
Réaménagement de la chute de Saint-Guillerme II Ouvrages du Clapier

Saint-Guillerme II. The Clapier facilities

J.C. Millet

Electricité de France
Groupe Régional de Production Hydraulique « Alpes », Grenoble

Electricité de France, Groupe Régional de Production Hydraulique "Alpes" exploite depuis 1929 un aménagement existant sur la Romanche qui utilise les eaux stockées dans le barrage du Chambon (volume utile 48,5 hm³) et qui se compose de deux chutes en série respectivement appelées Centrale du Chambon et Centrale de St Guillerme I.

La rénovation et la modernisation de ces installations complexes et vétustes, en vue de les adapter aux besoins futurs de l'exploitation, sont actuellement en cours de réalisation et la nouvelle chute sera mise en service dans le 2^e trimestre 1983.

La chute de St Guillerme II, court circuitant les chutes existantes, constitue le premier palier de l'aménagement de la Romanche dans le département de l'Isère. Le débit d'équipement porté de 12 à 45 m³/s permet ainsi un gain important des performances énergétiques actuelles.

Conçu comme une chute gravitaire classique, l'aménagement de St Guillerme II comporte, en outre, un ouvrage de retenue aval permettant le stockage des débits turbinés et la restitution à la Romanche d'un débit démodulé engendrant des variations atténuées du débit. Cette retenue comporte ainsi un ouvrage de génie civil équipé, en plus d'une passe de restitution, de deux passes d'évacuation des crues capables de laisser transiter le débit de pointe de la crue décennale évalué à 676 m³/s. Chaque pertuis d'une largeur de 8 m est équipé d'une vanne segment de 7 m de hauteur.

I. Dispositifs anti-usure

Compte tenu de l'existence de bajoyers anciens et de la présence, immédiatement à l'aval, d'un ouvrage de franchissement du chenal par la RN 91, ouvrage réduisant la section de passage de l'eau, la réalisation d'un radier bétonné s'imposait afin de réduire la hauteur de la lame d'eau au détriment de la vitesse, celle-ci atteignant des valeurs voisines de 10 à 11 m/s. Cette vitesse

élevée, jointe au fait que la Romanche en période de crues est soumise à un charriage important, a contraint EDF à adopter pour la protection de ce radier des dispositions de revêtement antiabrasion.

1.1 Panorama des dispositifs "antiabrasion"

Depuis fort longtemps, dans les régions montagneuses comme les Alpes, EDF est confronté au problème de la tenue des bétons de radiers lorsque ceux-ci sont le sujet de fortes sollicitations qu'il s'agisse de grandes vitesses, de transports solides ou d'impact de lames déversantes en plus des conditions climatiques parfois très difficiles.

Différentes solutions ont été le fruit, avec plus ou moins de bonheur, de l'imagination des Ingénieurs et il est rare de disposer d'une solution miracle réunissant en plus des avantages techniques, la réalité d'un investissement minimal.

Parmi les solutions employées citons principalement, sans ordre préférentiel :

- les chapes renforcées au corindon, en billes ou paillettes d'acier,
- les revêtements en briques de différente nature,
- les revêtements en pavés de fonte,
- les revêtements en bois, principalement chêne ou mélèze,
- les revêtements en caoutchouc,
- les revêtements métalliques (blindages),
- les revêtements de résines,
- les revêtements en pierres naturelles.

Dans la dernière décennie, l'apparition des matériaux synthétiques a favorisé le développement des techniques utilisées pour la protection des ouvrages hydrauliques.

Le G.R.P.H. "Alpes" s'est, une fois de plus, trouvé devant ce problème pour les ouvrages du "Clapier" et a retenu deux solutions, l'une traditionnelle et onéreuse (le granit), l'autre plus moderne, plus économique mais moins sûre (le mortier de résine). La description et les caractéristiques essentielles de ces revêtements sont développées ci-après.

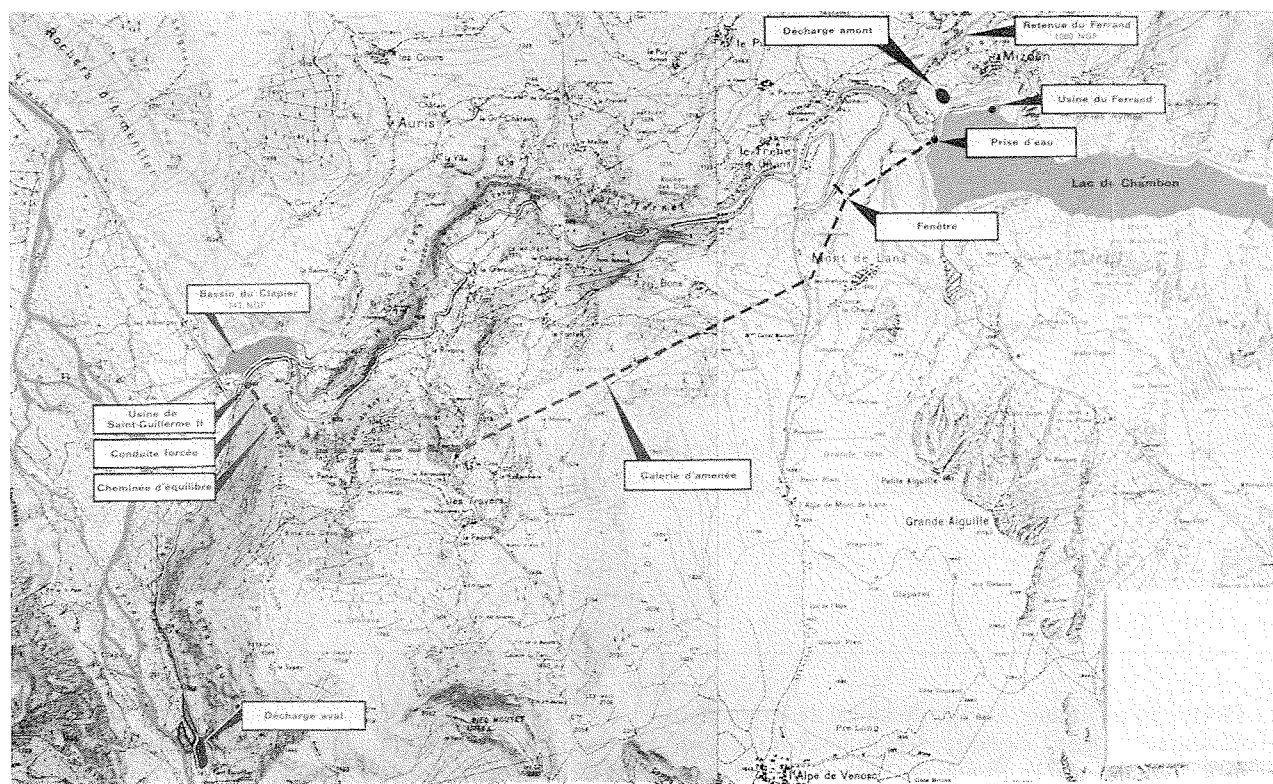


Figure 1 — Aménagement de la Romanche et des chutes du Chambon.

1.1.1 Revêtement en blocs de granit,

L'épreuve du temps a démontré que le pavage en blocs de granit, choisi pour sa grande résistance à l'abrasion, constituait un revêtement d'une grande qualité. En effet, il n'est pas rare de constater le bon état d'ouvrages de ce type en exploitation depuis plusieurs dizaines d'années.

Toutefois, leur mise en œuvre doit satisfaire à quelques contraintes pour améliorer les qualités d'ensemble du revêtement.

— Le granit constituant un ensemble discontinu, la forme support doit être calculée en structure BA active, ce qui conduit à une épaisseur totale de radier importante.

— L'expérience montre que les joints entre blocs sont l'objet d'une usure sur une profondeur sensiblement égale à leur largeur. On s'attachera donc à prévoir un appareillage des pierres à joints décalés et d'une largeur au plus égale à 2 cm.

— Comme tout revêtement en éléments indépendants, il faut assurer l'homogénéité de l'ensemble aux extrémités les plus sollicitées en ancrant, par des barres d'acier, les derniers rangs de blocs ou les rangées les plus sollicitées.

— Dans la mesure du possible, on a intérêt à mettre en place des blocs unitaires de dimensions maximales compatibles avec les formes et les moyens de manutention.

A Saint Guilhem II, les caractéristiques des blocs ont été les suivantes :

- profondeur : 30 cm
- largeur : comprise entre 0,30 et 1 m env.
- longueur : comprise entre 0,70 et 2 m env.

• les surfaces scellées ont été repiquées tandis que la surface en contact avec l'eau est restée brute de sciage, c'est à dire très plane, sans aspérités.

La mise en place fut réalisée à l'aide d'un portique mobile capable de transporter des charges de 1 T 5. Les pierres ont été scellées au mortier de ciment CLK 45, sauf la partie supérieure des joints qui fut exécutée au mortier de ciment fondu.

Le choix du revêtement en granit s'est porté sur les parties les plus sollicitées du radier, c'est à dire :

- immédiatement à l'aval des vannes segments,
- dans les passes crues,
- dans le passe de restitution jouant le rôle de bassin brise charge
- et sous l'impact des rejets du débit de restitution à la Romanche.

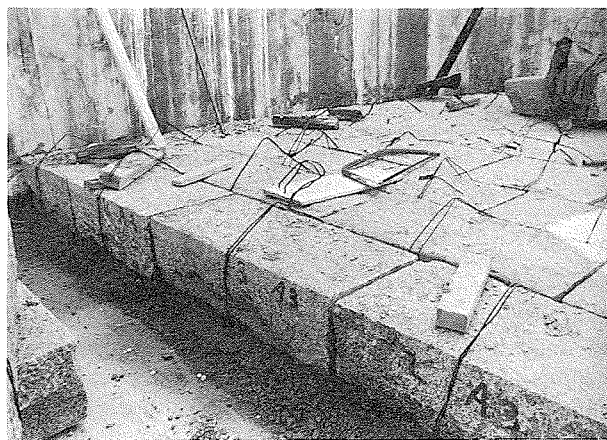


Figure 2 — Blocs de granit en cours de pose.

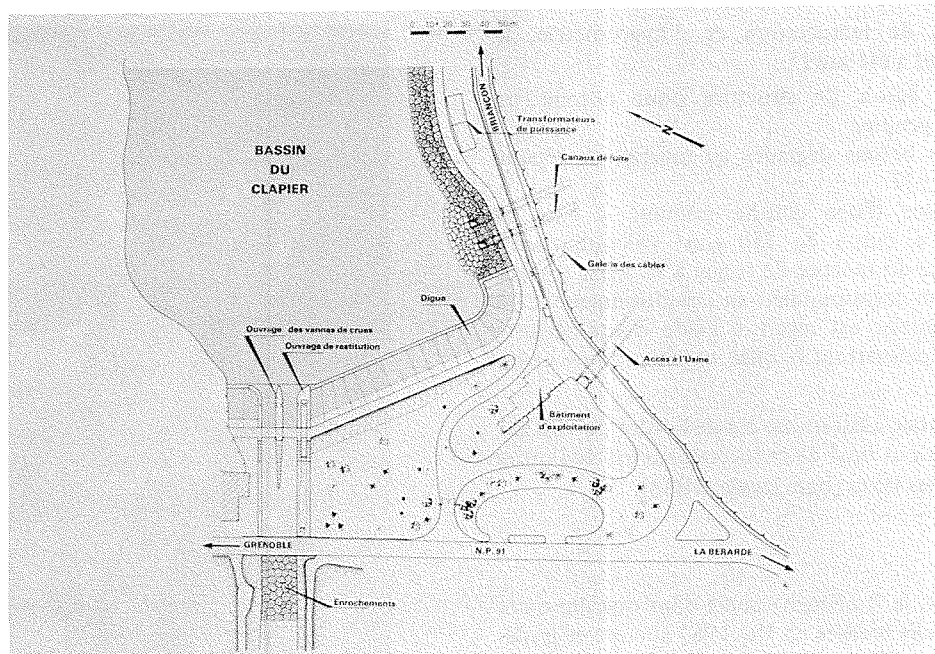


Figure 3 – Vue d'ensemble du bassin du Clapier.

La surface totale mise en œuvre a été de 740 m² et le prix de revient brut de ce revêtement, sans tenir compte de l'incidence sur la structure béton armé de l'ouvrage, est de l'ordre de 1 750 F/m² (base janvier 1983).

1.1.3 Revêtement anti-usure mortier de résine

Les découvertes récentes dans le domaine des résines époxydiques ont permis d'envisager et d'utiliser, en protection de surface des radiers, des bétons d'époxy dont les qualités principales sont apparues intéressantes et tout particulièrement pour.

- leur forte résistance mécanique (traction et compression),
- leur excellente adhérence,
- leur faible indice d'usure.

C'est ainsi que certaines installations industrielles ont fait l'objet d'essais *in-situ* (Barrage de Khashm El Girba au Soudan) et le choix d'EDF G.R.P.H. "Alpes" s'est porté sur cette solution pour le radier de l'ouvrage du "Clapier" dans ses parties les moins sollicitées sachant, malgré tout, que cet essai comportait une part expérimentale.

– *Les caractéristiques retenues* pour le mortier de résine utilisé à St Guillaume II ont été les suivantes :

- épaisseur mise en œuvre : 20 mm,
- liant KW 5 de SIKA à raison de 9,7 kg de résine par m² de revêtement,
- agrégats : 19,5 kg/m² de sable de silice comprenant :
25 % de 0,2/0,8 mm
75 % de 3/6 mm

– Quant aux *propriétés attendues de ce revêtement* de résine on peut signaler :

- la résistance à l'abrasion élevée, probablement due en partie à la souplesse du revêtement (indice CNR de l'ordre de 0,5),
- la dureté shore A de l'ordre de 60 à 80,

- la résistance d'adhérence supérieure à la cohésion du béton de l'ordre de 30 bars,
- les résistances mécaniques importantes (35 bars en traction),
- le maintien de ses qualités dans le temps (les essais ayant montré que la dureté shore diminuait de 10 % en 5 ans).

In situ, le mode d'application s'avère délicat, car le succès de l'opération dépend en grande partie du respect scrupuleux des modalités de réalisation. En effet, outre

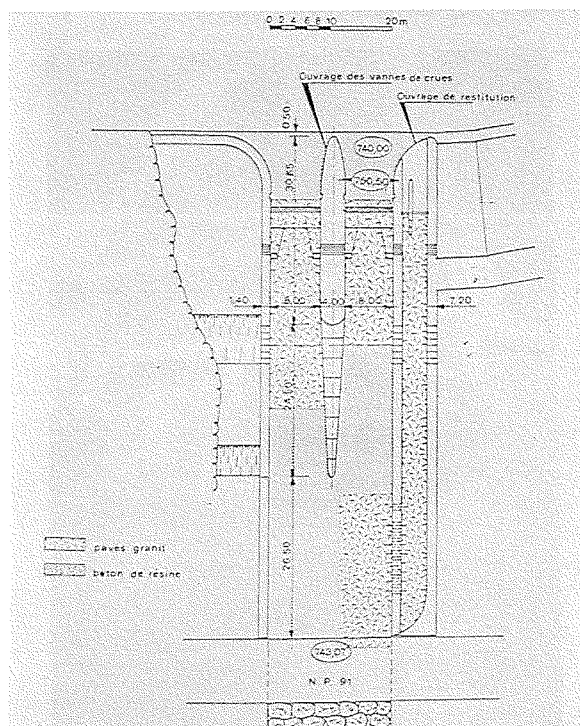


Figure 4 – Implantation des revêtements anti-usure du bassin du Clapier.

les contraintes de température et d'hygrométrie, le processus suivant a été suivi :

- sablage du béton de structure pour obtenir un support sain et propre,
- ragréage des bétons dégradés au mortier de réparation SIKATOP 122,
- mise en place d'une couche primaire à base de SIKADUR 32 à raison de 250 g/m² (bicomposant),
- mise en place du mortier de résine KW 5 par surface de 4 m² environ correspondant au conditionnement du produit. Le mortier est regalé à l'aide d'une raclette auto-nivellante permettant la mise en place d'une épaisseur de 2 cm.

La surface totale ainsi traitée est de l'ordre de 900 m² et le prix de revient brut de ce revêtement est de l'ordre de 750 F/m² hors taxes (base janvier 1983).

Résultats

Actuellement, la Romanche coule dans une des deux passes et dans celle réalisée en Mai 1982 aucune dégradation n'a été constatée, jusqu'à ce jour.

L'ouvrage n'a pas encore subi l'épreuve du temps et des crues mais nous formulons simplement l'espoir de voir l'ouvrage répondre avec satisfaction aux conditions d'exploitation pour lesquelles il a été conçu.

2. Dissipateurs d'énergie

L'accroissement du débit turbinable risquait, par ses variations rapides, de provoquer des perturbations trop importantes dans le régime hydrologique de la Romanche, en aval de la chute. Pour y remédier, le nouvel aménagement comporte, à l'aval des canaux de fuite de l'usine, des ouvrages comprenant :

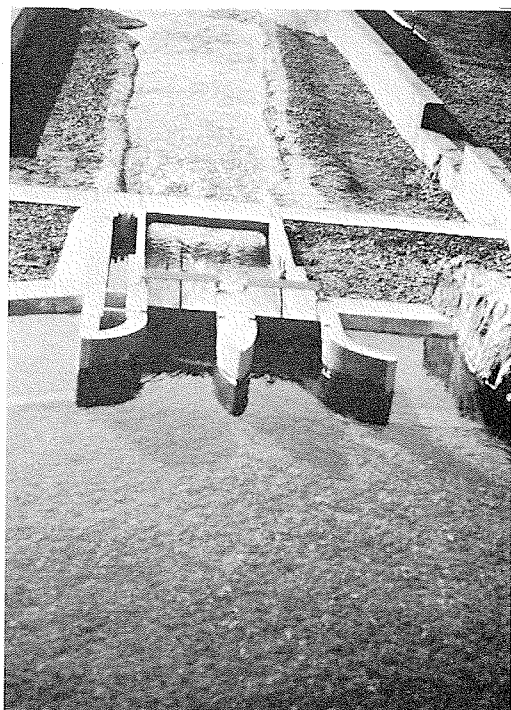


Figure 5 – Vue d'ensemble du modèle réduit.



Figure 6 – Aspect du rejet à débit modulé pour 30 m³/s.

- une retenue aval, constituée du bassin existant du "Clapier" qui, réaménagé par surélévation, porte sa capacité utile à 500 000 m³ environ,
- un ouvrage de restitution et d'évacuation des crues, capable d'évacuer le débit instantané de la crue décennale évalué à 676 m³/s et d'assurer, par l'intermédiaire d'une passe spéciale, la démodulation des éclusées de l'usine en limitant le débit restitué à une valeur maximale de 30 m³/s.

Ces ouvrages ont été étudiés sur modèle réduit hydraulique afin de lever toute incertitude sur deux points principaux :

- le bon comportement hydraulique nécessaire pour assurer le respect des conditions imposées par le Cahier des Charges de la concession,
- le bon comportement vis à vis des problèmes créés par la dissipation de l'énergie de l'eau due à sa mise en vitesse.

Ce dernier point fait l'objet du présent paragraphe et sera analysé :

- d'une part, pour la restitution du débit démodulé,
- d'autre part, pour l'évacuation des débits de crues.

2.1. Ouvrage de restitution du débit démodulé à l'aval des ouvrages du "Clapier"

2.1.1 But recherché

Réutiliser un chenal existant en rive gauche de la passe de crues pour incorporer un ouvrage de restitution du débit démodulé.

Dès le début de l'étude trois problèmes se sont présentés :

- faire un ouvrage compatible avec un bon fonctionnement des évacuateurs de crues, le rejet se faisant

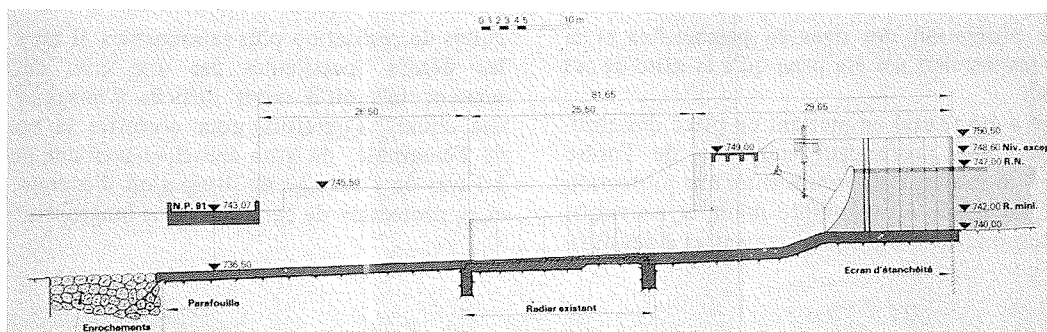


Figure 7 – Coupe dans l'axe d'une passe de l'évacuateur de crues.

obligatoirement dans la passe en amont du pont de la RN 91.

- dissiper l'énergie afin de provoquer l'abrasion minimale,
- concevoir le rejet de façon à ne pas créer d'embruns qui, en période d'hiver, rendraient le passage de la RN 91 impraticable par formation de glace.

La résolution de ces problèmes s'est faite grâce au modèle réduit hydraulique général au 1/30^e et à un modèle réduit au 1/20^e propre à cette partie de l'ouvrage.

Cette étude a permis de dégager les conclusions suivantes :

- 1 – Pour ne pas interférer sur les écoulements des crues à grande vitesse, il est nécessaire de fixer la côte du seuil de restitution au dessus de la ligne d'eau correspondant à un débit de 676 m³/s dans la passe de crues,
- 2 – Pour ne pas créer d'embruns et limiter l'usure, il est nécessaire de dissiper partiellement l'énergie avant la restitution au chenal de crues.

La solution retenue en définitive consiste à utiliser la passe de restitution en bassin brise-charge en réalisant l'exutoire par des orifices circulaires avec écoulement en charge autorégulateur. Il y a ainsi dissipation de l'énergie de l'eau à la sortie de la vanne de restitution et écoulement tranquilisé par les orifices non générateur d'embruns.

La mise au point dimensionnelle de cet ensemble a été étudié sur le modèle de façon à éviter toute mise en charge de la dalle supérieure du bassin, tout en assurant un débit d'évacuation maximal de l'ordre de 30 m³/s, sans remontée du ressaut hydraulique jusqu'au seuil de la vanne.

Les caractéristiques définitives retenues ou observées sont :

Niveau amont maximal dans la retenue :	749 NGF
Débit évacué maximal	30 m ³ /s
Dimension du bassin :	
Longueur	: 64 m
Largeur	: 3,80 m
Hauteur	: 4 m
Niveau maximal de l'eau dans le bassin brise charge	: 743 NGF

Orifices de rejet : 10 buses de Φ 1 m dont l'axe est au niveau 740 NGF environ

Il est à noter, qu'en plus de l'aspect technique des dispositions adoptées, cet ouvrage en fonctionnement présente un effet agréable pour l'environnement.

2.2 Dissipateur d'énergie dans le chenal de crues

L'ouvrage d'évacuation des crues a été calculé dimensionnellement pour être capable d'évacuer le débit instantané de la crue décennale soit 676 m³/s. Ce débit est évacué par deux vannes secteur (largeur 8 m – hauteur 7 m) dans un chenal à radier et bajoyer bétonnés, jusqu'à la section aval du pont, permettant le franchissement de la route nationale RN 91. Si cette disposition conduit à un tirant d'eau relativement faible, elle engendre par contre des vitesses très élevées de l'ordre de 10 à 11 m/s.

Compte tenu qu'à l'aval de cet ouvrage, la Romanche coule dans un lit canalisé en alluvions naturelles, il était probable qu'un jet d'eau à la vitesse de 11 m/s crée un affouillement immédiatement à l'aval du parafouille aval du radier. Cette probabilité a d'ailleurs été mise en évidence sur le modèle hydraulique.

Cet affouillement risquant de nuire à la stabilité de l'ouvrage de franchissement de la RN 91, il a été décidé de réaliser un ouvrage de dissipation d'énergie permettant de localiser le ressaut hydraulique à un endroit spécialement conçu à cet effet.

Le choix s'est porté sur une fosse, de 20 m de largeur et d'une longueur de 33 m, remplie sur une certaine profondeur de gros enrochements d'un poids unitaire moyen de 5 T. Les bajoyers de la fosse, remontés en superstructure, sont réalisés en palplanches Larsen 3 N constituant ainsi la protection des talus intérieurs du chenal de la Romanche.

Les essais ont été conduits sur le modèle hydraulique au 1/30^e. Les résultats constatés ont fait apparaître une grande stabilité du système jusqu'à des valeurs de débit voisines de 400 à 450 m³/s, représentant le débit moyen journalier de la crue décennale. A partir de ce débit, on constate l'influence de la profondeur du tapis d'enrochement.

Pour le débit de 676 m³/s et une profondeur de la fosse de 2,50 m, on assiste à la désorganisation complète de la protection sans toutefois que la stabilité du pont soit mise en cause.

Pour 676 m³/s et une profondeur de 5 m, des affouillements se produisent sur les 3/4 de la longueur de la fosse sans toutefois dépasser la profondeur de 2 m.

Le modèle fait apparaître que la désorganisation des enrochements est principalement due au phénomène d'étalement de la lame d'eau à la sortie du pont et de son impact sur les berges de la rivière à une dizaine de mètres à l'aval. En effet le modèle ne compor-

tait pas de protection des rives en palplanches et la décision de les installer n'a été prise qu'à la suite de ces observations.

L'ouvrage a été réalisé en mettant en place des enrochements sur une profondeur moyenne de l'ordre de 3,5 m à 4 m comme compromis entre une protection totale pour un risque à probabilité faible et un risque mesuré correspondant à un investissement et à des diffi-

cultés de réalisation plus raisonnables. Il est à noter que les dégâts occasionnés par une crue décennale seraient tels qu'il serait difficile d'imaginer la réalité des choses. Toutefois, pour accroître la bonne tenue de l'ensemble, de gros enrochements ont été disposés à l'aval de l'ouvrage de dissipation d'énergie, en radier et en protection de berges, sur une longueur de 15 à 20 m.

Discussion sur les dispositifs anti-usure

Président : M. H. de MAUBLANC

M. le Président présente M. MILLET, qui fait ensuite son exposé accompagné de diapositives.

Sur demande du PRÉSIDENT, au sujet d'une protection éventuelle par pavage, dans le cas d'eaux non abrasives et sans charriage, M. MILLET confirme l'inutilité de telles dispositions, mais dans les Alpes, s'agissant pratiquement toujours d'eaux très dures avec charriage, le pavage (pavés de granites ou de grès très durs), fait avec certaines règles de mise en place, dure très longtemps (certaines réalisations du début des années 30 durent encore).

M. GUILHOT aurait souhaité avoir des informations sur deux expériences faites sur des ouvrages du GRPH Alpes :

- sur les pavés de résine mis en place à Notre-Dame de Commiers vers les années 1964. La Commission des Usures a-t-elle suivi l'évolution de cette protection ? Les premières années les pavés avait tenu, mais pas les joints - puis les pavés s'étaient déchaussés. Qu'en est-il advenu ?
- sur certains barrages de l'Arc, on avait remplacé des lames d'acier inoxydable sous le couteau des vannes par du linatex, un caoutchouc synthétique qui avait donné d'excellents résultats, de telle sorte qu'à l'époque, on avait envisagé d'essayer d'étendre l'usage de ce linatex à de plus grandes surfaces, ce qui posait le problème de sa tenue et de sa bonne adhérence à l'ouvrage.

M. GUILHOT a-t-il eu l'occasion de voir ces réalisations ?

M. MILLET confirme qu'à Notre Dame de Commiers certaines plaques ont été déchaussées et ont entraîné la détérioration du revêtement. Ce phénomène est général pour tous les revêtements minces constitués d'éléments unitaires.

Cette difficulté ne s'est pas rencontrée avec les pavages granit ou grès assez anciens car leur forte épaisseur (60 cm) leur donnait un caractère massif. Actuellement dans un souci d'économie nous mettons en oeuvre des pavages d'épaisseur plus réduite mais lorsqu'il n'est pas encastré dans le socle comme à Ste Guillaume, nous prenons la précaution d'ancrer les derniers rangs ou les rangs les plus sollicités. Les blocs, préperforés au moment de la taille sont tenus par des barres d'acier ancrées dans les fondations. Un certain nombre de radiers, exécutés suivant ce procédé, se comportent bien.

En ce qui concerne l'emploi du linatex employé comme étanchéité fixe sur un seuil de vanne secteur, le procédé donne de bons résultats dans la mesure où la fixation de ce caoutchouc (linatex, néoprène ou autre) est parfaite et c'est le cas sur un des barrages de l'ARC évoqué par M. GUILHOT. Par contre, il faut souligner que cette disposition oblige le batardeau complet de la passe dans le cas d'une intervention d'entretien de ce joint.

M. ALAM signale un procédé à base de béton à aiguilles d'acier, utilisé dans un barrage aux Etats-Unis contre la cavitation. En France, ce procédé ne semble pas avoir été mis en oeuvre.

M. D'ANGELO signale toutefois avoir testé ce procédé il y a quelques années : les aiguilles d'acier n'apportent rien en ce qui concerne la tenue à l'abrasion, en revanche elles apportent une amélioration des résistances à la traction.

M. POST fait part de l'expérience de TARBELLA : les bassins à ressaut ont été réparés avec, notamment, un revêtement de 50 cm de béton de fibres d'acier. Les essais en chambre de cavitation ont montré une bien meilleure résistance à la cavitation ; le béton de fibres d'acier augmente de façon sensible la résistance et la traction et donc diminue la fragilité des joints et des arêtes de béton qui sont l'amorce de cavitation. Une grande partie de la retenue est déjà envasée, mais il y a déjà un charriage important en sédiments et les réparations, effectuées il y a 5 ans, tiennent correctement.

Concernant la question de l'absence de protection sur les bajoyers soulevée par M. D'ANGELO, il est précisé qu'une protection par résine pelliculaire n'a été mise en place que sur 10 cm seulement, car tous les écoulements s'effectuent en ligne droite. Et c'est seulement une usure des radiers qui a été constatée : usure qui, par endroits, enlève 10 à 15 cm de béton du radier en un seul hiver.

Tous les prix cités dans le rapport sont donnés aux conditions économiques de janvier 1983.

M. le Président remercie le rapporteur et les intervenants.

Discussion sur les dissipateurs d'énergie

Président : M. G. POST

Après cet exposé d'une durée de 40 minutes, le Président remercie M. MILLET de son étude qui montre très clairement, tout le poids de l'environnement sur le choix d'un type de solution dans ces problèmes de dissipation d'énergie, puis ouvre la discussion.

M. MILLET répond à MM. POCHE, BOULOC et ALAM,

- que le modèle réduit a bien été muni d'enrochements denses;
- que les buses, vues en saillie sur le modèle au 1/20, ne dépassent que du mètre prévu pour l'épaisseur du mur définitif. Sur le modèle d'ensemble au 1/30, les buses sont bien arrasées;
- que le radier de protection contre les affouillements à l'aval a été calé horizontalement en raison à la fois des cotes imposées par les structures existantes et de la nécessité de localiser le ressaut.

"Au Président qui l'interroge sur le cheminement des apports solides par les buses du bassin de tranquillisation et sur la gêne créée par la production d'embruns pendant le fonctionnement des évacuateurs de crues, M. MILLET précise que l'expérimentation sur le modèle réduit a montré que la turbulence à l'intérieur du bassin permettait l'évacuation totale des apports solides par les buses. En ce qui concerne les embruns, ils ont constitué une hypothèse importante de l'étude car compte tenu des conditions climatiques et de la proximité immédiate de la NR 91, leur formation était interdite et nous avons constaté ce bon résultat sur le modèle qu'il s'agisse de la restitution du débit démodulé ou du passage des plus grandes crues".

Le Président invite ensuite M. POCHE à présenter son exposé.