

GUIDE SUR LA PROTECTION DES OUVRAGES D'ART CONTRE LES ÉCOULEMENTS DES EAUX

Abdelfattah MOBARRAA (Chef du Service Etudes/DOA/DR)

INTRODUCTION

De tout temps et de plus en plus fréquemment ; de fortes pluies de courte durée ou des épisodes pluvieux pouvant durer plusieurs jours entraînent des désordres considérables pour les populations et les infrastructures.

Les plus médiatisées sont les inondations provoquées par les oueds dont les vitesses de montée en crue varient de quelques dizaines de minutes à plusieurs heures.

Les ouvrages d'art sont particulièrement concernés par ces phénomènes et peuvent subir de graves désordres, notamment en raison d'affouillements importants pouvant conduire à la ruine des ouvrages. La simple présence d'un ouvrage et de ses remblais d'accès dans le lit d'un Oued est susceptible d'aggraver les conséquences de ces phénomènes. En effet, l'obstacle au libre écoulement des eaux qu'ils constituent peut amplifier la montée des eaux qu'ils constituent peut amplifier la montée des eaux et l'inondation de zones en amont.

Dans ce cadre, la Direction des Routes a décidé d'élaborer un guide de protection des ouvrages d'art contre les écoulements des eaux. Ce guide aura pour vocation d'assister les projeteurs et les maîtres d'ouvrages dans la conception des ouvrages de franchissement de cours d'eau et de leurs ouvrages annexes tels que les remblais d'accès. Son but est d'aider à la compréhension des cours d'eau et de leurs hydrosystèmes, de présenter l'ensemble des volets sur lesquels l'interférence entre l'ouvrage et le milieu naturel est à prendre en considération, avec réciprocité possibles des impacts.

Ce guide présentera les démarches à conduire, de l'organisation de la visite de reconnaissance jusqu'à l'exploitation de l'ouvrage en passant par les différentes études à réaliser en amont. Il aide notamment à prendre en considération, dès le démarrage des études, l'intégration harmonieuse de l'ouvrage dans la nature, à piloter les études d'impact et à conduire le projet.

Ce guide traitera, entre autres, les parties principales suivantes :

- L'organisation des visites de reconnaissance ;
- L'hydrologie et l'estimation des débits ;
- L'hydraulique et les ponts ;
- La topographie ;
- La morphodynamique et les ponts ;
- Affouillements et Dimensionnement des protections en enrochments ;
- Annexes : exemples de dégâts enregistrés sur des ouvrages routiers et diagnostic des situations.

En fin, il est à signaler que ce guide a pour objectif de mettre à la disposition des services de gestion du réseau routier un outil, leur permettant de bien préciser la demande, en élaborant des CPS les plus complets possibles. Aussi, il permettra aux BET de concevoir et de réaliser des études de qualité pour des ouvrages s'adaptant à la réalité du terrain.

1. ORGANISATION DES VISITES DE RECONNAISSANCE

Il est à signaler l'importance de la reconnaissance des lieux par une équipe multidisciplinaire avant d'entamer toute étude proprement dite d'ouvrage d'art.

L'Administration se doit d'organiser la première sortie sur les lieux, afin de permettre au Bureau d'Etudes désigné de s'imprégner de la réalité du terrain et de pouvoir entamer sa reconnaissance technique et son enquête sur le comportement des ouvrages, les niveaux atteints par les crues et les contraintes naturelles existantes.

Etant donné que l'Administration et le Bureau d'Etudes regorgent de compétences, leurs cadres et leurs spécialistes doivent se concerter pour arriver à définir les grandes lignes des solutions de franchissement et mettre le point sur les différents aspects techniques à développer par le Bureau d'Etudes.

Avant d'entamer une étude d'ouvrage d'art, il y a lieu donc d'organiser une sortie sur terrain accompagné des compétences suivantes :

- Un cadre du service Infrastructures ;
- Un Cadre du CERET ;
- Le Chef du projet présenté par le Bureau d'Etudes lors de la soumission ;
- L'ingénieur ouvrages d'art du BET présenté lors de la soumission.

Un procès verbal (PV) de la sortie, riche en informations et en orientations, doit être dressé et joint au dossier, pour devenir une pièce à part entière, sans laquelle l'étude sera considérée non recevable.

La visite de terrain à programme a une importance particulière au stade de démarrage de l'étude d'un ouvrage de rétablissement hydraulique. Les points à rechercher ou à observer sont récapitulés comme suit :

- Le Contrôle des limites du bassin versant, la prise de connaissance de la végétation et les cultures du bassin versant ;
- La prise de connaissance de la topographie du lit mineur, du lit majeur, de la forme et de l'état des berges, des méandres existants, de la nature des sols apparents, du profil en travers moyen des lits mineur et majeurs ;
- La délimitation des futurs levés topographiques et bathymétriques ;
- La recherche des laissés de crues ;
- L'examen de l'impact d'une éventuelle surélévation de la route sur les riverains ;

La visite comprendra aussi :

- L'examen et le relevé des laissés de crues au niveau des ouvrages voisins franchissant le même écoulement ;

- L'enquête auprès des riverains au sujet des limites d'inondations ou de niveaux atteints par des crues récentes ou exceptionnelles plus anciennes.

Lors de la visite, des croquis des accidents topographiques accompagnés de photos doivent être réalisés.

2. L'HYDROLOGIE ET L'ESTIMATION DES DEBITS

L'hydrologie est la science qui traite de l'occurrence, de la distribution et de la circulation de l'eau tout au long de son cycle, ainsi que de ses propriétés chimiques et physiques et de ses interrelations avec le milieu et les êtres vivants.

Elle repose essentiellement sur les sciences statistiques et sur des modèles conceptuels de transferts hydriques.

Le fascicule 4 du CPC études stipule dans son article 5.2 ce qui suit :

« Les investigations hydrauliques et hydrologiques comportent la collecte de toutes les informations disponibles susceptibles d'intérêt pour le choix d'un type d'ouvrage et la détermination de ses dimensions essentielles, leur analyse et la rédaction des conclusions du Bureau d'Etudes ».

Aussi, Ce même fascicule stipule dans son article 8.2 ce qui suit :

« Le Bureau d'Etudes procédera d'autre part, s'il y a lieu, aux investigations hydrauliques et hydrologiques complémentaires nécessaires à la prévision définitive de la hauteur des crues du cours d'eau franchi par l'ouvrage, tant en vue de l'évaluation des risques d'affouillement que la détermination du tirant d'eau et du débouché superficiel nécessaires. Il s'appuiera à cet effet, sur les observations effectuées pendant une période aussi longue que possible. A défaut d'observations ou si leur fiabilité est douteuse pour une raison quelconque, il soumettra à l'accord de l'Administration l'approche théorique la plus indiquée pour établir des prévisions. »

Il ressort de la lecture de ces deux articles l'importance donnée à la collecte des données hydrologiques et beaucoup plus à la représentativité de ces données.

Il est donc nécessaire de rappeler ce volet afin d'inviter les maîtres d'ouvrages et les Bureaux d'études à respecter les points suivants :

- L'utilisation des données statistiques pour l'estimation des débits de crues est **obligatoire**. Les sources de ces données sont les Agences de bassins et la Direction de la Météorologie Nationale.
- Lorsque les données de débits ou de pluies sont absentes ou insuffisantes, le Bureau d'Etudes doit établir une approche pour l'estimation des débits de crues, soumettre à un accord préalable de l'Administration ;
- L'acquisition des données statistiques et plus particulièrement, leur traitement donne lieu à des frais qu'il faut prévoir en introduisant un prix indemnisant l'achat de ces données.

- La justification par le Bureau d'Etudes de la validité des données utilisées est **obligatoire**

2.1. Consistance de l'étude hydrologique

Il est à signaler que le dossier hydrologique doit comporter toutes les données naturelles recueillies et concernant le site de l'ouvrage et qui sont tirées :

- Des cartes topographiques ;
- Des cartes géologiques ;
- Des mesures de pluies ou de débits :
 - o Données climatologiques (relevés pluviométriques) ;
 - o Relevés des stations de jaugeage proches ou dans la même région ;
 - o Relevés de niveau pour un certain nombre de crues ;
- De l'enquête terrain effectuée par le Bureau d'Etudes ;
- Des études faites sur les bassins versants de la zone.

L'analyse de ces données doit permettre, en menant les études statistiques nécessaires, d'estimer les débits attendus par les différentes crues.

2.2. Définition et choix de la période de retour

La notion de période de retour est indissociable de l'analyse de risque hydrologique et pourtant, elle réserve quelques mauvaises surprises à qui la manipule sans précaution. La période de retour est l'inverse de la fréquence de non-dépassement d'une valeur de débit, volume total ou encore hauteur d'eau considérée comme référence.

Ainsi, une crue de période de retour T a, chaque année, « une chance sur T » de se produire. L'occurrence d'une telle crue à l'année N ne change en rien la probabilité (qui reste donc de 1/T) de retrouver cette même intensité de crue à l'année N+1.

Ainsi, il est faux de dire que la crue de période de retour T arrive une fois tous les T ans, sauf à le considérer en moyenne, ce qui induit le profane en erreur.

Cependant, bien sûr, la probabilité de rencontrer plus d'une fois la crue de période de retour T durant T années est inférieure à la probabilité de ne le rencontrer qu'une fois :

$P(Q < Q_T) = 1 - 1/T$	et	$P(\max (Q_i)_{1 \leq i \leq N} < Q_T) = (1 - 1/T)^N$
------------------------	----	---

Pour le choix de la période de retour à adopter, il revient au maître d'ouvrage de la fixer dans le CPS ou demander au Bureau d'Etudes de présenter les variantes dimensionnées pour des crues ayant des périodes de retour différentes. Dans ce cas, les coûts des différentes variantes seront estimés et sur la base de la comparaison technico-économique le maître d'ouvrage peut fixer clairement la période de retour à retenir.

3. HYDRAULIQUE ET PONTS

Le franchissement des cours d'eau par les voies de transports terrestres a longtemps constitué un enjeu économique et stratégique de premier ordre autant qu'un défi technique majeur, aujourd'hui banalisé par le recours généralisé aux techniques de constructions de béton et aux constructions métalliques. Cette facilitation relative de la construction des ponts a pu conduire à une relative sous-estimation des incidences des ponts sur les cours d'eau et aux moyens de les réduire.

3.1 Incidence des ponts sur les cours d'eau

Par l'emprise de ses piles et ses culées dans le lit mineur, l'ouvrage réduit la surface disponible pour l'écoulement. Ce débouché hydraulique du pont réduit par rapport à la capacité hydraulique du cours d'eau induit un gêne à l'écoulement en amont et une accélération des vitesses au droit de l'ouvrage.

Ces effets peuvent devenir très sensibles en période de crue si les remblais d'accès au pont barrent le chemin aux écoulements débordants du lit majeur. Ceux-ci sont alors contraints de passer dans la débouché hydraulique du pont qui concentre des écoulements qui, en son absence, seraient passés ailleurs. Ce report de débit entre le lit mineur et le lit majeur accentue les effets évoqués pour le débouché hydraulique réduit du pont.

La gêne aux écoulements en amont du pont se traduit généralement par un exhaussement de la ligne d'eau et une aggravation des risques d'inondations. Bien qu'elle puisse parfois apparaître très modeste aux yeux du concepteur de pont, cette aggravation, qui peut être évitée, peut être fortement préjudiciable et n'est pas tolérée. Il appartient donc au concepteur d'assurer à son projet une totale innocuité au risque d'inondation.

L'accélération des vitesses dans l'ouvrage et l'agitation des eaux dans la zone de tranquillisation en aval immédiat de l'ouvrage accroissent localement la capacité érosive des écoulements du cours d'eau et déséquilibrent ponctuellement le transport solide.

Cela peut se traduire par des risques d'affouillement au pied de l'ouvrage et décapage des sédiments sur une certaine longueur qui constitue une discontinuité morphologique éventuellement problématique pour une partie de la faune aquatique.

3.2 Incidence des aménagements des cours d'eau sur les ponts

De même que la présence d'un pont peut avoir sur le cours d'eau qu'il enjambe de graves conséquences, le cours d'eau peut créer des dommages à l'ouvrage.

A titre d'exemple, un mauvais aménagement peut créer un état de déséquilibre du cours d'eau qui, pour un débit donné, n'atteint plus un régime uniforme, ce qui entraîne une instabilité des berges et du lit et peut provoquer des affouillements de fondations.

Mais ce n'est pas tout, en cas de crues, les éléments solides charriés par le cours d'eau peuvent engendrer des chocs sur les appuis, voire le tablier.

Et il est même arrivé dans certains cas que l'ouvrage soit emporté suite à une crue.

Des actions humaines sur un cours d'eau peuvent aussi avoir des conséquences sur les ponts en service telles que :

- Le curage du lit du cours d'eau ou l'extraction de matériaux ;
- Le creusement de chenaux ;
- La suppression des méandres ;
- L'aménagement des berges, les endiguements ;
- La création de terre-pleins et de remblaiement dans le lit majeur ou mineur ;
- La construction ou l'utilisation illicite de barrages ;
- Les prélèvements d'eau dans les cours d'eau avec diminution de son débit ;
- L'absence d'entretien des rives.

3.3 Démarche pour la conduite d'une étude hydraulique

Dans le volet hydraulique, l'importance et la complexité des études sont naturellement liées à celles de l'interaction entre le cours d'eau et le pont.

Par la perte de charge que sa présence introduit dans un écoulement fluvial normal, un pont peut provoquer un changement de régime. Par la modification éventuellement conséquente des caractéristiques géométriques locales et l'augmentation directe de la hauteur critique dans les sections d'écoulement où il empiète, un pont peut provoquer un régime torrentiel local dans un régime fluvial normal.

La principale incidence d'un pont sur les écoulements d'un cours d'eau n'est pas liée aux formes des éléments constitutifs du franchissement lui-même (tels que piles ou culées), mais plutôt à la perturbation de la répartition des eaux entre le lit majeur obstrué sur tout ou partie de sa largeur par les remblais d'accès à l'ouvrage de franchissement proprement dit.

En effet, ces remblais représentent un obstacle aux écoulements en lit majeur, qui sont contraints de rejoindre une ouverture dans cet obstacle pour poursuivre le cheminement vers l'aval. Or, les ouvertures disponibles sont généralement de deux types :

- Le dégagement réalisé dans le franchissement du lit mineur ;
- Les éventuelles ouvertures ménagées dans le remblai à cette fin, appelées ouvrages de décharge.

L'analyse hydraulique doit partir de la situation existante pour enfin analyser l'effet de l'ouvrage sur l'écoulement et les sollicitations à subir par ce dernier pour s'en protéger.

On distingue les deux cas :

- Construction neuve d'un ouvrage d'art ;
- Reconstruction d'un ouvrage d'art.

Dans le deuxième cas, il y a lieu de recueillir toutes les données hydrauliques sur l'ouvrage initial en analysant son comportement réel vis à vis des crues passées.

Pour l'ensemble des situations qui peuvent se présenter, il y a lieu de distinguer la situation sans ouvrage de celle avec ouvrage afin de déterminer :

- Le niveau des plus hautes eaux ;
- Les lignes d'eau et les sections de la route touchées par les eaux ;
- Les vitesses et conditions d'écoulement ;
- Les hauteurs d'affouillement ;
- Les quantités de matériaux charriés et la réduction du débouché superficiel suite à cela.

Pour ce faire, il y a lieu de se baser sur une étude granulométrique qui permettra d'estimer correctement le coefficient de rugosité du lit de l'Oued et de ses berges ainsi que les hauteurs d'affouillement.

4. LES ELEMENTS TOPOGRAPHIES

Lors de son analyse hydraulique, le Bureau d'Etudes doit se baser sur un fond topographique complet contenant les éléments suivants :

- Un profil en long du lit de l'écoulement de part et d'autre du lieu d'emplacement prévu par l'ouvrage sur une distance suffisante qui doit être fixée au niveau du CPS ;
- Des profils en travers du lit de l'écoulement (lit mineur et majeur) en nombre suffisant à l'amont et à l'aval de celui de l'ouvrage. Ces profils seront utilisés pour faire une modélisation de l'écoulement sans et avec ouvrage pour bien apprécier les paramètres hydrauliques (Largeur au miroir, hauteur des PHE, vitesse de l'écoulement,...) ;
- D'un plan côté à une échelle adéquate, définissant la route existante et les limites du lit mineur et du lit majeur de l'écoulement ;

Le niveau des PHE pour la crue de projet doit être estimé en utilisant les différents profils et en faisant intervenir les paramètres de l'environnement susceptibles d'influer l'écoulement ou le comportement de l'ouvrage, nous entendons par là :

- La nature granulométrique du lit de l'oued et l'estimation des charriages ;
- La nature des apports en suspension en cas de crue :
 - Branchages ; arbres ; Animaux ;
 - Autres ;
- L'occupation du lit de l'Oued ;...

En général, les travaux topographiques n'interviennent qu'après le choix du site ou des sites potentiels (conformément aux stipulations du CPC Etudes – Fascicule n° 4 – Article 5.3) et de préférence après le recueil des données hydrologiques, hydrauliques et géologiques puis la visite des lieux.

De point de vue consistance des travaux topographiques proprement dits, il est recommandé de d'en tenir aux échelles prévus par les textes de référence, en fonction de la nature du projet et de la phase d'étude, ils vont du 1/1000^{ème} au 1/500^{ème} pour les études de définition.

5. MORPHODYNAMIQUE ET PONTS

L'étude de la morphologie fluviale correspond à la description d'un environnement formé au cours du temps par les cours d'eau, en fonction d'une dynamique sédimentaire (processus d'érosion et sédimentation) et hydraulique (équilibre des oueds, variations des débits).

Globalement, on distinguera deux types de morphologie :

- Une première, qualifiée de « naturelle », où il n'y a aucune intervention d'origine anthropique ;
- Une seconde, qualifiée « d'anthropisée », où les interventions humaines influencent les processus sédimentaires et les écoulements et, par voie de conséquence, influent sur la morphologie fluviale.

Le lit d'un écoulement est façonné par les eaux et la charge transportées (les dimensions du lit sont fortement liés au régime hydrologique) mais aussi par les courants secondaires et les différents types de perte de charges présents dans ce lit.

Le lit du cours d'eau désigne en général son lit mineur ou son lit principal, c'est-à-dire, le lit d'étiage généralement augmenté des berges. Ce lit peut contenir jusqu'aux crues annuelles ou bisannuelles en l'état naturel, parfois beaucoup plus lorsque recalibrages et endiguements ont lourdement artificialisé le cours d'eau. C'est une zone humide, dans laquelle les variations hydrologiques conduisent à un étagement de la flore aquatique entre les espèces supportant bien l'immersion et celles tolérant des submersions moins fréquentes.

Enfin, le lit majeur désigne le reste de la vallée submergée lors des plus fortes crues. Lorsque la vallée est fortement anthropisée, le lit moyen peut avoir complètement disparu pour ne laisser apparent qu'un lit majeur.

Ainsi, ce guide va inviter les concepteurs et les maîtres d'ouvrages à étudier la morphologie et la morphodynamique des écoulements pour en tenir compte dans la conception des ponts surtout en ce qui concerne les points suivants :

- Changement des bras du lit ;
- Transport solide au niveau du lit ;
- Affouillement du lit ;

6. AFFOUILLEMENTS ET DIMENSIONNEMENT DES PROTECTIONS

Le guide présentera les différentes formules usuelles pour le calcul des affouillements ci-après :

- Affouillement général ;
- Affouillement dû au rétrécissement du lit de l'Oued ;
- Affouillement local ;

Pour le dimensionnement des protections, le guide présentera la détermination des éléments nécessaires à la définition de ces protections, à savoir :

- Diamètre des enrochements ;
- Epaisseur de la couche d'enrochement ;
- La blocométrie à mettre en place ;
- La définition de la blocométrie de la coche de transition ;
- La définition des géotextiles à mettre en place et de leurs caractéristiques ;
- La définition et la conception des protections transversales : Epis.