine de grand intérêt scientifique et technique qui a été un peu négligé jusqu'à présent. La qualité et la richesse des communications proposées par les auteurs tiennent en partie au fait que pour l'essentiel il s'agit d'une matière neuve. D'aucuns ont pu être tentés de voir dans ces digues fluviales des ouvrages mineurs, pas même de « petits barrages », beaucoup de digues ne dépassant pas en effet 2 ou 3 m de hauteur. L'intérêt des digues fluviales pour l'ingénieur tient à la forte multidisciplinarité qui doit présider à leur analyse : hydrologie, hydraulique fluviale, géotechnique, hydrogéologie, environnement, botanique, socio-économie etc... Mentionnons enfin que le succès de l'approche par SIG, qui tend à se généraliser pour les études de digues, est lié à cette dimension proprement géographique des systèmes d'endiguement fluviaux.

Le risque d'érosion interne

Ce risque apparaît comme une problématique majeure aussi bien pour les digues sèches que pour les digues en eau. La quantification de ce risque reste difficile. La vieille règle de Lane, bien que développée dans un autre contexte (érosion du contact entre un ouvrage rigide et sa fondation), reste la référence la plus fréquente. L'approche par la limitation des gradients de sortie est également présente (Leclerc *et al.*) mais les critères de sécurité ne font pas l'objet d'un consensus. Le traitement de ce risque s'effectue par deux approches : soit on supprime la cause de l'érosion interne en étanchant la digue, soit on se prémunit contre les effets par la mise en place d'un filtre. Ces deux techniques sont employées pour le confortement de la levée d'Authion. Ils sont également mis en œuvre de façon concurrente pour le traitement des pathologies des digues drainantes du Rhône.

Le développement des techniques végétales

Un autre enseignement des communications présentées dans cette session est le développement des techniques végétales pour la protection des berges et tout particulièrement des techniques dites mixtes. La technique mixte développée sur les berges du canal d'aménée de Caderousse est très intéressante ; elle allie la fiabilité d'une protection lourde et le traitement végétal du talus en vue de créer un milieu riche au plan écologique. Les procédés de gabions enherbés présentés par Derache *et al.* s'inscrivent dans la même logique. Des méthodes de dimensionnement de ces protections en fonction des contraintes hydrauliques sont proposées.

L'article de Vennetier *et al.* sur la gestion de la végétation me paraît mériter une mention spéciale au moment de conclure ce rapport sur la session 3. Il apporte des réponses claires et opérationnelles à un sujet difficile sur lequel les ingénieurs ont souvent des réponses hésitantes ou difficiles à justifier auprès des maîtres d'ouvrage.

Conclusion

Je conclurai sur une idée qui n'est pas présente de façon explicite dans les communications de cette session mais qui pourrait connaître des développements dans un futur proche. Une tendance claire se dessine en faveur de l'application des **méthodes d'analyse de risque** au domaine des ouvrages hydrauliques. Ces méthodes me paraissent particulièrement adaptées à l'analyse des systèmes d'endiguement fluviaux ou des digues de canaux. En effet, on est en présence d'ouvrages de grande longueur, souvent anciens et mal connus y compris dans leur géométrie et soumis aux aléas de l'environnement, et bien sûr en particulier aux crues. Ces ouvrages ont souvent été édifiés au cours des siècles par phases successives. L'expérience des crues récentes a montré que leur probabilité annuelle de rupture n'est pas infinitésimale. Dans ces conditions, l'analyse de risque est sans doute un bon outil pour l'établissement des priorités de confortement et pour la mise au point des projets. □

