

PATRIMOINE

André LEJEUNE

Université de Liège
Département d'Hydrodynamique Appliquée
et des Constructions Hydrauliques
Professeur

Michel PIROTTON

Université de Liège
Département d'Hydrodynamique Appliquée
et des Constructions Hydrauliques
Professeur

Avec la collaboration de

Françoise DUPERROY
et de **Jacqueline GENICOT**

Réhabilitation du **pont barrage** de **Montignies Saint-Christophe**

Une réelle complicité entre l'ingénierie et la conservation des monuments

QUAND L'INGÉNIERIE VIENT AU SECOURS DES MONUMENTS...

Classé le 30 mars 1962, le pont dit "romain" enjambe, de ses 13 arches, la Hantes à Montignies Saint-Christophe entre Erquelinnes et Beaumont. Il s'agit d'un pont-barrage qui maintenait en amont une retenue d'eau suffisante pour l'alimentation du moulin voisin. La datation de cet ouvrage reste incertaine. Si ses origines romaines sont peu crédibles, il figure, par contre, dans les albums de Croy datés de 1597, sur la planche représentant le château du village de Montigny. Bâti en moellons calcaire, le pont surplombe une chute de 2.5 m environ. Espacées de 1.5 m, les piles ont une largeur de 0.5 m et sont longues de 3.5 m. Elles sont reliées entre elles par des voûtes doublées à l'origine, en leur partie centrale, sur une épaisseur de +/- 0.5 m. En amont, chacune se termine par un bec pour favoriser le passage de l'eau. On remarque sur toute leur hauteur, de chaque côté, la trace d'une battée qui devait recevoir des vannes glissières en bois. L'ensemble a une longueur de 25 mètres. Les parapets actuels construits en appareillage de petits moellons datent du début du XIX^e siècle (+/- 1830). Ce pont s'élève

aujourd'hui dans un très beau site en partie boisé, fort apprécié des promeneurs (classé le 23 janvier 1993).

Depuis plusieurs années, l'état du pont inquiétait les responsables du M.E.T, chargés de son entretien. Déjà, en 1994, la direction de l'Expertise des structures (D424) établissait un relevé photogrammétrique de l'ouvrage et procédait à une endoscopie des maçonneries. Ces études avaient bien confirmé l'importance des dégradations visibles sur les éléments structurels. En 1997, le pont fut interdit à la circulation et étayé pour freiner l'évolution inquiétante de certaines fissures et l'écartement des parapets. Un peu plus tard, une restauration d'ensemble débuta. L'analyse de l'appareillage en pierres taillées des piles révélait de nombreux défauts: fissures de haut en bas le long des becs, pierres éclatées, brisées, parfois remplacées par des briques ou matériaux pierreux de diverses origines. Cette situation poussa d'abord les auteurs de projets à envisager la solution extrême qu'aurait été un démontage total des 13 arches. Celui-ci put être évité grâce aux calculs des structures et des écoulements des eaux réalisés par le Département d'Hydrodynamique Appliquée et des Constructions Hydrauliques de l'ULg.



¹
Pont barrage de Montignies Saint-Christophe : pose des carcans avant les travaux.

Du point de vue hydraulique, il fallait s'assurer que les capacités de débit du pont-barrage étaient suffisantes et que les pressions dues à l'eau lors des écoulements de crues (pressions hydrodynamiques) ne mettaient pas l'ouvrage en péril. À cette fin, une étude hydrologique complète a été effectuée afin de déterminer le débit de crue maximum de la Hantes. À partir de cette valeur, à l'aide du logiciel *Wolf2D* développé au sein du Service d'Hydrodynamique Appliquée et des Constructions Hydrauliques, on a pu calculer l'interaction fluide-structure. En toute généralité, l'écoulement de l'eau se fait dans les directions horizontale et verticale. Dans le cadre de cette étude, nous ferons l'hypothèse que les vitesses

verticales soient faibles par rapport aux vitesses horizontales dans le plan de l'écoulement

Le principe sur lequel est basé le logiciel est la résolution des équations générales de la mécanique des fluides intégrées sur la hauteur de l'écoulement. Pour ce faire, le domaine où l'on veut calculer le mouvement de l'eau (ici le coude situé juste à l'amont du pont-barrage) est divisé en une série de mailles (fig. 2). Ensuite, en chaque point du maillage, on résout les trois équations (une de conservation de la masse, et deux de conservation de quantité de mouvement) dans le but d'obtenir la hauteur et les vitesses de l'eau, dans le plan horizontal pour le cas étudié.

Ce programme intègre également les phénomènes de turbulence et permet de tenir compte de tous les éléments rencontrés dans le cadre de l'écoulement d'une rivière. Grâce à ces différents aménagements, le logiciel est également capable de modéliser, notamment :

- les écoulements de rivière en cas d'écoulements lents.
- les phases de crue et d'étiage en rivières naturelles et canalisées, navigables ou non, avec déversoirs et vannages.
- les phénomènes d'inondation avec crues et décrues rapides.
- le dimensionnement des barrages, déversoirs, etc.
- les modes de ruine des grands ouvrages de retenue.
- la propagation d'ondes de tout type, notamment celles consécutives aux ruptures de barrage.

La photo n°1 montre le pont-barrage de Montignies Saint-Christophe avant les travaux.

À partir des données hydrographiques, le logiciel a ainsi calculé l'ensemble du mouvement de la Hantes au voisinage immédiat du pont. La figure n° 2 permet de visualiser les hauteurs d'eau sur le maillage non structuré. On y observe particulièrement bien les zones de turbulence

(jaunes) et de hautes vitesses, (rouges) ainsi que l'inégale répartition des débits dans les différentes arches (arches aux débits moindres 3-4-5).

Cette disparité dans la répartition des vitesses est d'ailleurs confirmée par la figure n° 3 qui représente les vecteurs vitesses en chaque point du maillage¹.

En ce qui concerne le calcul des structures, une modélisation détaillée de l'ouvrage a été définie afin de prendre en compte tous les éléments constitutifs. Le but était de démontrer la possibilité de conserver un maximum d'éléments originaux et de ne remplacer que les parties défectueuses de la maçonnerie.

On trouvera ci-après à la figure n°4 un exemple d'une partie de la modélisation de la structure et à la figure n°5, quelques résultats obtenus. Ces études ont été réalisées suivant le principe du calcul des éléments finis.

Comme pour l'écoulement de l'eau, la structure est divisée en petits éléments auxquels on applique les principes d'équilibre de la résistance des matériaux. La figure n°4 montre cette modélisation d'une partie des voûtes là où leur épaisseur est double. Dans le calcul de

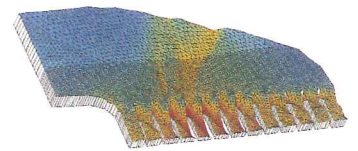
stabilité, il a été tenu compte des caractéristiques des divers types de matériaux constitutifs de la structure: maçonnerie de pierres calcaire posées au mortier de chaux naturelle. Par ces calculs, on a pu faire admettre la conservation des voûtes dans leurs ensembles, leur stabilité étant effective. Seuls, les parapets ajoutés récemment et qui avaient entraîné une surcharge importante, durent être démontés et reconstruits afin de mieux répartir leur poids sur l'ensemble de la structure. Dans ce but, le sommet des voûtes qui supporte le tablier du pont, a été renforcé par une dalle de béton intérieure à la structure et donc, non visible. Celle-ci est liaisonnée aux claveaux par des ancrages scellés à la résine dans les éléments principaux. Les pierres calcaires défectueuses des piles et bacs ont été remplacées par de nouvelles taillées et ajustées sur place. Des ancrages transversaux complémentaires ont été scellés en vue d'assurer la cohésion de l'ensemble.

Ces stabilisations et renforcements ont pu être définis grâce à la connaissance structurelle complète du monument, déduite de l'étude de stabilité.

La figure n°5 montre un exemple d'une partie de cette étude. Pour trois voûtes, les valeurs des contraintes dans la structure apparaissent suivant une gradation colorée, et une visualisation exagérée rend perceptible les déformations. On peut remarquer que, dans tous les cas de sollicitations étudiés, les contraintes dans la structure en place ne dépasse pas les $3,58 \text{ kg/cm}^3$, ce qui est admissible pour les joints de mortier à la chaux naturelle. La photo n° 6 montre le résultat final du pont restauré. ■

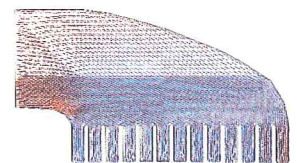
2

Visualisation des hauteurs d'eau sur maillage non structuré.



3

Vecteurs vitesses en chaque point du maillage.



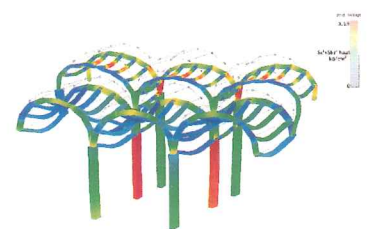
4

Modélisation d'une partie de la structure.



5

Exemple de résultats du calcul de la structure : calcul des déformations et des contraintes.



Note

¹ Cette étude a été réalisée par M. Thibaut MOUZELARD dans le cadre de son travail de fin d'études d'ingénieur des constructions "Résolution des équations d'Euler quasi-tridimensionnelles en instationnaire", ULg 1998.

