

Conception hydraulique des déversoirs des endiguements de protection contre les inondations

Hydraulic design of weirs for flood protection dike systems

David Goutx

CETE Normandie-Centre
Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois – Département Sciences de l'environnement
11 rue Laplace – CS 2912
41029 Blois Cedex
Tel. 02 54 55 49 44
Fax 02 54 55 48 71
E.mail : david.goutx@equipement.gouv.fr

Patrice Mériaux

Cemagref
Unité de Recherche Ouvrages Hydrauliques et Hydrologie
B.P. 31 – Le Tholonet
13612 Aix en Provence Cedex 1
Tel. 04 42 66 99 51
Fax 04 42 66 88 65
E.mail : patrice.meriaux@cemagref.fr

Rémy Tourment

Cemagref
Unité de Recherche Ouvrages Hydrauliques et Hydrologie
B.P. 31 – Le Tholonet
13612 Aix en Provence Cedex 1
Tel. 04 42 66 99 10
Fax 04 42 66 88 65
E.mail : remy.tourment@cemagref.fr

Résumé

Cet article présente, après la description de deux exemples (dont une étude de déversoirs pour un système d'endiguement existant sur le fleuve côtier l'Agly), les principes de conception et de dimensionnement de déversoirs sur des digues de protection contre les crues.

Abstract

This article presents, after the description of two examples (including a study of weirs for an existing dike system on the Agly coastal river), the principles of design and dimensioning of weirs on flood protection dike systems.

Mots-clés : Déversoirs, digues, crues, crues de projet, niveau de protection

Keywords : Weirs, dikes, flood, project flood, safety levels

Introduction

Les ouvrages hydrauliques (barrages, digues, ...) sont dimensionnés en prenant en compte une ou plusieurs crues données (fréquence, débit, volume). Pour des crues plus importantes, le comportement hydraulique de l'ouvrage est modifié ; il peut se produire des dommages sur l'ouvrage, allant jusqu'à sa rupture totale ou partielle, en aval de celui-ci (pour les barrages) ou derrière celui-ci (pour les digues). Entre autres, les digues n'assurent leur fonction de protection contre les inondations que jusqu'à une certaine occurrence de crue. Au-delà, l'eau risque d'endommager la digue, particulièrement en cas de surverse sur des sections non aménagées à cet effet. La rupture par surverse crée des conditions nettement plus défavorables dans la zone protégée que l'absence de digue : vitesse de l'eau très importante, tant en déplacement horizontal qu'en montée verticale.

Il est donc nécessaire, afin d'éviter des pertes en vies humaines, de prévoir sur les digues (comme il en existe systématiquement sur les barrages) des DEVERSOIRS (ou parties déversantes), de manière à provoquer une inondation LENTE des zones jusqu'alors protégées.

La présente communication a pour objectif de cerner le problème de la conception d'ensemble de tels déversoirs de sécurité pour les digues de protection contre les inondations, en tentant de dégager l'ensemble des éléments et contraintes, techniques ou d'autres types, à prendre en compte par les projeteurs de tels aménagements.

L'implantation de déversoirs (ou déchargeoirs) sur les digues de protection contre les inondations est la solution technique à privilégier pour éviter la rupture lors d'une surverse, en cas d'événements dépassant en intensité la crue de référence. Simple dans son principe, le concept de déversoir se heurte, cependant, à des difficultés techniques qu'il ne faut pas négliger lors de la conception de tels ouvrages, en particulier sur des digues existantes et non équipées de déversoirs, et ce, d'autant plus que l'on ne dispose que d'un relativement faible retour d'expérience pour l'application aux digues. Il est à noter qu'en France, d'après l'article 5 de l'arrêté NOR:ATEE0210027A du 13 février 2002, les déversoirs sont obligatoires pour les nouveaux ouvrages.

Après avoir présenté brièvement un exemple très récent de réalisation (digue d'Aramon), la communication expose le cas d'une étude de conception de déversoirs sur un fleuve côtier méditerranéen endigué (l'Agly). Partant de ces exemples, les auteurs commentent, ensuite, les diverses options de conception, leurs avantages, leurs impacts et leurs limites.

1 - Etudes de cas

1.1 Reconstruction de la digue d'Aramon

La digue d'Aramon (département du Gard), qui fut détruite par surverse en septembre 2002, a été reconstruite en 2003, en lui intégrant une section déversante. Cette digue protégeait le village d'Aramon des crues du Gard, ainsi

que des inondations par remous du Rhône. Sa rupture brutale a provoqué 5 victimes.

Les principes ayant prévalu à la conception de la nouvelle digue furent les suivants : (i) conserver pour le village le même niveau de protection que la digue d'origine, (ii) favoriser en cas de crue exceptionnelle une inondation lente du village, sans rupture de digue, et (iii) ne pas aggraver par rapport à la situation antérieure les lignes d'eau en crue dans la partie non protégée de la plaine.

Après l'étude d'une série de solutions et les modélisations hydrauliques associées, le dimensionnement suivant a été proposé :

- niveau de protection 14,40 NGF (ancienne cote de la crête de digue) ;
- digue déversante à cette cote de 14,40 NGF, sur 900 mètres de longueur, implantée dans la zone la plus éloignée des habitations ;
- digue non résistante à la submersion, calée à la cote de 15,50 NGF sur 900 mètres de longueur, à proximité des habitations.

La longueur de la partie déversante a été choisie de manière à permettre en cas de crue exceptionnelle (atteignant la cote de 15,50 NGF) un pré-remplissage du casier d'Aramon, pour que le risque de rupture en cas de surverse sur le tronçon non submersible soit le plus faible possible. On a alors une cote de l'eau en aval du déversoir de 13,50 NGF, ce qui correspond à une inondation de 0,50 m dans le centre du village et de 2,50 m en moyenne dans les parties basses.

Cet aménagement permet une protection du village d'Aramon contre des crues (du Rhône ou du Gardon) pour des occurrences supérieures à 100 ans.

Un modèle bidimensionnel a permis d'estimer pour plusieurs scénarii de crues la cinématique de remplissage du casier protégé, et ainsi à la commune d'Aramon d'affiner son plan de vigilance et d'évacuation.

On se reportera à la communication [Mallet et al, 2004], de laquelle ce présent paragraphe est largement inspiré, pour plus de détails sur cette reconstruction.

Le reste de ce chapitre présente de manière plus détaillée les études menées sur les digues de l'Agly.

1.2 Projet de sécurisation des digues de l'Agly par l'implantation de déversoir(s)

1.2.1 Présentation du problème

L'Agly est un fleuve côtier méditerranéen dont les crues ont toujours été redoutées des habitants de la plaine littorale de la Salanque (département des Pyrénées Orientales). Les inondations catastrophiques ou répétitives d'octobre 1940 et de l'automne 1965 ont été à l'origine d'un important aménagement de recalibrage et d'endiguement du lit du fleuve sur les 13 derniers kilomètres de son cours, réalisé de 1969 à 1974. D'une part, la largeur en fond du lit a été portée de 30 m à 65 m, avec adoucissement à 1/2 des pentes des berges et protections en enrochements. D'autre part, un endiguement continu, à base de remblai limoneux compacté, a été érigé au sommet de chaque berge reprofilée, dominant la plaine inondable d'une hauteur variable de 2 à 3 m.

L'objectif de ces travaux était de protéger la Salanque contre la crue vingtennale¹ de l'Agly (débit de pointe de 1 250 m³/s), avec une revanche de 0,5 m. Aucun déversoir de sécurité n'a été aménagé à l'époque bien que, semble-t-il, il en avait été question lors des études de projet. Le coût final de l'aménagement s'est élevé à environ **22 M€ HT** en montant actualisé 2001.

En trente années de bons et loyaux services, et comme pour donner raison aux statistiques à propos de la période de retour de dimensionnement de l'aménagement, les digues de l'Agly ont connu :

- un débit de plein bord lors de la crue du 26 septembre 1992 (1 300 m³/s) ;
- un débit de forte(s) surverse(s), soit environ 2000 m³/s, au cours de l'épisode pluvieux catastrophique des 12 et 13 novembre 1999 – de triste mémoire dans la région Languedoc-Roussillon.

Lors de ce dernier événement, le flot a débordé irrésistiblement, pendant au moins une heure, au-dessus des digues en de nombreux points et sur les deux rives, entraînant divers désordres dont le plus spectaculaire fut une brèche d'environ 50 m de longueur qui s'est ouverte au droit de la station d'épuration de Saint-Laurent-de-la-Salanque, non sans l'endommager fortement.

En l'absence de tout déversoir de sécurité, de telles surverses vont inmanquablement se reproduire avec une fréquence probable de plusieurs fois par siècle (cf 4.1) et celles-ci provoqueront à nouveau des dégradations plus ou moins graves sur les digues : brèches inopinées pouvant menacer les vies humaines du fait de l'existence de bâtiments à proximité du pied de digue et/ou fortes érosions du talus côté zone protégée, qu'il faudra réparer dans les meilleurs délais après les crues débordantes.

Dans ce contexte, le travail rapidement présenté ci-après [BRLi, Cemagref, 2002] - et commandité en 2000 par la DDE des Pyrénées orientales en liaison avec le Syndicat Intercommunal de l'Agly Maritime, propriétaire des ouvrages - visait à définir, au stade « étude préliminaire », les solutions de déversoirs de nature à assurer la sécurité des digues vis-à-vis de crues dépassant la capacité actuelle de l'aménagement (soit 20 à 30 ans) – jusqu'à l'occurrence centennale².

1.2.2 Méthode de travail

L'étude d'implantation de déversoirs en amont des tronçons exposés à la surverse s'est déroulée en trois temps :

- tests d'implantation des déversoirs, en faisant varier leurs caractéristiques et en analysant leur effet sur le rabattement de la ligne d'eau en crue dans le chenal endigué, à l'aide de la modélisation hydraulique ; celle-ci s'est appuyée sur deux modèles : un modèle filaire pour le lit mineur afin d'analyser notamment les débordements par delà les digues et un modèle bi-dimensionnel (RUBAR 20) afin de décrire l'événement de 1999 (avec rupture

¹ "crue de projet de protection" : cf 2.1

² "crue de projet de sécurité hydrologique : cf 2.1

- de la digue) et d'évaluer les impacts hydrauliques des déversoirs projetés sur les zones inondables.
- réflexion sur les types de déversoir possibles selon la configuration du terrain et de la digue ;
- étude des aménagements hydrauliques (canaux ou casiers de décharge) nécessaires à l'évacuation des eaux s'échappant hors du système d'endiguement de par l'action du(des) déversoir(s).

1.2.3 Etude d'implantation des déversoirs et de leurs caractéristiques géométriques

Au total, 10 scénarios d'implantation et configurations géométriques de déversoirs ont été modélisés : 4 en rive gauche et 6 en rive droite.

L'hydrogramme de crue retenu pour la modélisation a été celui de l'événement des 12 et 13/11/1999, de période de retour d'ordre centennal, étant entendu qu'un levé précis des laisses de crue dans la plaine inondée et des caractéristiques de la brèche de Saint-Laurent-de-la-Salanque avait permis, au préalable, de caler le modèle.

Le résultat de ces simulations a mis en avant la configuration suivante : déversoir en rive droite de 550 mètres de longueur, implanté vers le point kilomètre (PK) 5,5. L'efficacité optimale du déversoir est obtenue avec un seuil calé à 1,5 mètres sous la crête de digue et de radier plongeant vers l'aval (grosso modo parallèle au terrain naturel). Vis-à-vis de la crue de référence, un tel déversoir rabat la ligne d'eau de plusieurs décimètres et empêche toute surverse jusqu'au PK 8,5, au niveau de la route littorale RD 81. Le volume total dérivé est de 7 000 000 m³, avec un débit de pointe de 260 m³/s. A titre de comparaison, la brèche de Saint Laurent lors de la crue de novembre 1999 aurait laissé passer un débit maximum de 170 m³/s pour un volume de 1 700 000 m³.

1.2.4 Réflexion sur les types de déversoir possibles

La cote de calage du déversoir issue de la phase d'étude précédente implique que la digue (dont la hauteur est de seulement 1,5 à 2 m dans la zone concernée) serait, à son niveau, presque totalement arasée : ce qui retirerait, par définition, toute l'efficacité de la digue vis à vis des crues courantes. Il s'est, donc, avéré indispensable de retenir le principe de déversoir avec dispositif de rehausse fusible.

Une solution de rehausse fusible a été esquissée, en reprenant le principe des déversoirs Comoy de la Loire, avec toutefois l'idée de substituer le perré amont de la partie fusible à base de remblai sableux par un dispositif d'étanchéité par géomembrane. Cette solution n'est pas présentée ici et le lecteur pourra se reporter à la communication [Royet, Mériaux, 2004] du présent recueil d'actes de colloque pour des éléments techniques sur le sujet.

Nous retiendrons simplement ici les coûts d'ouvrage auxquels l'étude d'esquisse a abouti : 2 200 € HT / ml, soit un montant total de l'ordre de **1,2 M€ HT** pour le

déversoir de 550 ml. Ce à quoi, il faut rajouter le coût de reconstitution du fusible dès lors qu'il a fonctionné³, soit 150 000 € HT.

1.2.5 Etude d'un canal de décharge pour le contrôle des eaux déversées

La plaine de La Salanque étant urbanisée à la fois par de l'habitat dense (plusieurs villages et stations balnéaires) et diffus (nombreux mas dispersés) sur ses deux rives, il s'avérerait indispensable d'associer à l'implantation du déversoir projeté la réalisation d'aménagements nécessaires à l'évacuation à la mer des eaux dérivées, en limitant au maximum les surfaces inondées : à défaut de quoi le projet de déversoir serait sociologiquement inacceptable vis-à-vis des riverains concernés.

Il a, donc, été étudié la faisabilité d'un canal de décharge. Le tracé le plus approprié est celui qui rejoint, puis longe, le lit d'une rivière canalisée existante, le Bourdigoul. La longueur totale d'un tel canal serait de 6,5 km pour une pente moyenne de 1,4/1000 et une largeur minimale de 500 m.

Le parti d'aménagement d'un canal en déblai a été écarté pour d'évidentes contraintes d'emprise : nécessaire remodelage des exploitations agricoles situées sur le tracé, indisponibilité des terres pendant la phase chantier, coûteux travaux de rétablissement des réseaux interceptés, notamment routiers, etc. C'est, donc, une solution d'endiguement au large du canal de décharge qui a été esquissée. Pour des digues de 2 m de hauteur (valeur de hauteur issue de la modélisation de fonctionnement du déversoir), on aboutit à un coût total de **5,6 M€ HT**, dont 15% pour les seuls franchissements routiers.

Cette solution – la moins traumatisante – présente toutefois les inconvénients inhérents aux digues : difficulté de raccordement des cours d'eau naturels et autres ouvrages hydrauliques à fonctionnement gravitaire, nécessité d'une surveillance et d'un entretien soignés, risques liés à la rupture en charge en cas de présence d'habitation à proximité du pied aval, ...

1.2.6 Discussion

Le coût total de l'aménagement « déversoir et canal de décharge » est, en définitive, évalué à **6,8 M€ HT**.

Il apparaît que les trois-quarts de ce coût sont induits par les seuls travaux de création du canal de décharge. Ceci met bien en avant les difficultés technico-économiques introduites par l'aménagement d'un déversoir dès lors que le val qu'il va inonder contient des enjeux importants. On rappelle, en outre, que la conception du dispositif fusible - indispensable pour le cas de l'Agly – est plutôt délicate : se reporter à la communication déjà mentionnée [Royet, Mériaux, 2004].

³ Se reporter au 4.1 : graphique illustrant la probabilité de dépassement d'une protection.

Par ailleurs, le montant total de cet aménagement de sécurisation des digues – bien que n'étant efficace que pour les crues inférieures à la centennale - représente de l'ordre du tiers du coût initial d'endiguement de l'Agly (22 M€) : ce qui est considérable. Devant l'impossibilité pour le maître d'ouvrage de mobiliser un tel financement à court terme, il a été nécessaire d'étudier des solutions de sécurisation immédiate des digues, visant à les aménager de façon à en ralentir ou à en "éviter" la rupture par surverse aux endroits où :

- des enjeux existent aujourd'hui à proximité immédiate du pied aval de digue ;
- des surverses continueront à se produire pour la crue centennale, même en présence du déversoir projeté.

Ainsi, sur un linéaire de quelques kilomètres, il a été proposé d'aménager le talus aval à cette fin en adoucissant la pente à 1/2,5 par reprofilage et en le protégeant par une carapace en enrochements secs de 0,70 m d'épaisseur, appuyée sur un sabot de pied et un court radier. Le coût unitaire d'un tel aménagement a été estimé 0,5 M€ HT/km et le maître d'ouvrage le fait mettre en œuvre progressivement d'une année sur l'autre, en fonction de ses capacités d'autofinancement.

2 – Crues de projet et objectifs des déversoirs

Lorsqu'un nouveau dispositif d'endiguement est conçu, la problématique de l'implantation des déversoirs de sécurité se pose *a priori*, mais sous une forme différente : la question majeure pour le maître d'ouvrage est la protection des zones à enjeux. L'ensemble du dispositif, dont notamment les déversoirs, s'adaptera donc à la satisfaction de cet objectif prioritaire. La cote des déversoirs et la cote de la digue définissent de manière explicite le niveau de protection du casier protégé.

La suite de cet article s'attache donc à exposer les critères de prédimensionnement des déversoirs qui permettent de prévoir les emprises nécessaires et d'évaluer la faisabilité des déversoirs dans l'endiguement projeté.

2.1 Les crues associées à un projet de système d'endiguement

Un projet de système d'endiguement doit avoir, parmi ses données de base, deux ensembles de crues associant des objectifs de protection différents.

Le premier ensemble de crues de projet comprend celles pour lesquelles le casier sera protégé contre toute inondation : on les nommera "crues de projet de protection". Le second ensemble comprend les crues pour lesquelles le casier est inondé par déversement au-dessus d'un déversoir, mais qu'il ne se produit pas de surverse sur le reste de la digue : on les nommera "crue de projet de sécurité hydrologique".⁴

Ces crues doivent être définies par trois paramètres : fréquence, débit et volume (ou durée) ; en pratique, on a besoin de leur hydrogramme, pour modéliser la

⁴ Terminologie empruntée au bulletin 125 de la CIGB, et relative dans cet ouvrage aux barrages écrêteurs de crue

réponse du système. En effet, une crue étant un phénomène transitoire, deux crues ayant le même débit de pointe mais des vitesses de montée différentes auront des impacts différents sur un système d'endiguements, particulièrement si celui-ci s'étale sur une longueur importante du cours d'eau, ou s'il existe une dénivelée importante sur la crête de la digue entre l'amont et l'aval. Le nombre satisfaisant d'hydrogrammes pour l'étude d'un projet dépend de la variabilité des types de crue rencontrés sur le cours d'eau considéré.

2.2 Objectifs des déversoirs

La conception de déversoirs dans un système d'endiguement peut répondre à plusieurs objectifs. Il est important d'analyser la part de chacun des objectifs dans un projet donné, car ceux-ci conditionneront nécessairement l'adéquation du projet aux attentes. Le (ou les) objectif(s) d'un déversoir est (sont) en relation directe avec le (ou les) objectif(s) du système d'endiguement associé.

2.2.a) A l'échelle de la zone protégée

Lorsque l'on considère un casier protégé contre les crues par un système d'endiguement, l'objectif primaire de celui-ci est bien évidemment la protection de ce casier (auparavant zone inondable) contre les crues, et, en pratique contre une (ou plusieurs) crue(s) de référence, appelée(s) crue(s) de projet de protection (voir 2.1). Mais, sur un même cours d'eau, différentes zones inondables peuvent avoir des besoins et objectifs de protection différents, en terme de probabilité d'occurrence d'une inondation à l'abri de la digue. On pourra, par exemple, admettre l'inondation de zones agricoles avec une fréquence relativement élevée, pour permettre une protection plus importante de lieux plus densément peuplés.

L'objectif le plus évident, et le plus souvent le principal pour un déversoir, toujours lorsqu'on se réfère à une zone protégée donnée, est de protéger la digue sur laquelle il est implanté contre les dommages pouvant résulter d'une surverse en section courante de l'ouvrage. Il s'agit alors de concentrer les écoulements de submersion dans des sections conçues à cet effet, plutôt que de laisser des brèches s'ouvrir au gré des faiblesses masquées de la digue (ex : points bas en crête) et de sollicitations hydrodynamiques locales imprévisibles.

À cet objectif de protection de la digue s'associent des objectifs complémentaires des déversoirs⁵, d'autant plus importants qu'ils seront fréquemment sollicités :

- assurer, lorsque l'endiguement est soumis à une crue dépassant la crue de projet de protection, une submersion progressive et contrôlée de la zone protégée, de manière à ne pas compromettre son évacuation totale et à limiter les vitesses dans le casier protégé (tant horizontales que verticales) ;
- limiter, durant la submersion progressive, les dommages occasionnés aux enjeux protégés, ainsi qu'à la digue elle-même, par les écoulements rapides de submersion.

⁵ Cf étude de cas de la digue d'Aramon exposée au 1.1

2.2.b) A l'échelle du cours d'eau

À une autre échelle, celle du cours d'eau, les déversoirs peuvent avoir une autre fonction, qui est celle d'abaisser la ligne d'eau en crue en certaines parties du cours d'eau⁶, en inondant volontairement certains casiers avant d'autres. Il n'y a, bien entendu, pas opposition entre ces différents objectifs, mais il faut bien entendu définir clairement l'objectif prioritaire de l'endiguement, et son objectif de protection en terme hydrologique avant de dimensionner les déversoirs associés.

Il est clair qu'une politique de gestion des crues doit être négociée et modélisée à l'échelle d'un cours d'eau (d'un bassin versant), et donc que les paramètres hydrologiques permettant de dimensionner les déversoirs doivent être choisis de manière concertée et homogène à cette échelle. En revanche, pour un casier donné et un objectif de protection donné, les déversoirs se dimensionnent de manière indépendante par rapport au reste du bassin. La modélisation à l'échelle du casier doit utiliser comme conditions aux limites les résultats de la modélisation à l'échelle du bassin, et une résolution bien entendu plus fine.

2.2.c) Impact des déversoirs sur les crues

En terme de réduction des crues, un déversoir aura plusieurs effets :

- sur l'aval du cours d'eau, en soustrayant une partie du débit de la crue et du volume. Il s'agit probablement là de l'effet le plus incontestable et le plus efficace. Ce fut entre autres démontré sur le cas de l'Agly (cf 1.2) ;
- sur l'amont du cours d'eau (et sur une certaine distance), si l'écoulement de la crue est de type fluvial, le déversoir aura un impact en terme d'abaissement de la ligne d'eau en crue.

Il est intéressant de quantifier ces deux impacts lors d'un projet, ne serait ce que pour vérifier la bonne adéquation du déversoir à son ou ses objectifs prioritaires.

3 - Types de déversoirs

3.1 Déversoir à surface libre ou ouvrage de prise en charge

Les écoulements à surface libre déversés par-dessus un seuil présentent l'avantage de fonctionner directement sans manœuvre d'aucun vannage et d'offrir une bonne croissance de la capacité d'évacuation en fonction de l'accroissement du niveau d'eau contre la digue, la loi d'évacuation de débit étant fonction de la puissance $3/2$ de la charge hydraulique comptée au-dessus de la cote de déversement (lorsque le seuil est dénoyé). Leurs inconvénients sont une faible capacité d'évacuation totale liée au fait que la cote de déversement est nécessairement au-dessus du niveau de protection visé, à moins de recourir à un dispositif « fusible », ainsi qu'une relative vulnérabilité à l'intrusion de pollutions de surface et à l'obstruction par des encombres flottantes (pouvant réduire considérablement la capacité d'évacuation et ainsi compromettre le rôle de l'ouvrage).

⁶ Cf étude de cas des digues de l'Agly exposée au 1.2

Les écoulements en charge traversant un ouvrage de prise d'eau dans le cours d'eau via un orifice hydraulique sont nécessairement asservis à l'ouverture d'un vannage assurant en situation normale l'opacité hydraulique de l'endiguement. L'ouverture de cette vanne pose des problèmes identiques à ceux des dispositifs escamotables en général (cf. ci-après). La loi d'évacuation de débit n'est certes une fonction que de la racine de la charge hydraulique (et non la puissance $3/2$ comme pour le déversement), mais cette charge hydraulique est comptée à partir de la profondeur d'immersion de l'orifice, si bien que dès l'ouverture de la vanne qui l'obstrue en temps normal, l'orifice évacue un débit très significatif. De plus, à condition de respecter une condition d'ennoisement des vortex, la prise d'eau ne risque pas d'obstruction par les encombres flottantes, et n'introduit pas de pollution de surface dans la zone protégée en cours de submersion.

3.2 Dispositifs escamotables

Qu'il s'agisse de dégager une hauteur initiale de surverse au déclenchement du déversoir à surface libre ou de libérer la capacité d'évacuation d'un orifice d'ouvrage de prise d'eau en charge, le concepteur de l'endiguement est conduit à envisager un dispositif escamotable.

Ils posent cependant le problème de la responsabilité de l'opérateur chargé de déclencher la submersion de la zone protégée et/ou du service d'annonce de crue qui lui fournit l'information d'une poursuite de la montée de crue menaçant l'endiguement de submersion généralisée, en cas de déclenchement du déversement sans que la crue réelle atteigne les niveaux de dépassement de l'ensemble de la protection. A contrario, le même opérateur et le même annonceur de crue sont soumis à un fort risque juridique en cas d'incident sur l'endiguement alors qu'ils n'ont, par leurs informations ou actions, pas déclenché à temps le dispositif escamotable.

Ces problèmes de responsabilité peuvent être esquivés en recourant à un automate qui déclenche froidement le déversement dès que sa cote de consigne est atteinte. Mais quel hydrologue ou hydraulicien ignore que la réalité des crues prendra toujours le contre-pied des prévisions faites pour le calcul des consignes de l'automate et qu'une décision humaine est seule capable d'intégrer les informations d'une telle surprise pour déclencher malgré l'automate l'action appropriée ?

Le dispositif escamotable envisagé peut être fusible (c'est-à-dire qu'il est sacrifié au moment du déclenchement) ou mobile (c'est-à-dire qu'il est mis en mouvement au moment du déclenchement et remis en place après la crise).

Un fusible peut être un merlon en matériau érodable arasé à une cote inférieure de quelques dizaines de centimètres seulement sous le niveau de déversement généralisé, de manière à ce que la lame d'eau déversante l'éventre rapidement et libère la surface d'évacuation maximale. Il peut également s'agir d'un mur instable à la poussée qui se renverse, avec l'inconvénient évident que le basculement du mur, plus soudain que l'ouverture de la brèche dans un merlon en matériau érodable, peut surprendre les riverains.

Un dispositif mobile peut être un boudin gonflé à l'eau ou à l'air qui se dégonfle au moment voulu. L'inconvénient des dispositifs gonflables est leur instabilité au

déversement lorsqu'ils sont, comme c'est souvent le cas, assez élancés : la charge hydraulique conduit alors le dispositif à s'effondrer par le centre en restant plus rigide aux extrémités, si bien que la surface libérée est plus proche du triangle que du rectangle. On peut également prévoir un clapet mobile actionné par des vérins pour un déversoir ou un vannage mobile mécanisé pour une prise d'eau. La principale difficulté technique liée à ces solutions est l'assurance d'un bon fonctionnement au moment voulu (c'est-à-dire, très rarement, en fonction du niveau de protection à assurer), et donc, un entretien très rigoureux des mécanismes. Certains dispositifs partiellement escamotables peuvent avoir la préférence des concepteurs, tels que vanne basculant sous la pression de l'eau pour libérer une plus grande capacité d'évacuation (dispositif Hydroplus, par exemple).



Ci-dessus : déversoir du Bec de Cher à rehausse fusible en extrémité de crête côté Cher, avec armure de pavés sur la crête déversante et digues de canalisation des eaux déversées vers l'aval (à gauche : photographie aérienne IGN, à droite : photographie D. GOUTX)

Ces dispositifs escamotables sont choisis pour permettre de retarder le plus possible le moment du déversement, puis de permettre alors un débit plus important, mais ils sont plus ou moins fiables dans leur fonctionnement [Royet et al., 2004].

3.3. Nombre et emplacement des déversoirs

Les déversoirs ne doivent pas remplacer la menace qu'ils doivent atténuer par une autre menace. La submersion qu'ils occasionneront devra donc générer le moins de risque possible.

A cette fin, une implantation du déversoir dans la partie aval du tracé de la digue (généralement au point le plus bas de la zone protégée) sera préférable⁷, de manière à avoir des vitesses dans le casier inondé les plus basses possible. Trop à l'amont, le déversoir risque de générer un écoulement de noyage du val bénéficiant de la pente de lit majeur réactivé, et donc, avec des caractéristiques de vitesses qui, alliées à la soudaineté, sont plus dangereuses que si le déversoir, plutôt en aval, noie le val protégé par remous.

⁷ Sauf dans le cas évoqué au 2.2.b et illustré par l'Agly (cf 1.2) où un abaissement de la ligne d'eau en crue en aval du déversoir est recherché.

En revanche, si le noyage du val par remous tarde à noyer la partie amont du val (particulièrement en cas de crues réelles de montée plus rapide que les crues modélisées), le risque de submersion de la zone amont par surverse sur la partie amont de la digue reste critique. Ce cas a été rencontré en 2002 et 2003 sur différentes zones endiguées du Rhône aval (Gard et Vaucluse).

Ainsi, le positionnement des déversoirs le long de l'endiguement peut être décisif si l'ouvrage longitudinal protège une zone s'étirant sur une distance amont / aval de l'écoulement telle qu'une dénivelée non-négligeable existe dans la zone protégée. Cette dénivelée serait alors à même de fournir une force motrice aux eaux de remplissage de sécurité, générant des vitesses d'écoulement à l'intérieur de la zone protégée qui ne sont pas souhaitables, au moins dans la première phase du remplissage.

Une solution pourrait alors être de faire un premier déversoir de décharge en aval, le premier à être activé, et une deuxième en partie médiane, qui prend le relais, pour la partie amont. Cette solution semble intéressante, mais une attention particulière devra être portée dans ce cas aux hydrogrammes de crue choisis et aux modélisations hydrauliques ultérieures (destinées à caler les cotes respectives des déversoirs) : en cas de décalage entre les hydrogrammes de la crue modélisée et de la crue réelle (temps de montée par exemple) le relais calculé risque de se faire plus tôt que prévu.

Il peut être préférable de prévoir un déversoir de largeur de seuil bien calculée, avec plusieurs sections à des cotes différentes (réduisant le risque de décalage entre une crue réelle et une crue modélisée), si un seul déversoir de longueur adaptée n'est pas envisageable.

Enfin, une autre idée de dimensionnement de l'ensemble "digue plus déversoir" peut consister en l'implantation d'un déversoir vers l'aval, et plutôt que d'implanter un autre déversoir plus en amont, de prévoir une revanche qui diminue entre l'amont et le déversoir, ce qui fait que la probabilité de surverse soit plus forte dans les zones déjà noyées (aval).

Cette problématique sera d'autant plus importante à être bien traitée que le cours d'eau sera soumis à différents régimes de dynamique de crue.

Finalement, au-delà de considérations purement calculatoires, l'aspect sociologique de l'acceptation de l'implantation de déversoirs restera probablement le facteur prépondérant pour le choix de leur positionnement, et cela particulièrement sur les digues existantes.

4 - Grandeurs caractéristiques de la conception

La phase de dimensionnement hydraulique des endiguements doit comprendre, pour les nouveaux projets d'endiguements, la réservation des emprises

nécessaires à l'implantation des déversoirs de décharge. Pour cela, il convient de déterminer quelques grandeurs caractéristiques à ce stade.

4.1 Niveau de protection statique

La grandeur caractéristique la plus importante de l'endiguement est certainement le niveau de protection, exprimé soit en période de retour de débit de crue, soit en niveau d'eau résultant en plusieurs endroits donnés. Ce niveau de protection doit garantir le confinement des eaux de la crue de projet du côté rivière de la digue. Nous désignons ce niveau, à un endroit donné, Z_0 .

Rappelons à ce sujet que le niveau de protection exprimé en période de retour peut occasionner certaines confusions dont il faut se garder. Il devrait surtout servir aux calculs de l'intérêt économique comparant le coût de l'aménagement avec le montant des dommages et leur probabilité d'occurrence. Car, en matière de communication (avec le public comme avec les maîtres d'ouvrage eux-mêmes), cette confusion peut être durablement dommageable à la bonne compréhension des aménagements de sécurité (de type déversoir, notamment).

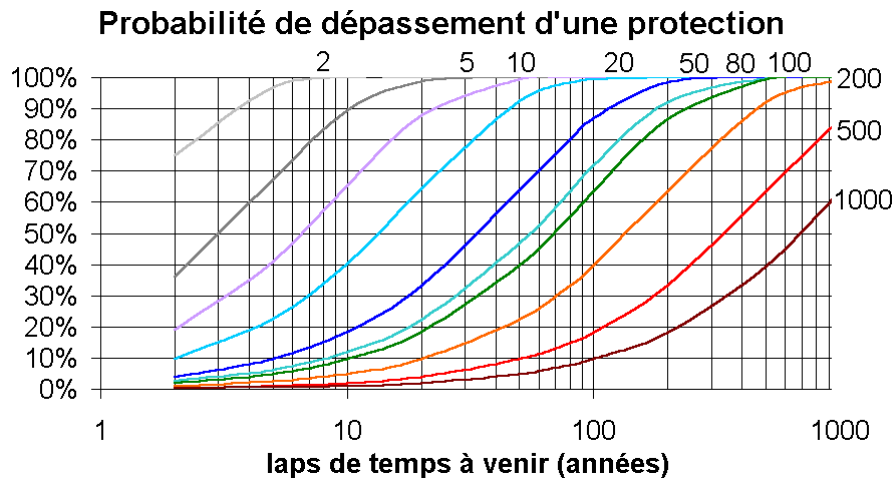
Ainsi, si T_0 désigne la période de retour de la crue occasionnant le niveau d'eau Z_0 contre lequel l'endiguement est projeté, la probabilité de non-dépassement sur une année donnée est :

$$P(Q < Q_{T_0}) = 1 - \frac{1}{T_0}.$$

Si chaque année est considérée comme indépendante, au sens des probabilités, de l'année précédente, la probabilité de non-dépassement sur N années est (toutes choses étant supposées égales par ailleurs, et notamment, aucune modification du lit ou des processus hydrologiques) :

$$P(\max\{Q_i\}_{1 \leq i \leq N} < Q_{T_0}) = \left(1 - \frac{1}{T_0}\right)^N.$$

On traduit ceci par le graphique suivant : en abscisse (échelle logarithmique), le nombre d'années considéré N , en ordonnée, la probabilité de dépassement du débit de projet (égale à : $1 - P(\max\{Q_i\}_{1 \leq i \leq N} < Q_{T_0})$) et dans le faisceau de courbes, une courbe par période de retour T_0 de protection (2 à 1000 ans).



Ainsi, une digue conçue pour contenir les eaux d'une crue centennale a
 10% de chances d'être vaincue dans les 10 prochaines années,
 18% dans les 20 prochaines années,
 40% dans les 50 prochaines années,
 65% dans les 100 prochaines années,
 87% dans les 200 prochaines années, etc.

4.2. Niveau de protection dynamique

Ce niveau de protection statique ne suffit cependant pas à lui seul à garantir que nulle eau ne la franchira du fait des effets dynamiques liés à l'agitation du plan d'eau (batillage de vent ou ondes de remous). Une revanche ΔZ doit être prévue au-dessus du niveau de projet ou de protection Z_0 afin de contenir ces ondulations et leur réflexion sur l'endiguement. En effet, les retours d'expérience de rupture de digues (programme de recherche européen IMPACT notamment) ou de barrages en terre montrent la grande vulnérabilité de la crête de ces ouvrages à une lame d'eau de surverse qui désagrège la crête et ouvre une brèche qui, s'ouvrant rapidement, ruine l'ouvrage.

Si a désigne l'amplitude de référence de cette agitation (déterminée par ailleurs à l'aide de formules empiriques telles que celle de calcul de la houle du *Shore Protection Manual* ou à partir de valeurs types comme dans le *Rock Manual*) et C_r le coefficient de réflexion de l'endiguement (résultant de l'oblicité et de la macroporosité du parement de la digue entre Z_0 et $Z_0 + \Delta Z$), la revanche est déterminée par : $\Delta Z \geq (1 + C_r).a$.

Au-delà des aspects dynamiques ci-dessus, il existe également des surhauteurs (par rapport à un niveau statique moyen du cours d'eau à un débit donné) dues à des phénomènes ponctuels (fortes discontinuités géométriques, tant dans la direction verticale que dans la direction amont-aval ou dans le sens transversal, noyées en crue). Les ondes stationnaires produites par les courants hélicoïdaux résultants peuvent parfois donner des phénomènes particulièrement violents.

Il importe évidemment que la revanche ne constitue pas en soi une rehausse déguisée de l'endiguement au-delà du niveau de protection de projet. La probabilité de dépassement par une crue est en effet particulièrement sensible à ce type de rehausse, et ce, de façon non-linéaire.

En règle générale, la revanche varie entre 20 et 50 centimètres.

4.3. Emprise des dispositifs de dissipation

L'irruption du débit déversé sur le seuil dans la zone protégée doit être contrôlée pour que l'énergie soit dissipée sans mettre en danger les enjeux environnants, ni non plus menacer la digue elle-même en érodant son pied de talus coté val.

La zone située en arrière du déversoir va, en effet, subir un écoulement violent. Les retours d'expérience effectués dans le cadre du programme de recherche européen IMPACT montrent que même si la crête ne subit pas de brèche, les écoulements de surverse viennent saper le pied de l'endiguement et le sol sur lequel il repose et font s'écrouler l'arrière de la digue, déstabilisant tant le talus que l'ouvrage finit par céder.

Même si des dispositifs de dissipation sont mis en place pour limiter les risques d'érosion du pied de déversoir et des endiguements proches, les écoulements constitueront un aléa fort à très fort pour les personnes et les biens, jusqu'à leur tranquillisation. On ne peut alors que déconseiller les implantations humaines dans cette zone, qui a néanmoins l'avantage d'être connue.

Pour le dimensionnement de ces ouvrages de dissipation, les méthodes habituellement utilisées pour les déversoirs de barrages devraient pouvoir sans peine être utilisées, bien que, dans le cas des digues, il puisse exister des pentes le long du seuil (tant sur la ligne d'eau que sur le terrain aval voire sur le seuil lui-même), ce qui était par exemple le cas sur l'Agly (cf 1.2). On peut citer par exemple parmi ces méthodes, les abaques extraits de « design of small dams » de l'US Department of the Interior (1976).

5 - Dimensionnement de la largeur déversante

Le problème du dimensionnement des déversoirs le plus simple est évidemment celui avec un seul hydrogramme de crue de projet, et l'on peut généralement dans ce cas assez facilement trouver les caractéristiques (cote, largeur) d'un seuil permettant de protéger la digue, et le plus longtemps possible le val endigué.

Nous examinons ici les façons d'aborder simplement le calcul de pré-dimensionnement de la largeur déversante des seuils de décharge, sans encore recourir aux outils de calculs élaborés.

5.1. Cas d'un seuil de largeur fixée

Les seuils doivent permettre, en cas de crue prolongée, de remplir la zone protégée derrière l'endiguement de sorte que les eaux de déversement généralisé sur l'ouvrage soient amorties dans l'épaisseur d'eau d'inondation initiale.

Le volume déversé dans le casier protégé par un seuil-déversoir épais de largeur L pendant le temps mis par les eaux de crue pour passer de la cote Z_0 de début de déversement à la cote $Z_0 + \Delta Z$ de haut de revanche est donné par l'expression :

$$\int_{t(Z_0)}^{t(Z_0 + \Delta Z)} Q(t).dt = \int_{Z_0}^{Z_0 + \Delta Z} Q(Z) \frac{dt}{dZ} dZ = \frac{1}{\frac{dZ}{dt}} \int_{Z_0}^{Z_0 + \Delta Z} 0,385.L.\sqrt{2g}.(Z - Z_0)^{3/2}.dZ$$

$$= \frac{0,385.L.\sqrt{2g}}{\frac{dZ}{dt}} \int_{Z_0}^{Z_0 + \Delta Z} (Z - Z_0)^{3/2}.dZ = \frac{0,385.L.\sqrt{2g}}{\frac{dZ}{dt}} \left[\frac{2}{5} (Z - Z_0)^{5/2} \right]_{Z_0}^{Z_0 + \Delta Z} = \frac{0,682.L}{\frac{dZ}{dt}} .(\Delta Z)^{5/2}$$

5.2. Volume à remplir

Le volume d'eau qu'il faut remplir est à la croisée des deux objectifs principaux du déversoir :

- la submersion lente de la zone protégée permettant l'évacuation des personnes menacées ;
- la dissipation de la lame déversante dans le matelas d'eau pour limiter le risque de destruction de l'endiguement.

5.2.a) évacuation des personnes menacées : volume maximum de remplissage contrôlé

La submersion lente de la zone protégée permettant l'évacuation des personnes menacées peut se traduire en première approche par une hauteur d'eau dans la zone protégée inférieure à 50 cm (aléa faible) au moment où la submersion devient incontrôlable.

Les seuils doivent être positionnés de sorte que les eaux introduites dans la zone protégée ne doivent pas acquérir, du fait de la topographie de la zone, des vitesses sensibles et donc dangereuses (supérieures à 0,25 m/s). Ceci dépend étroitement du positionnement des seuils dans l'aménagement.

En supposant que cette condition est bien respectée, on peut faire l'hypothèse d'eaux sans vitesse dans le casier entouré de la digue, et assimiler le volume d'eau stocké dans la zone au volume sous horizontale de cote Z uniforme : $Volume = Volume(Z)$.

Si le casier protégé est à peu près plat, le volume maximum du remplissage avant submersion incontrôlée de la zone protégée peut s'écrire : $Volume = 0,5.Surface$.

5.2.b) protection de l'endiguement contre les submersions incontrôlées : volume de remplissage minimal

L'épaisseur du matelas d'eau minimal à instaurer dans le casier dépend du débit linéique submergeant l'endiguement, et donc,

- de la vitesse de montée des eaux $\frac{dZ}{dt}$ dans le cours d'eau ;
- du volume restant à remplir dans la zone protégée entre la cote du matelas d'eau et l'égalisation des cotes de part et d'autre de l'ouvrage ;
- de l'énergie de l'écoulement, donc à la fois de la charge sur la partie déversante (qui va fixer le débit) et de la dénivelée entre la crête et le niveau de l'eau aval (qui va fixer la vitesse d'arrivée de l'eau).

En réalité, le matelas d'eau au pied de l'endiguement va augmenter au fur et à mesure que le débit de submersion généralisée ajouté au débit introduit au niveau du déversoir remplit la zone protégée. Sa capacité d'absorption de l'énergie du débit linéique de submersion va donc augmenter en même temps que l'augmentation du débit linéique lui-même, si bien qu'en fonction des expressions de l'une et l'autre quantité, une sorte de course de vitesse entre sollicitation érosive et amortissement s'engage. Les deux cas extrêmes permettant d'approcher le raisonnement induit sont, d'une part, celui d'un casier avec une surface très grande et un cours d'eau faible ou moyen et, d'autre part, un casier de surface limitée (tel Aramon) protégé des crues d'un grand fleuve. Dans le deuxième cas le calcul permettra de dimensionner de manière satisfaisante les déversoirs par rapport à cet aspect des choses, alors que dans le premier cas il est probable que l'appel à une approche "experte" sera nécessaire.

Lorsque la maîtrise foncière le permet, il peut être très intéressant de creuser un contre-canal au pied de l'endiguement du côté de la zone protégée, clos aux extrémités, de sorte que les eaux introduites par les déversoirs s'y stockent prioritairement afin de constituer en un délai assez bref un matelas d'eau et de constituer un volume-tampon entre le déversoir et les enjeux protégés de faible capacité par rapport aux volumes de crue, mais certainement d'une grande portée psychologique. Ce contre-canal permettrait également de contenir les eaux que l'agitation de surface de la crue de projet aurait fait passer sur le déversoir sans que le déversement de sécurité soit réellement déclenché. Il jouerait alors un rôle équivalent à celui de la revanche en section courante de l'endiguement, sans entraver la capacité de déversement du seuil dès le dépassement de la cote de déclenchement statique. Il peut enfin servir, à condition d'être vers l'aval raccordé au val inondable par un pertuis vanné, au ressuyage post-crue du val protégé. Il faut toutefois que ce canal en pied de digue ne porte pas atteinte à la sécurité de l'ouvrage, tant au point de vue de son dimensionnement (maintien de bonnes conditions de gradient hydraulique) que de sa surveillance et de son entretien (absence d'eau hors périodes de déversement, permettant de détecter d'éventuelles faiblesses).

L'incidence directe de la vitesse de montée des eaux $\frac{dZ}{dt}$ dans la rivière sur la largeur déversante des déchargeoirs est mise en évidence dans la formulation :

$$L = \frac{dZ}{dt} \cdot \frac{\text{Volume}}{0,682.(\Delta Z)^{5/2}}$$

Le concepteur de l'endiguement et des déversoirs devra choisir la vitesse de montée des eaux de crue pour un niveau atteignant celui du début de déversement, en considérant le cas le plus défavorable en fonction des données hydrologiques disponibles.

5.3. Dimensionnement final des déversoirs

Lorsque la phase longue et complexe de choix de conception de l'endiguement a abouti, en comportant les déversoirs de décharge, la deuxième phase doit avoir lieu : le dimensionnement final des déversoirs.

Les outils pour ce faire sont ceux de la modélisation hydraulique sectorisée : modélisation filaire à casiers ou modélisation bidimensionnelle. A l'aide des données topographiques et bathymétriques de la zone protégée, les écoulements générés par l'intrusion de débit dans les déversoirs de décharge et leurs conséquences sur l'endiguement et sur les personnes à évacuer.

Un écueil doit cependant être évité : il convient de ne modéliser les seuils déversants que sous la forme de la loi hydraulique qui les caractérise, c'est-à-dire, une série de correspondances (triplets) de niveau contre la digue, niveau derrière la digue et débit évacué par le seuil, et non sous leur forme géométrique.

La modélisation hydraulique devra être effectuée en régime non-permanent, eu égard à la nature essentiellement transitoire du phénomène modélisé, qui monte en puissance au fur et à mesure de la montée en charge du déversoir sous le niveau croissant de la crue. Les outils de calcul capables de simuler correctement le phénomène de submersion – contrôlée – de la zone protégée par un endiguement ne sont pas nombreux, car ils doivent résoudre plusieurs problèmes spécifiques à ce type d'événement : propagation d'un front de submersion sur un fond initialement sec, déplacement rapide de l'onde d'établissement d'un régime d'inondation plus lent dans un espace rendu anisotrope par l'occupation du sol, alternance de situations hydrauliques contrôlées par l'amont (partout où l'impulsion hydraulique est donnée par l'arrivée d'eau dans le déversoir) ou par l'aval (dans les lieux où l'onde de submersion contrôlée bute sur un obstacle).

6 - Compléments aux déversoirs

6.1 Ouvrages de ressuyage

Il ne faut pas oublier, dans l'étude de l'implantation des déversoirs, le problème de la restitution des eaux depuis le val vers le cours d'eau à la décrue, tout aussi important que celui du remplissage.

Cette problématique comprend celle de l'exutoire des ruisseaux piégés dans la zone protégée. En temps normal, sans crue sur le cours principal, il faut que l'endiguement laisse sortir de la zone protégée les eaux d'un ru affluent dont les eaux auraient été gonflées par un orage violent et localisé sur son bassin versant, par exemple. Ce n'est qu'en temps de crues concomitantes sur le cours principal et sur le ru affluent que l'endiguement fait obstacle à la sortie des eaux de ce dernier. Mais, à la décrue du cours principal, ces rus affluents, bien qu'ayant accumulé des eaux pendant toute la phase de hautes eaux de l'autre côté de l'endiguement, font souvent de bons chenaux de drainage de la zone protégée pour le ressuyage, car ils sont souvent placés « aux bons endroits ».

Il reste cependant toujours des zones en dépression qui ne sont pas drainées par le réseau hydrographique local piégé dans la zone endiguée. Le projeteur devra alors concevoir un drainage spécifique (fossés de collecte et exutoire dans un point bas du terrain naturel en aval le long de la digue, par exemple, ou pompage).

6.2 Réversoirs, ou déversoirs en retour

Ce type d'ouvrage se rencontre fréquemment sur les vals endigués le long de la Loire Moyenne. Il s'agit de déversoirs fonctionnant "à l'envers", c'est-à-dire destinés à laisser passer l'eau depuis le casier vers le cours d'eau ; un ou plusieurs déversoirs, situés en amont, alimentent eux le casier depuis le cours d'eau. La fonction de ces réversoirs est de permettre le transit vers l'aval de l'eau admise dans le casier par les déversoirs, une fois que le casier est plein, et donc d'éviter la surverse "à l'envers" sur la digue accompagnée éventuellement d'une rupture ou de dommages à la digue. Finalement, un casier muni d'un déversoir à l'amont et d'un réversoir à l'aval, une fois plein, joue un rôle de transit des eaux du fleuve, en parallèle du lit endigué, et participe, à la différence de casiers munis simplement d'un déversoir, à l'amortissement de la crue, par l'abaissement de la ligne d'eau de manière locale. On peut donc dire que le rôle d'un réversoir est double : protection de la digue et abaissement de la ligne d'eau en crue.

Un réversoir simple (non muni de dispositifs escamotables) ne pourra pas jouer, ou de manière incomplète, le rôle d'ouvrage de ressuyage. Il y a souvent en effet incompatibilité entre la fonction de ressuyage, qui nécessiterait une cote suffisamment basse pour évacuer l'eau après une crue, et la fonction de protection du casier qui nécessite une cote suffisamment élevée.

En revanche un déversoir implanté en aval du casier d'inondation pourra jouer le rôle d'ouvrage de ressuyage primaire après la crue, s'il est conçu pour permettre l'écoulement dans les deux directions (protection, dissipation).

6.3 Mesures organisationnelles

Même s'ils sont indispensables, un ou plusieurs déversoirs sur une digue ne sont pas suffisants pour assurer la sécurité des personnes et des biens situés dans la zone protégée.

Aussi, en complément de l'aménagement de déversoirs, il est nécessaire d'organiser :

- la surveillance des ouvrages en crue (ce qui sous entend également une chaîne de prévision et d'annonce de crues efficace), ou en période d'alerte météo (faute d'existence de la chaîne précitée),
- les moyens d'intervention (réparations et confortements d'urgence),
- les moyens d'information à la population (jusqu'à la possibilité d'évacuation).

L'ensemble de cette organisation doit être réfléchi, concertée et formalisée avant la crise, puis améliorée après tout retour d'expérience.

Conclusion

La problématique de la conception et de l'implantation de déversoirs sur les digues de protection contre les inondations est complexe. L'hydrologie fait évidemment partie des données de base à acquérir pour poser correctement le problème. Des modélisations hydrauliques peuvent alors être entreprises avec différentes hypothèses permettant de caler les caractéristiques géométriques (cote et largeur) des seuils déversants. Ces modélisations peuvent être assez complexes si on s'intéresse à la progression des eaux dans la zone protégée.

L'exemple de l'Agly traité ci-dessus illustre bien toute la difficulté de réalisation **a posteriori** d'un déversoir de sécurité pour un système d'endiguement. Il est, hélas, représentatif des situations que l'on rencontre majoritairement en France où très peu de digues ont été dotées, à leur création, de déversoirs. Dans ce contexte, la recherche en génie civil doit aussi s'intéresser à l'étude de solutions « alternatives » telles que les dispositifs de protection ou les traitements de surface des talus aval de digue qui permettraient, à moindre coût, d'améliorer significativement leur résistance à la surverse, sous une faible lame d'eau étalée sur une grande longueur.

Références

BRLi, Cemagref, 2002. Étude hydraulique de l'Agly de Rivesaltes à la mer – Tome 1 : hydrologie, hydraulique et scénarios d'aménagement. *Rapport d'étude pour la DDE 66*.

Goutx D., 2003, Conception des endiguements longitudinaux : *Sollicitations hydrodynamiques*, Ponts Formation Édition Cycle aménagements fluviaux

CIGB/ICOLD, 2003, Dams and floods – guidelines et cases histories – bulletin 125.

Royet P., Mériaux P., 2004. *Les déversoirs fusibles le sont-ils vraiment ?* Colloque technique CFGB 2004.

Mallet T., Royet P., Cault J.-B., *Reconstruction de la digue d'Aramon après la crue de septembre 2002*, Colloque technique CFGB 2004.