

OUVRAGES D'ART

CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGES D'ART



Bulletin de liaison diffusé par
le Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art
du Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes



N° 34
Mai 2000

Techniques particulières

- Détection de fuites dans une digue par la méthode des mesures de températures : l'exemple du pont sur le Rhin. *page 3*
G. TREFFOT
- Le pont du Saguenay. *page 7*
J. BRAJON



Confortements, réparations

- Reconstruction du pont de la Boucle à La Réunion. *page 11*
M. TRIVÉRO



Qualité, gestion, organisation

- IQOA Murs, le calendrier de l'opération. *page 14*
G. DELFOSSE
- Recensement des ouvrages de soutènement en bordure du réseau routier national. *page 15*
N. ODENT

Matériaux

- Une nouvelle réaction de gonflement interne des bétons : la réaction sulfatique. *page 19*
B. GODART, L. DIVET

Informations brèves

- Les Rubans d'Or 1999. *page 21*
- Stages ENPC. *page 23*
- Stages CTICM. *page 23*

Le kiosque du Setra

- Les dernières publications Ouvrages d'Art. *page 24*



Détection de fuites dans une digue par la méthode des mesures de températures

L'exemple du pont sur le Rhin entre Altenheim et Eschau

Le second franchissement du Rhin en amont de Strasbourg, projet transfrontalier entre la France et l'Allemagne, comporte un pont principal sur le fleuve à trois travées de 121,00 - 205,00 et 131,00 m et deux viaducs d'accès contigus longs de 215,00 m côté France, de 292,00 m côté Allemagne.

La pile-culée C3 commune au pont principal et au viaduc allemand est implantée sur le talus côté terre de la digue rive droite (KM 282,980) située en territoire allemand.

Lors de la phase de concertation, le Wasser und Schifffahrtsamt (Service de la navigation allemand) et EDF, gestionnaires des digues, demandaient qu'une paroi étanche de 200 m de longueur et de 30 m. de profondeur soit réalisée préalablement à la construction de l'appui, compte tenu du mauvais état reconnu de la digue rive droite, consolidée à maintes reprises depuis sa mise en service au début des années 70.

Lors des études détaillées du projet, il convenait d'étudier et de justifier le renforcement exigé par les gestionnaires de l'ouvrage. La maîtrise d'oeuvre (Service Grands Travaux de la DDE du Bas-Rhin) a procédé à un diagnostic de la digue rive droite basée sur la méthode thermométrique dont le présent article se propose de présenter les principes, la mise en oeuvre et les principaux résultats obtenus.

La digue existante

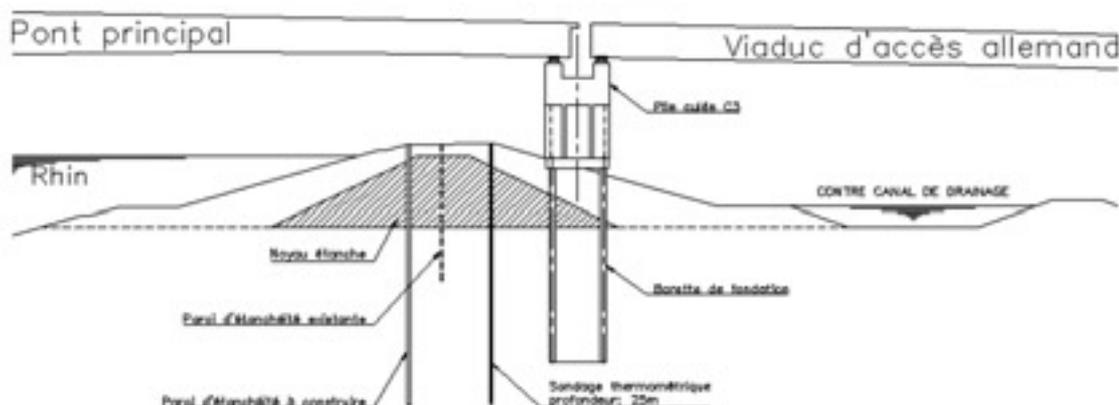
Lors des aménagements de la chute hydroélectrique de Strasbourg survenus en 1970, le niveau des plus hautes eaux navigables du Rhin canalisé a été exhaussé d'environ 6,00 m au dessus de la plaine d'Alsace (et du pays de Bade) au droit du franchissement.

La digue rive droite, construite directement au dessus des formations alluvionnaires superficielles - représentées par des limons et argiles sur des épaisseurs variables pouvant atteindre localement 5 m. - est constituée d'un noyau étanche. Ce dispositif d'étanchéité est complété par des rideaux de palplanches dans les secteurs correspondant à d'anciens bras latéraux du fleuve où le

noyau étanche repose directement sur les graves perméables du Rhin.

Cet ouvrage a déjà fait l'objet de multiples travaux de confortement réalisés postérieurement à la mise en eau du bief de Strasbourg. Les plans de récolement mentionnent notamment l'existence d'un écran étanche long de 130 m, profond d'environ 13,00 m (paroi mince constituée d'un coulis de sable, d'argile et de ciment) et les débits du contre-canal de drainage traduisent l'existence de fuites importantes dans le tronçon concerné.

Les fondations profondes sur barrettes de la pile-culée C3 traversent le noyau étanche côté terre et sont ancrées à une dizaine de mètres de profondeur sous le terrain naturel.

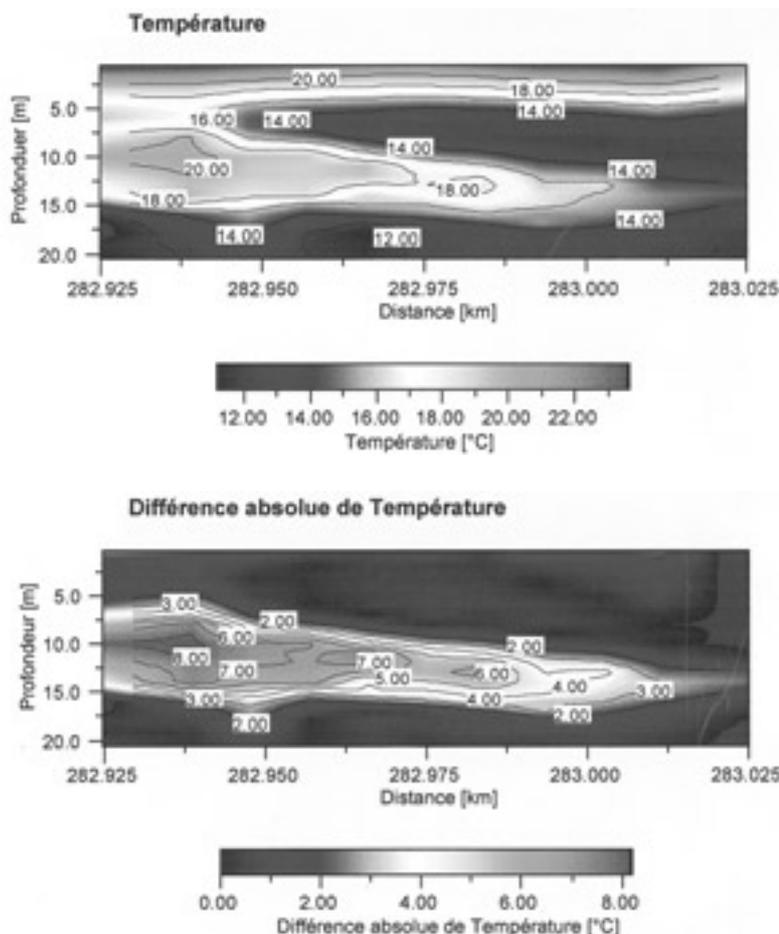


◀ Figure 1 : Coupe schématique du Rhin rive droite, au droit du franchissement.

Principes de la méthode des mesures de températures pour la détection et la localisation de fuites dans une digue

La méthode des mesures de températures, largement développée outre-Rhin, est basée sur le phénomène physique du transport de chaleur. L'eau s'infiltrant à travers une digue n'est pas en équilibre thermique avec le matériau de celle-ci, et provoque une anomalie dans le champ de température dans le corps de digue. En raison de la superposition d'influences microclimatiques (rayonnement solaire, précipitations, végétation), ces anomalies sont généralement difficiles à déceler près de la surface du sol. Ces perturbations s'atténuent avec la profondeur et au-delà de 1 à 2 mètres, les mesures de températures permettent de déceler des fuites potentielles. Pour effectuer les mesures de températures, des tubages creux (diamètre 22 mm) sont enfoncés à travers le corps de la digue. Une chaîne de capteurs de températures régulièrement espacés (1 m) est alors introduite dans chaque tubage.

▼ Figures 2 et 3 : Détection de fuites par mesures de températures. Digue du Rhin km 283, rive droite. Coupe verticale en long de la digue indiquant la distribution des anomalies des températures en deux dimensions.



Lorsque l'ensemble des mesures est effectué, il est alors possible d'établir des profils en long et verticaux des températures permettant de déterminer la profondeur et l'étendue latérale d'éventuelles zones d'écoulement privilégiées.

Mise en œuvre des investigations thermométriques

A l'issue d'une consultation de sociétés spécialisées, la proposition de la société GTC Kappel-mayer (Karlsruhe - RFA), fondée sur la méthode thermométrique, jugée la mieux adaptée, a été retenue par la Direction Départementale de l'Équipement du Bas-Rhin. Cette société qui présentait de nombreuses références a été chargée d'ausculter la digue du Rhin pour déceler les fuites potentielles et vérifier l'efficacité de l'étanchéité du noyau et de la paroi existante. L'auscultation de la digue s'est déroulée le 19 et 20 août 1996.

Les sondages thermométriques furent effectués en crête de digue côté contre-canal sur un linéaire de 100 m de longueur, au droit de l'appui à construire à environ 3 m en arrière de la paroi d'étanchéité existante. Les tubages, espacés de 10 m, furent enfoncés à l'aide d'un marteau pneumatique portatif à 20 m de profondeur jusqu'aux graves très compactes du Rhin. Lors de la campagne thermométrique, les températures de l'eau du Rhin variaient entre 21,7 °C et 22,3 °C, soit une différence de température entre la digue non infiltrée par l'eau et le Rhin voisine de 10 °C. Des conditions idéales étaient donc réunies pour l'application de la méthode thermométrique grâce à ce fort contraste thermique.

Principaux résultats obtenus, interprétation des mesures

La figure 2 représente les mesures de températures relevées, visualisées en deux dimensions sur une coupe verticale en long de la digue. La distribution des anomalies de température met clairement en évidence un écoulement de l'eau du Rhin à travers le sol en place, situé sous le corps de digue, le long de tout le secteur ausculté. La figure 3 représente les anomalies des différences en température. Les différences des températures furent obtenues en comparant les températures attendues (cf. figure 4 : courbe idéalisée des températures du sol en été) dans une digue intacte (non infiltrée par l'eau comme

cela est le cas dans la partie aval du tronçon ausculté) à différentes profondeurs, à celles mesurées in-situ dans chaque sondage. Aucune anomalie de température causée par une infiltration de l'eau du Rhin n'est décelable aux profondeurs correspondant au noyau de la digue.

La vitesse maximale d'écoulement et l'épaisseur maximale de la couche infiltrée par l'eau du Rhin sont localisées sur la partie amont du tronçon de digue ausculté. L'ampleur de l'anomalie des températures diminue vers l'aval. A partir de 16 m de profondeur, les températures mesurées correspondent approximativement aux températures d'un sol non infiltré par l'eau du Rhin.

Les profils de températures (figure 5) représentent les anomalies de température décelables pour tous les sondages.

Aux sondages localisés aux km 282,925 et km 282,935 l'écoulement évident (fuites) se situe entre 8 m et 14 m de profondeur à partir de la crête de la digue. Aux alentours immédiats de l'appui envisagé - au km 282,980 - les températures en profondeur indiquent un écoulement maximal à 13 m de profondeur, correspondant à l'extrémité inférieure de la paroi d'étanchéité existante. Sur la partie aval, la paroi est vraisemblablement encore intacte.

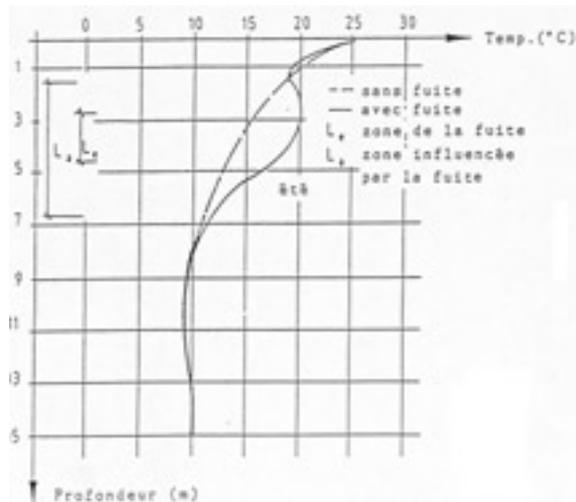
L'auscultation thermométrique montre que l'écran étanche existant au droit de l'appui envisagé ne remplit pas sa fonction.

Comparaison des résultats avec les essais de perméabilité

Il est intéressant d'associer les résultats obtenus avec les essais de perméabilité exécutés en continu sur cinq sondages suivant le procédé « Perméafor » mis au point et breveté par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg (cf. figure 6). Cet appareil permet de déterminer les contrastes de perméabilité par une série continue d'essai d'eau.

Les trois sondages intermédiaires SP 3.4, SP 3.1 et SP 3.5 intéressent le tronçon de digue ausculté suivant la méthode thermométrique, les sondages SP 3.2 et SP 3.3 sont situés respectivement 40 m en amont et 35 m en aval de la zone auscultée.

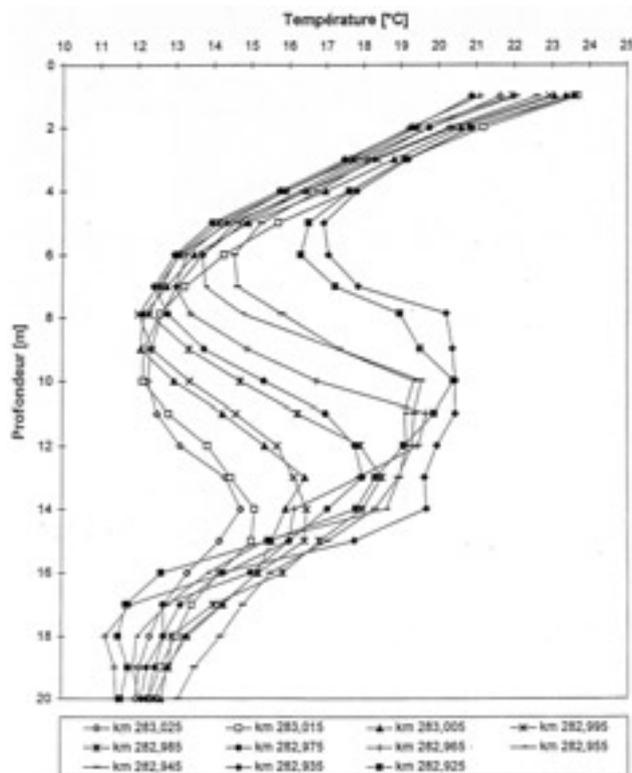
Les sondages « Perméafor » révèlent un enfoncement régulier du toit des formations perméables (graves) qui varient de - 6 m sous la crête de digue, en amont, au SP 3.2 (c'est-à-dire que le



◀ Figure 4 : Distribution idéalisée des températures du sol en été comparée à une anomalie de température provoquée par une "fuite".

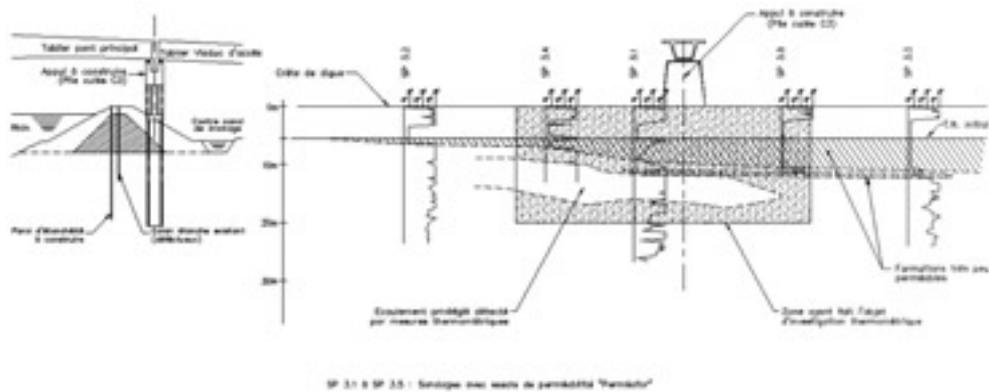
noyau étanche repose directement sur les graves) à - 11 m en aval au SP 3.3. où l'épaisseur des sédiments imperméables avoisine 5 m d'épaisseur.

Les sondages SP 3.4 et SP 3.1 révèlent une anomalie de perméabilité au contact du noyau de la digue sur le sol d'assise vers - 6 m liée à la présence d'une lentille de graves perméables déposée au-dessus d'une séquence limoneuse. Cette discontinuité des formations imperméables favorise probablement les fuites sous le noyau en l'absence d'écran étanche efficace.



◀ Figure 5 : Profil en profondeur des températures pour tous les sondages.

► Figure 6 : Coupe verticale en long de la digue



Ces essais de perméabilité paraissent cohérents avec les résultats de la campagne thermométrique.

Conclusion

L'auscultation thermométrique, complétée par les diagraphies de perméabilité au « Perméafor » et les sondages carottés permet de mieux cerner les défauts d'étanchéité affectant la digue du Rhin.

Les informations recueillies au cours de la campagne de détection de fuites ont permis d'affiner

les dimensions de la paroi d'étanchéité à construire au droit de l'appui envisagé sur des bases fiables. La longueur et la profondeur de l'écran étanche ont été respectivement réduites à 110 et 25 m, permettant ainsi une économie substantielle du projet.

La méthode d'investigation retenue associant des essais complémentaires apparaît bien adaptée au site.

Guy TREFFOT ■

NOTES COMPLÉMENTAIRES DE L'AUTEUR

L'auscultation des ouvrages d'étanchéité en terre par thermométrie n'a pas connu un développement important en France jusqu'à ce jour. Cela tient essentiellement au coût encore relativement élevé de la méthode lié aux difficultés de mise en oeuvre des tubages en alliages spéciaux - pour améliorer la conductivité thermique - dans les terrains compacts. En effet, les détériorations qui surviennent fréquemment lors du battage (des déviations ne sont pas à exclure compte tenu du faible diamètre des tubes utilisés) et de l'arrachement n'autorisent pas alors le réemploi des tubages. Par ailleurs, le procédé protégé par brevet en Allemagne n'est mis en oeuvre que par un nombre très restreint de sociétés.

rationes qui surviennent fréquemment lors du battage (des déviations ne sont pas à exclure compte tenu du faible diamètre des tubes utilisés) et de l'arrachement n'autorisent pas alors le réemploi des tubages. Par ailleurs, le procédé protégé par brevet en Allemagne n'est mis en oeuvre que par un nombre très restreint de sociétés.

ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

Armbruster, H.

Measurement of thermic fields for the control of dams (in german).

Symposium : Meßtechnik in Erd-und Grundbau der DGEG, Munich (1983).

Charles, J.A., Tedd, P. and Holton, I.R.

Internal erosion in clay cores of british dams. Research and Development in the field of Dams. Proceedings, Symposium held at Crans-Montana, Swiss National Committee on Large Dams, 59-70, (1995).

Dornstädter, J.

Sensitive Monitoring of Embankment Dams. Symposium on repair and up grading of dams, Stockholm (1996).

Günther, R., Kappelmeyer, O. and Kronberg, P.

Zur Prospektion auf geothermale Anomalien, Erfahrungen einer Modelluntersuchung in Polichnitos, Lesbos (Griechenland). Geologische Rundschau, 66, 1 10-33, Ferd. Enke Verlag, Stuttgart (1977).

Guy TREFFOT

Chantier Pont sur le Rhin
DDE du Bas Rhin
Tel : 03 90 40 27 90

Le Pont du Saguenay

Le Pont du Saguenay sur la RN106 dans le sud du département de la Lozère est un ouvrage modeste, réalisé dans un site difficile et escarpé. La DDE de la Lozère a souhaité le traiter dignement afin qu'au delà de sa simple fonction routière, il trouve place dans le site remarquable de la vallée de la Mimente aux portes du Parc National des Cévennes.

La route nationale 106 est un axe majeur pour le département de la Lozère, notamment sa partie Sud qui relie la préfecture Mende à Nîmes, via Florac et Alès.

Cet itinéraire traverse le massif montagneux des Cévennes, et au delà de ses fonctions de desserte locale importante, il connaît également une fréquentation touristique croissante, stimulée par sa situation dans le Parc National des Cévennes.

Conscients de ces enjeux, l'État et la Région Languedoc-Roussillon ont consenti un effort financier important pour l'aménagement de cet axe dont la chaussée très sinueuse et relativement étroite n'était plus conforme aux exigences de confort et de sécurité des transports modernes.

En dehors de la suppression de quelques "points noirs", l'aménagement de cet itinéraire devait être envisagé en sections suffisamment longues pour que la cohérence des caractéristiques routières soit lisible par l'utilisateur par rapport aux sections non aménagées.

C'est ainsi que dans le cadre du XI^{ème} contrat de plan Etat-Région, la RN106 a été aménagée entre Florac et le Col de Jalcreste sur un linéaire de 22 km.

Le nouveau pont du Saguenay, achevé en 1998, constitue l'avant dernière tranche de cette section. Il permet de franchir la rivière Mimente par une large courbe et par la même de supprimer

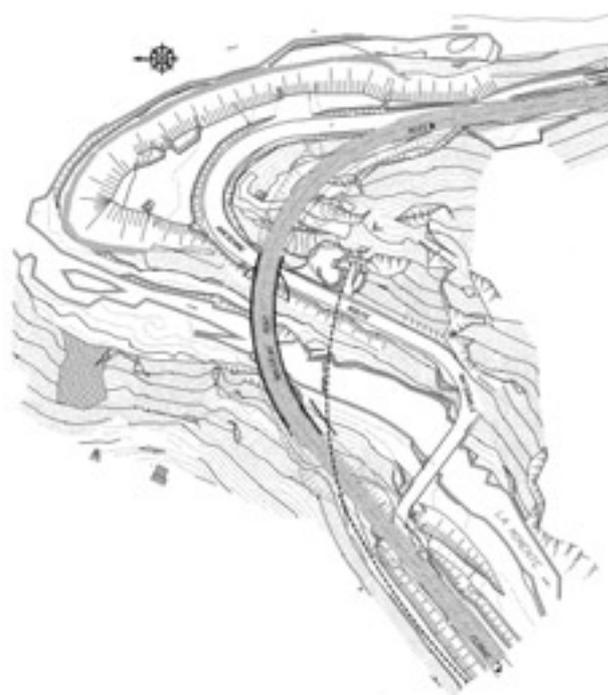


trois virages successifs très serrés qui constituaient un point particulièrement accidentogène de l'itinéraire (fig. 1).

Pour ce faire, l'ancien pont en maçonnerie du chemin de fer départemental, aujourd'hui désaffecté, a été démoli pour laisser place au nouveau pont routier.

Par contre le pont qui supportait jusqu'alors la route nationale, lui aussi en maçonnerie, sera conservé et intégré dans un projet de cheminement piétonnier qui longera la rivière et empruntera l'ancienne voie du chemin de fer. Ce projet est en cours d'étude en concertation avec le Parc National des Cévennes et la commune de la Salle Prunet sur laquelle est situé l'ouvrage.

On peut remarquer sur les photographies du site que les garde-corps en ferronnerie de l'ancien pont avaient du être remplacés par des glissières



◀ Figure 1 :
Vue en plan.



provisoires en béton en raison d'accidents survenus dans le passé.

Lorsque l'ancien ouvrage sera rendu aux promeneurs, des garde-corps du même style que ceux d'origine seront mis en place.

Le site du pont est significatif de l'ensemble de la vallée de la Mimente. Inscrite dans le parc des Cévennes, cette vallée en V, aux pentes raides est couverte d'une végétation buissonnante.

Par endroits, la roche affleure et chaque fois que l'homme a voulu s'installer dans ces pentes, il lui a été nécessaire de constituer des terrasses grâce à des murets de pierre.

On retrouve cette pierre pour la construction des rares maisons et on la rencontre également pour tous les ouvrages d'art anciens qui ont été nécessaires à la réalisation de la route et de la voie ferrée : ponts, viaducs et murs de soutènement.

Au-delà de son insertion dans l'ensemble de la vallée, le nouvel ouvrage prendra en compte la proximité de l'ancien pont en arc de pierres de grande qualité qui sera conservé après son déclassement pour le rendre aux promeneurs. Les contraintes du tracé sur cette brèche hydraulique relativement large excluent tout pastiche d'architecture ancienne d'ouvrages en maçonnerie ; par contre, elles

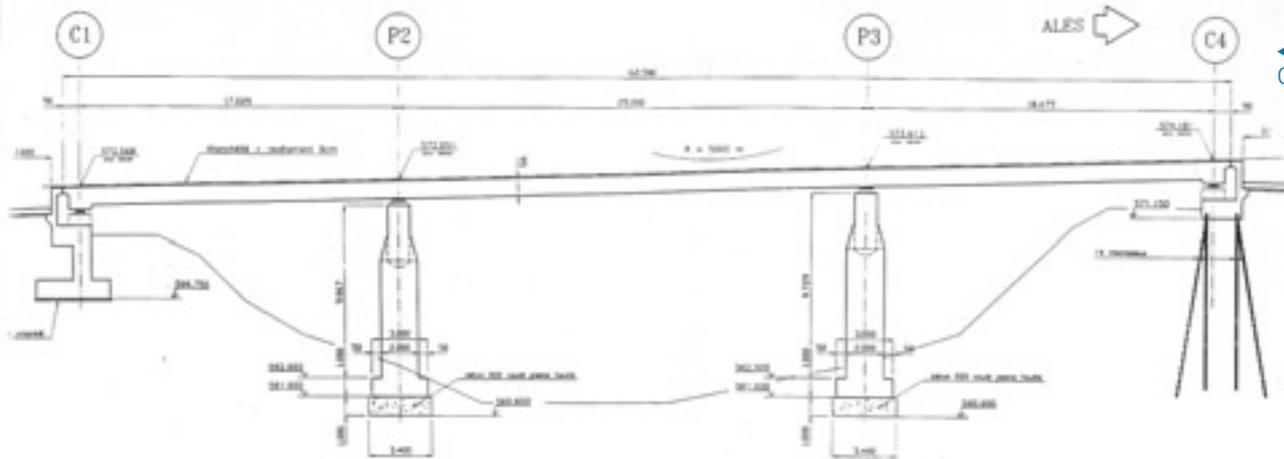
n'interdisent pas une certaine référence dans l'écriture de détail de l'ouvrage : c'est ce que nous avons voulu réaliser dans le dessin de cet ouvrage en béton.

Conception générale de l'ouvrage et difficultés de réalisation

La largeur de la brèche, somme toute assez modeste, n'a pas nécessité la réalisation d'un ouvrage « exceptionnel », un classique ouvrage à trois travées en béton précontraint a été retenu, c'est avant tout l'exiguïté du site et la géologie délicate qui a rendu difficile le chantier.

Le tracé en plan de la nouvelle voie vient entailler le talus abrupt de la rive droite, de façon parallèle et en profil mixte (déblai-remblai), laissant un certain degré de liberté pour l'implantation de





◀ Figure 2 :
Coupe longitudinale.

l'appui d'extrémité sur cette rive, dont la conception s'avérait délicate.

Diverses possibilités ont été examinées, qui conduisaient à des conceptions d'ouvrages assez différentes :

- Ouvrage court à deux travées dissymétriques prolongé par de grands murs en rive droite
- Ouvrage court prolongé par une estacade en béton en rive droite
- Ouvrage plus long à trois travées, dont l'appui en rive droite vient s'encaster dans le talus pour libérer l'espace d'une troisième travée.

Cette dernière solution a été retenue, car cet ouvrage à trois travées est bien équilibré (fig. 2). Un rayon unique en plan de 80 m se développe sur un profil en long tendu. Un dévers transversal prononcé renforce la courbure du tablier. Ses proportions géométriques sont claires, sans défauts techniques liés à des contraintes de travées.

La culée rive gauche vient se poser en tête de talus, en surplomb d'un muret de schiste existant et passe inaperçue. Sa réalisation n'a toutefois pas été sans poser quelque difficulté. Le béton de substitution sur lequel devait reposer la semelle a du être remplacé par des micropieux : ceci a permis de limiter l'emprise des fouilles pour ne pas risquer de déstabiliser la RN106 en amont et le muret de pierres en surplomb de la rivière côté aval.

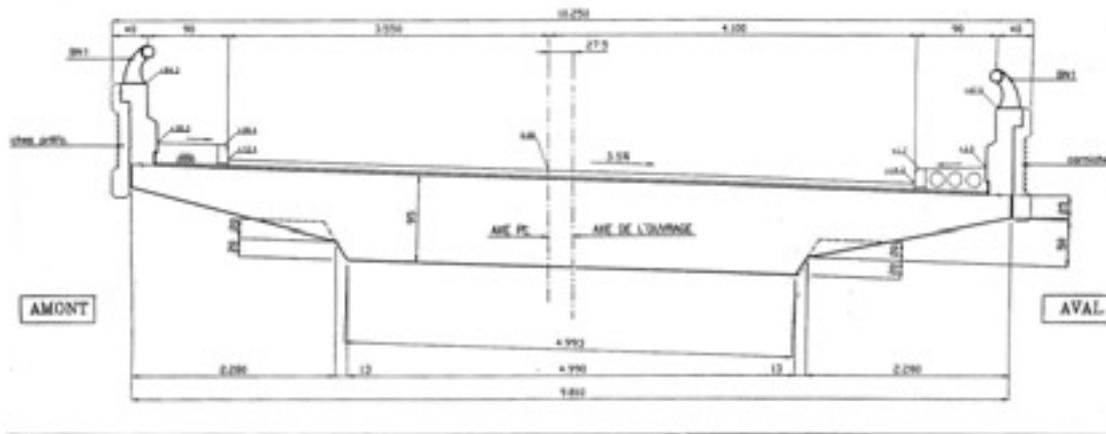
Le traitement de la culée rive droite qui vient s'encaster dans le talus rocheux a fait l'objet d'une attention particulière. Celle-ci construite à flanc d'un talus instable et coupé de schiste de caractéristique hétérogène a nécessité la réalisation d'un terrassement à l'explosif délicat visant à créer des redans dans le massif. Les fissures et

pendages anarchiques, si caractéristiques des « schistes des Cévennes », ont nécessité une implantation rigoureuse et très précise des plans de tir, le travail étant rendu plus délicat encore par l'interdiction d'agir dans le lit de la rivière Mimente aux caractéristiques halieutiques exceptionnelles. Le raccordement de l'ouvrage à l'actuelle route nationale selon un profil mixte déblai - remblai a nécessité la réalisation d'une paroi clouée côté talus et le blocage du remblai à l'aide d'enrochements sélectionnés, côté rivière. La paroi clouée a été revêtue d'une maçonnerie de schiste, à l'identique des murs de soutènement existants à proximité, rendant parfaitement invisible celle-ci.

Le choix de piles cylindriques résulte principalement des contraintes hydrauliques, pour ne pas présenter de surfaces biaisées à l'écoulement des eaux qui auraient favorisé l'érosion des berges. Ce volume simple a été animé par un calepinage horizontal qui rappelle le lignage des pierres de



► Figure 3 : Coupe transversale du tablier.



maçonnerie. Un chevêtre en V en béton boucharde prolongeant les fûts permet de dégager une largeur suffisante pour loger deux appareils d'appuis rayonnants.

Un cône préfabriqué termine proprement la liaison fût/chevêtre.

Le tablier est une dalle nervurée en béton précontraint, mise à l'ombre par deux grands encorbellements. Un motif en creux qui rappelle en négatif l'ornement en tête de maçonnerie du vieux pont anime et rythme la sous-face (fig. 3). Les piles ont été fondées dans le schiste sain qu'il a fallu traiter à l'explosif, avec utilisation de la technique dite des tirs en cratères afin de réaliser la zone d'encastrement des semelles.

Les échafaudages porteurs pour la réalisation des tabliers de pont dalle, classiques n'ont pu être utilisés dans ce site car l'étalement provisoire devait permettre le libre écoulement de la rivière. La solution cintre a donc été adoptée avec utilisation de poutres treillis de type H33, ces dernières transmettant l'ensemble des charges au droit des piles à l'aide de tours métalliques reposant au sol et brêlées au fût de chaque pile. Les travées de rives ont été quant à elles étayées à l'aide de profils métalliques plus classiques. Compte tenu du faible rayon en plan et du dévers important qui en découle, le réglage altimétrique de ce véritable ouvrage provisoire s'est avéré extrêmement délicat. Une fois ce travail réalisé, le coulage du tablier s'est déroulé de façon classique et sans difficulté particulière.

Au niveau des équipements, la très forte présence, dans le département de la Lozère, de murets de pierre le long des routes en guise de glissière ou de protection a orienté le choix vers un dispositif de retenue fermé (de type BN1)

plutôt que d'avoir une barrière classique métallique à connotation autoroutière.

La face extérieure de cette barrière est architecturée ; on joue sur le contraste de parties lisses qui restent claires et de parties matricées qui deviennent plus sombres sous une même lumière.

Chaque extrémité de l'ouvrage est terminée par une pièce spéciale qui assure la transition avec les glissières de sécurité.

La partie haute de la barrière est métallique et reprend la teinte mise en place sur les glissières présentes dans le parc des Cévennes.

Seul élément coloré de cet ouvrage, cette ligne nerveuse souligne ce nouveau pont sur la Mimente.

Bien qu'étant un ouvrage modeste, celui-ci a nécessité une réflexion approfondie au niveau des méthodes de construction et des moyens à employer en raison d'un environnement difficile et d'une grande qualité paysagère.

La conception d'ensemble et de détails de cet ouvrage a été menée en concertation étroite avec les responsables du Parc National des Cévennes, évidemment très attentifs à l'environnement dans un site aussi remarquable.

L'ouvrage a été baptisé "Pont du Saguenay" en hommage au parc naturel du même nom situé au Canada, dont la ville L'Ange Saint Jean est jumelée avec Florac, centre administratif du Parc National des Cévennes et sous préfecture du département de la Lozère.

Jacques BRAJON ■

Le pont de la Boucle à l'île de la Réunion

Cilaos, implantée au milieu du cirque montagneux qui porte son nom, est une station thermique et touristique très pittoresque de l'île de la Réunion. Encadrée par les plus hauts sommets de l'île (le Piton des Neiges culminant à 3069 m), cette petite ville est reliée à la côte par la RN 5, route de montagne très escarpée, dite route aux 300 virages, aux caractéristiques alpines : tracé sinueux aux nombreuses épingles, voie étroite qui a été modelée à la dynamite, forts escarpements et surplombs rocheux.

La légende raconte que la voie, terrassée à la dynamite et insérée entre ravins et falaises, fut construite en démarrant les travaux à partir de chacune de ses extrémités. Au site de la rencontre des deux fronts d'avancement, une dénivellée trop importante (erreur des topographes de l'époque ?), empêchait le raccordement des deux tronçons. La solution vint d'un ingénieur qui imagina de créer une boucle, avec passage « dessous puis dessus » pour développer suffisamment le tracé afin d'offrir une pente acceptable.

Depuis quelques années, des travaux d'amélioration de l'itinéraire et de sécurisation ont été entrepris, afin de favoriser l'accès touristique à cette station d'altitude. Parmi ces opérations d'investissement, figure l'aménagement du pont de la Boucle, comprenant la reconstruction de l'ouvrage d'art et la rectification du tracé routier.

1. Aménagement de la section « pont de la Boucle »

L'amélioration du tracé de la route nationale au lieu dit pont de la Boucle comprenait :

- la reconstruction totale de l'ouvrage en aval de l'existant,
- la rectification du tracé aux abords de l'ouvrage, tout en conservant le principe de boucle,
- la démolition de l'ouvrage existant.

2. Problématique

Le pont d'origine, constitué d'un platelage en bois fixé sur une structure métallique était devenu obsolète de par ses faibles caractéristiques géométriques et le faible tonnage acceptable (12 t maxi).

La largeur de chaussée de 2,60 m n'autorisait pas le croisement des véhicules ; aucun trottoir sur l'ouvrage ne mettait les piétons en sécurité.

Par ailleurs, les rayons très faibles du tracé en plan de la boucle nécessitaient des manoeuvres des véhicules longs, alors qu'une forte croissance du trafic autocars et bus voit le jour.

3. Objectifs

Les objectifs de cet aménagement étaient donc triples :

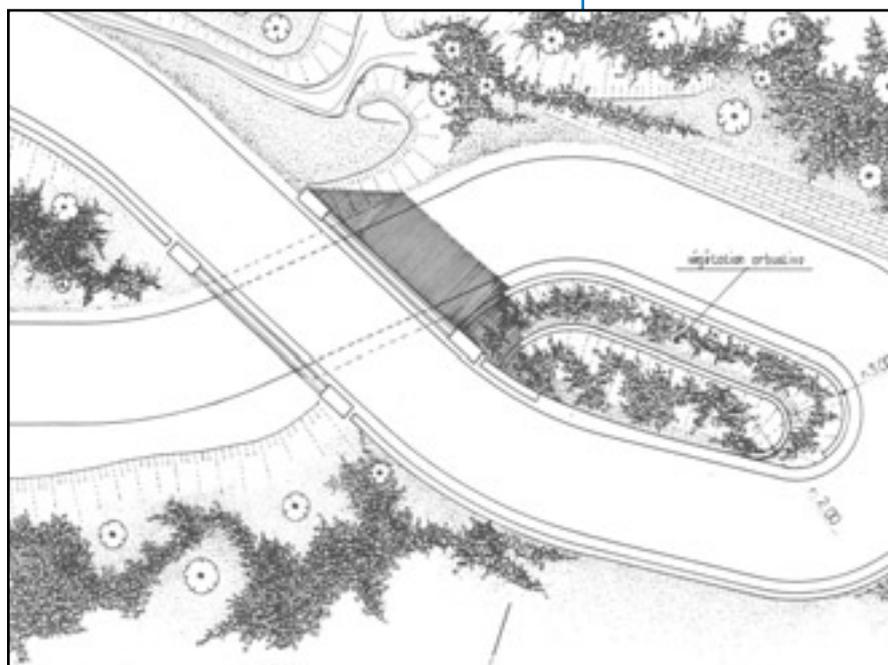
- augmenter la largeur de la chaussée pour permettre le croisement des véhicules,
- mettre en œuvre des trottoirs pour les piétons,
- améliorer le tracé en plan pour permettre une giration normale pour tout type de véhicule. (fig. 1)

Par ailleurs, il a été choisi :

1. De rechercher une bonne intégration de l'ouvrage dans ce site grandiose de la montagne réunionnaise. (photo 1)
2. D'utiliser et de valoriser les matériaux locaux (recherche de l'esthétique et optimisation des acheminements sur le site).

Les bétons utilisés pour les appuis (B25) et pour le tablier (B30) ont en effet été élaborés avec du CPJ 42,5 (deux fournisseurs sur l'île, dont un qui importe le clinker) et des granu-

▼ Figure 1 : Vue en plan.



► Photos 1 et 2



lats basaltiques (quatre composants dont deux sables pour une bonne granulométrie). Ces granulats présentait la particularité d'être très hydrophiles, du fait de la microporosité du basalte. Le béton de l'ouvrage a été fabriqué dans une centrale de BPE distante de 25 km du site.

3. De valoriser également la main d'œuvre locale et sa technicité en matière de maçonnerie de galets éclatés en basalte.

La main d'œuvre employée pour réaliser la maçonnerie des appuis (1910 m³) a été très locale (Cilaos) ; en effet les ouvriers de la région sont réputés pour leur savoir faire et la qualité de leur travail. La maçonnerie de moellons de basalte est très utilisée, depuis fort longtemps, pour les ouvrages d'art, les ouvrages industriels de l'époque (usines à sucre) mais aussi pour les particuliers : murs de soutènement, murs de clôtures, parties « en dur » des habitations créoles traditionnelles... La « casse » des moellons nécessite également un « coup de main » particulier, un « œil » pour voir la veine qui permettra d'obtenir des fractures franches, et surtout une bonne condition physique ! Les parements sont dressés à l'aide de guides constitués de ficelles et de planches (comme des « chaises » pour terras-

sement). Les joints sont effectués à la main. (photo 2)

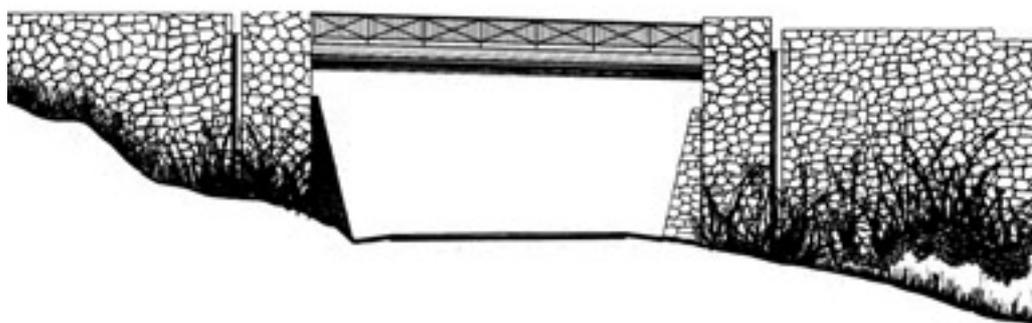
4. Parti retenu

La reconstruction de l'ouvrage a été entreprise en veillant à rappeler le caractère de l'ancien pont et en utilisant les matériaux locaux pour privilégier l'insertion dans le site. Ainsi, bien qu'il s'agisse d'un ouvrage type PSI-DA, le traitement d'ensemble a permis d'obtenir un résultat remarquable : la finesse du tablier, équipé de garde corps rappelant le barraudage ancien, est soulignée par des corniches rondes (fig. 2). Le traitement en maçonneries de basalte éclaté des ouvrages de soutènement d'accès se marie avec les espaces minéraux de la vallée. Les talus végétalisés à l'aide d'essences locales finalisent l'insertion de l'ouvrage dans le site.

L'étude architecturale de l'ouvrage a été confiée à l'architecte Charles LAVIGNE.

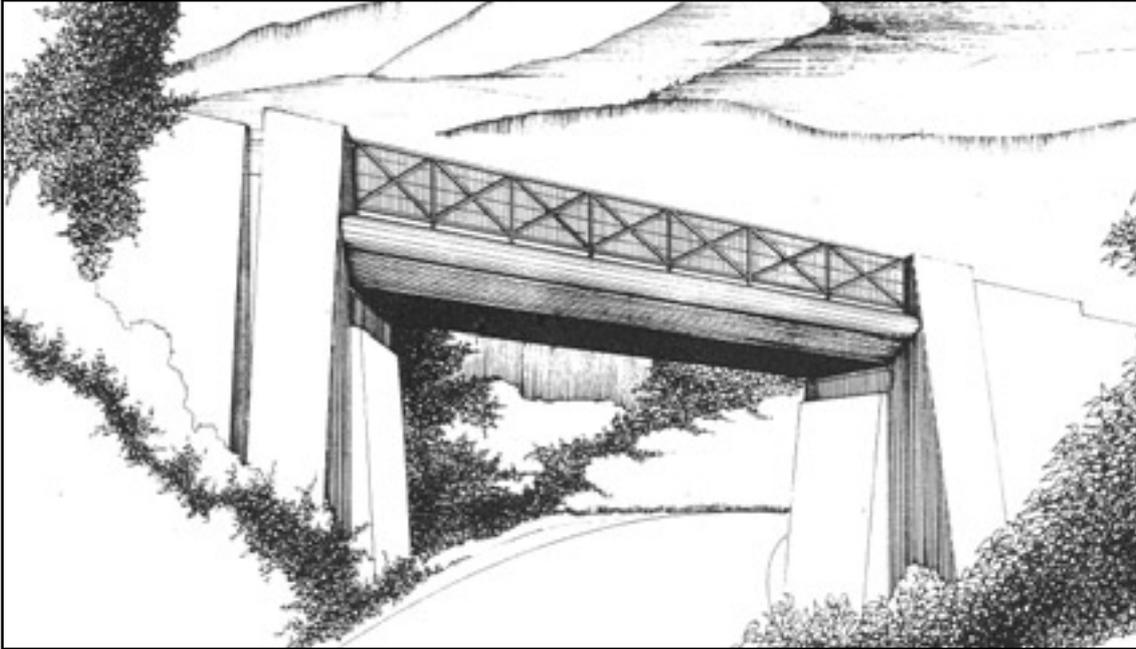
Les caractéristiques géométriques, la nature des sols et la topographie nous ont aiguillé vers un ouvrage type PSI-DA du SETRA : le biais de 73 grades, la portée de 12 mètres, une largeur hors tout d'environ 8 mètres et la finesse de tablier recherchée nous ont fait choisir un pont dalle en béton armé (fig. 3).

▼ Figure 2 : Elévation.



Le profil en travers de l'ouvrage est constitué :

- d'une chaussée de 6 m,
- de deux trottoirs de 0,70 m,
- de garde corps à barraudage métallique architecturé rappelant l'esthétique de l'ancien ouvrage,



◀ Figure 3 : Perspective.

- d'une dalle à petits encorbellements, prolongés par des corniches préfabriquées de forme circulaire.

Les culées massives sont en maçonnerie de basalte, surmontées d'un chevêtre en béton armé et fondées superficiellement.

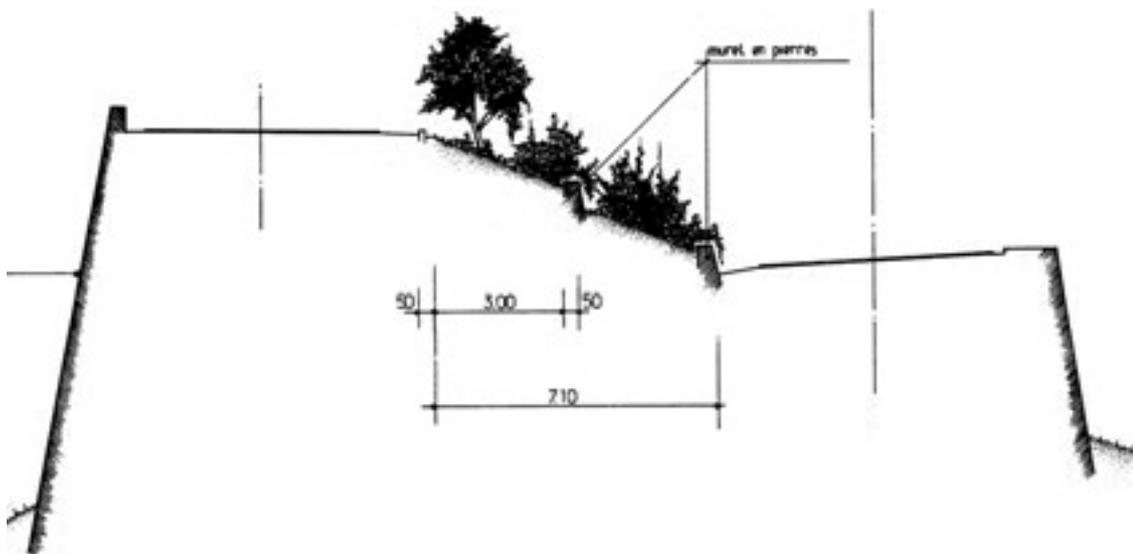
De par l'exiguïté et l'escarpement du site, les accès à l'ouvrage devaient être réalisés avec soutènements : ces ouvrages sont de type poids à redans côté terre, en maçonnerie de moellons de basalte également (fig. 4). Certains talus ont toutefois été maintenus mais ils ont été interrompus par des murets maçonnés. Une végétalisation d'arbustes et d'arbrisseaux a été réalisée, avec des essences locales.

5. Conclusion

L'ouvrage du Pont de la Boucle, ouvrage certes courant, frappe les esprits des usagers qui l'empruntent, essentiellement par l'originalité du tracé routier et par le passage « dessous puis dessus », ce qui permet de l'apprécier dans sa globalité.

Le traitement architectural relativement simple mais pertinent a permis une très bonne insertion de l'ouvrage dans le site montagneux et spectaculaire, par l'emploi de matériaux locaux en harmonie avec les zones minérales rencontrées le long de l'itinéraire. Le rappel des silhouettes et techniques d'ouvrages anciens participe aussi à la perception favorable de cet aménagement routier.

Marc TRIVERO ■



◀ Figure 4 : Coupe de principe des soutènements.

Marc TRIVERO
SGT - CDOA
DDE de La Réunion
Tel : 0 262 40 29 70

IQOA Murs, le calendrier de l'opération

De façon similaire à l'opération menée dès 1994 sur les ponts, la Direction des Routes a décidé d'évaluer le patrimoine des murs de soutènement.

Cette opération fait naturellement suite à celle menée en 1999, concernant le recensement du patrimoine. (voir article de Nathalie Odent).

■ L'organisation en listes

Pour l'opération d'évaluation, les ouvrages ont été répartis en deux groupes : type I et type II. En type I, on trouve les ouvrages dont l'examen de la partie apparente de la structure permet d'établir la cotation de l'ouvrage. On y retrouve les murs poids en béton, les murs encastrés sur semelle, les murs en maçonnerie (jointoyée ou non), les gabions, et les murs composés d'éléments cellulaires.

En type II sont regroupées toutes les autres structures dont la tenue est conditionnée par l'état d'un élément invisible, comme par exemple, les tirants, les armatures de murs en terre armée, les nappes géosynthétiques...

Une méthodologie d'inspection est en cours d'établissement pour ce qui concerne les ouvrages de type II, dont les opérations d'évaluation seront vraisemblablement confiées aux laboratoires spécialisés.

■ La commande de la Direction des Routes

Les ouvrages de type I vont être évalués par les services en DDE, de façon similaire à l'opération IQOA menée sur les ponts. Une première campagne se déroulera sur un tiers du patrimoine de novembre 2000 à juin 2001. Puis, le mécanisme sera reconduit d'année en année, en évaluant à chaque fois le tiers du patrimoine.

Préalablement à l'évaluation proprement dite, des actions de formation concernant les CDOA, puis les subdivisions seront réalisées en septembre et octobre prochains. Elles s'appuieront sur des outils pédagogiques élaborés à cet effet, connus sous le nom de « valise de formation ». La formation sera, comme pour les ponts, organisée à deux niveaux, les DOA de CETE formant les CDOA, puis les CDOA démultipliant les actions auprès des correspondants en subdivisions.

■ Les logiciels

Le produit informatique utilisé pour la saisie et le traitement des informations concernant l'état des murs sera le logiciel Lagora Version 2. La version 1 de ce nouveau produit informatique de gestion des ouvrages d'art, Lagora V1, verra le jour au milieu de l'année 2001 ; sa version V2, attendue un an plus tard, servira alors au traitement des informations accumulées au cours des deux premières campagnes d'évaluation des murs (2000-2001 et 2001-2002) ; ce nouveau logiciel récupérera bien sûr les données accumulées dans Muriel. Lagora V2 est d'ores et déjà en phase d'établissement des spécifications.

■ Les difficultés de réalisation

La Direction des Routes a déjà eu l'occasion d'attirer l'attention des services sur la nécessité d'évaluer avec justesse les difficultés, y compris financières, liées à la visite de ces ouvrages : accessibilité parfois difficile, dévégétalisation préalable nécessaire pour pouvoir estimer convenablement l'état du mur. Les remontées d'information concernant ces deux points sont donc précieuses et attendues.

Concourant de façon significative à la bonne connaissance de nos ouvrages, IQOA Murs constitue un outil pour le maître d'ouvrage qui doit permettre de prendre conscience des enjeux importants associés au maintien en état d'un patrimoine exceptionnel.

Gageons qu'à l'instar d'IQOA Ponts, il permette la mobilisation tant des acteurs locaux que des décideurs.

Gérard DELFOSSE ■

Gérard DELFOSSE

Responsable de l'arrondissement gestion du patrimoine et appui à la maîtrise d'œuvre SETRA/CTOA/DML

Recensement des ouvrages de soutènement en bordure du réseau routier national

En 1998, la Direction des Routes a lancé une opération de recensement des ouvrages de soutènement en bordure du réseau routier national. Aujourd'hui, les résultats quasi exhaustifs, envoyés par les DDE, fournissent une image du patrimoine.

Reste à déterminer l'état de ce patrimoine. Pour cela, des méthodes d'évaluation sont en cours de mise au point par le Réseau Technique du Ministère. Deux catégories de murs se dégagent :

- **Groupe I** : Ceux dont la structure porteuse hors fondations est apparente : ils seront soumis à la méthodologie IQOA, déjà élaborée il y a six ans pour les ponts et en cours d'adaptation pour les ouvrages de soutènement. Ces ouvrages représentent près de 90% du patrimoine en effectif et 80% en surface ;
- **Groupe II** : Ceux dont une part non négligeable de la structure est enterrée - armatures, tirants, clous, nappes géosynthétiques... : ils feront systématiquement l'objet d'inspections détaillées et d'investigations complémentaires, pour évaluer et pouvoir entretenir de manière préventive l'état des parties de structure non apparentes, importantes pour la tenue du soutènement. Pour eux, la méthodologie IQOA habituelle ne peut guère s'appliquer, car l'état des parties apparentes risque d'être peu représentatif de l'état global du soutènement.

Examinons les résultats du recensement pour chacun de ces groupes de murs.

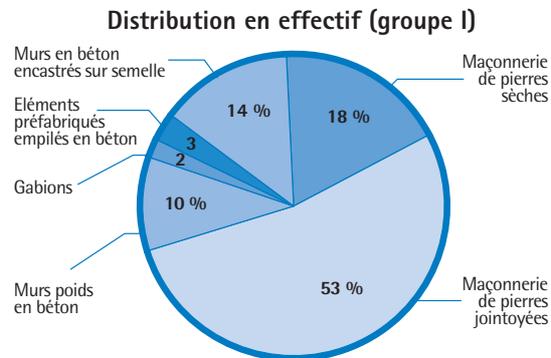
Type de soutènement

Type I :

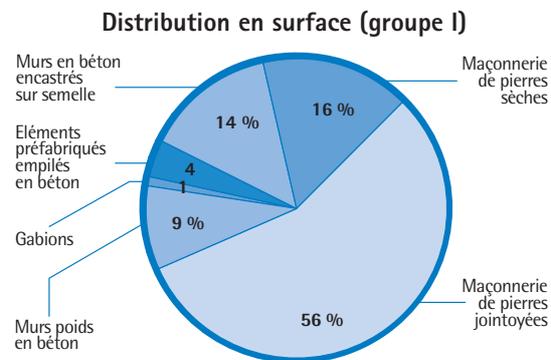
Une nette majorité de murs poids en maçonnerie ou en béton. (graphiques 1 et 2).

Type II :

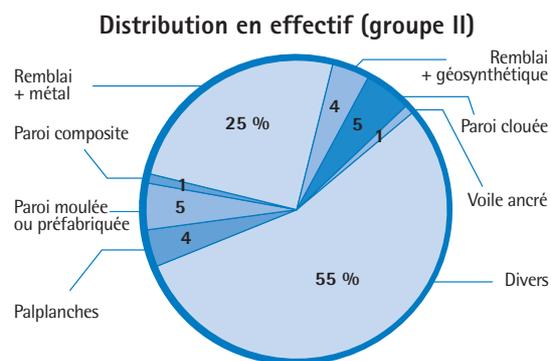
Une nette majorité de murs de type divers ou inconnu ; viennent ensuite les remblais renforcés par éléments métalliques.. (graphiques 3 et 4). Les ouvrages divers recouvrent des procédés très particuliers ne rentrant pas dans les autres types, des ouvrages réparés avec des techniques modifiant leur fonctionnement ou des ouvrages recouverts d'un habillage qui cache leur structure.



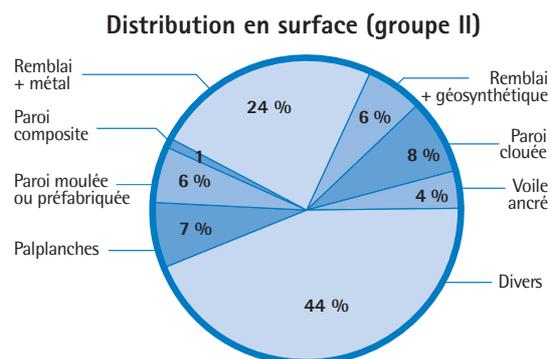
◀ Graphique 1



◀ Graphique 2



◀ Graphique 3



◀ Graphique 4

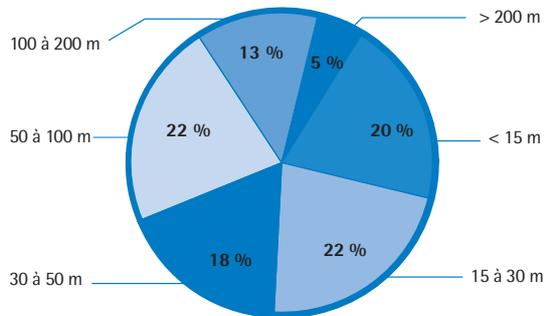
Dimensions des soutènements

■ Longueur unitaire :

Les murs du groupe II sont en moyenne plus longs que les autres, puisque la moitié dépasse 50 m, contre seulement 40% des murs du groupe I.

Groupe I

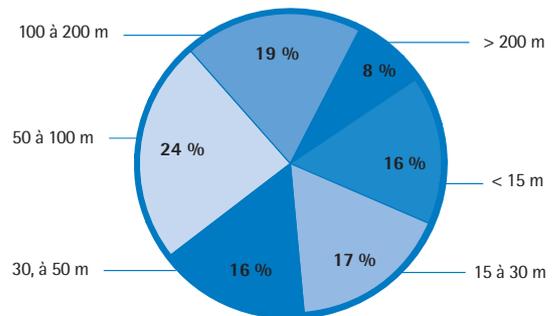
Distribution en effectif par tranche de longueur



médiane	37 m
min	quelques mètres
max	2,5 km
cas extrêmes	85 murs avec L > 500 m
moyenne	64 m

Groupe II

Distribution en effectif par tranche de longueur

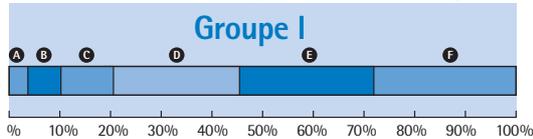


médiane	50 m
min	quelques mètres
max	4,5 km
cas extrêmes	23 murs avec L > 500 m
moyenne	87 m

NB : Très peu de murs dépassant 500 m de longueur, la classe 100A d'un mur sera unique sur toute sa longueur. Toutefois, si un ouvrage long montre des zones d'états très hétérogènes, son découpage en autant de murs d'état homogène pourra s'avérer judicieux.

■ Longueur cumulée par département :

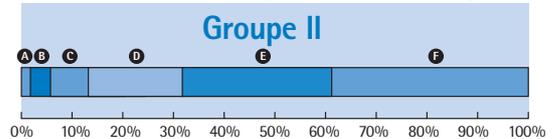
Distribution nationale par tranche de longueur



A	< 15 m	C	30 à 50 m	E	100 à 200 m
B	15 à 30 m	D	50 à 100 m	F	> 200 m

médiane	2,6 km
min	50 m
max	91 km
cas extrêmes	6 départements avec L > 30 km
total national	750 km

Distribution nationale par tranche de longueur



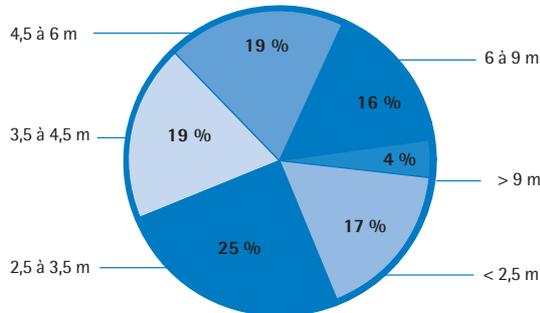
A	< 15 m	C	30 à 50 m	E	100 à 200 m
B	15 à 30 m	D	50 à 100 m	F	> 200 m

médiane	700 m
min	17 m
max	26 km
cas extrêmes	3 départements avec L > 10 km
total national	150 km

■ Hauteur de soutènement :

Distribution en effectif par tranche de hauteur

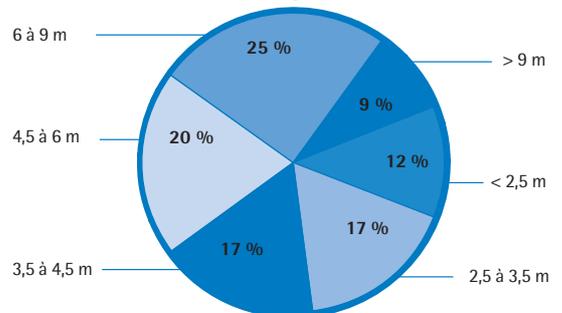
Groupe I



médiane nationale	3,9 m
moyenne nationale	4,4 m
max moyenne/département	6,7 m
min moyenne/département	2,1 m
cas extrêmes	45 soutènements avec h > 15 m

Distribution en effectif par tranche de hauteur

Groupe II

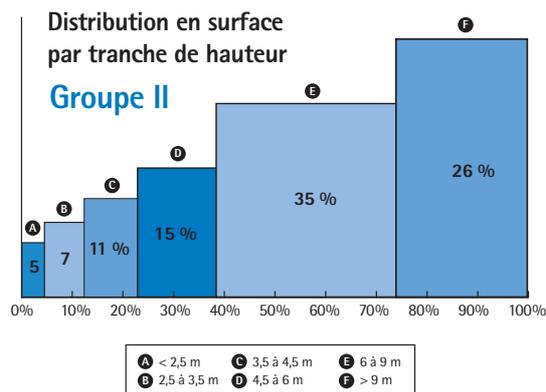
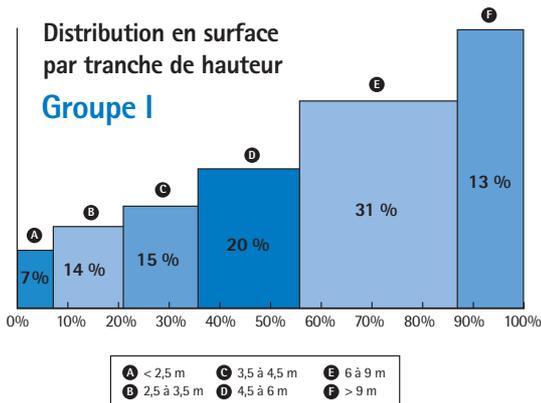


médiane nationale	4,7 m
moyenne nationale	5,2 m
max moyenne/département	12 m
min moyenne/département	2 m
cas extrêmes	16 soutènements avec h > 15 m

► Graphiques 5 et 6

► Graphiques 7 et 8

► Graphiques 9 et 10



Graphiques 11 et 12

Les murs dits non courants, c'est-à-dire dépassant 9 m de hauteur, représentent 13% de la surface des murs du groupe I et le quart de la surface des murs du groupe II.

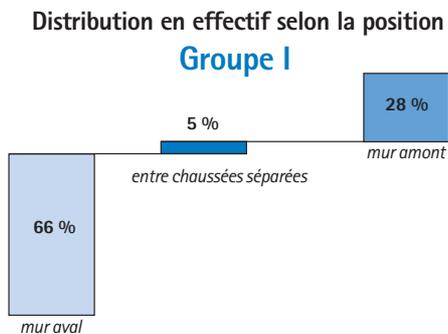
Position par rapport à la route nationale

Définitions :

- **mur aval** : mur qui soutient la RN
- **mur amont** : mur qui protège la RN
- **entre chaussées séparées** : mur situé entre les deux chaussées dénivellées de la RN

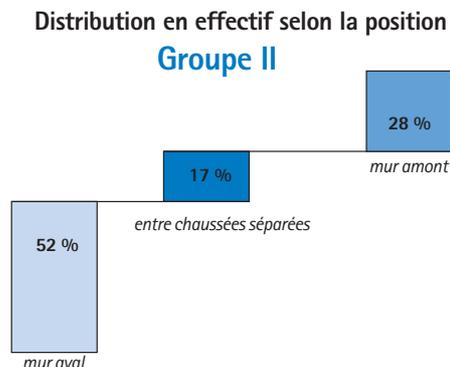
Groupe I

Deux tiers des murs en effectif et en surface soutiennent la RN.



Groupe II

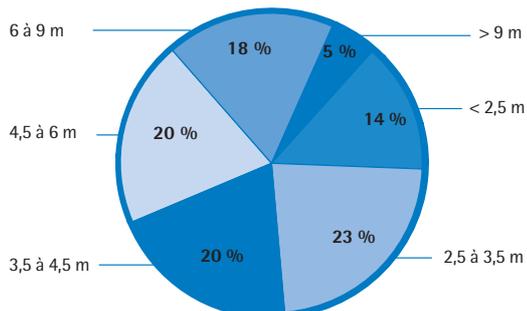
La moitié des murs en effectif et en surface soutient la RN.



Graphiques 13 et 14

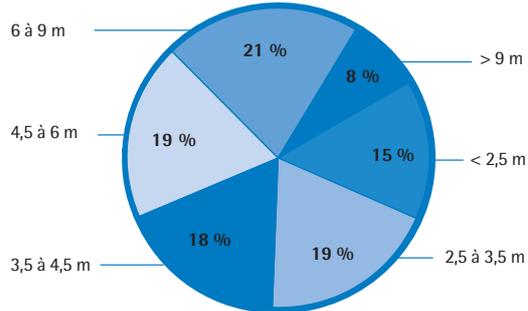
Distribution des murs aval selon la hauteur

Groupe I



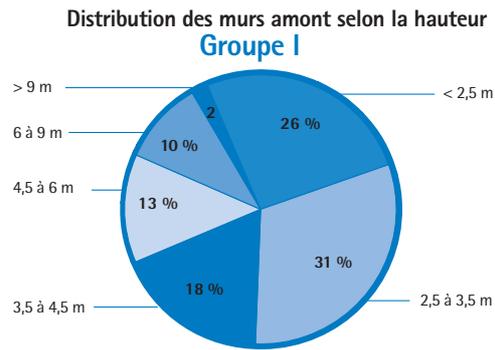
Distribution des murs aval selon la hauteur

Groupe II

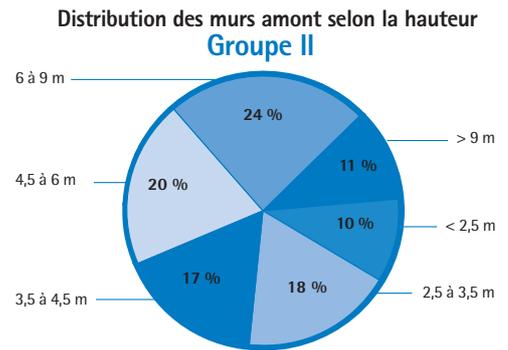


Graphiques 15 et 16

► Graphiques 17 et 18



Les murs amont sont globalement moins hauts que les murs aval.



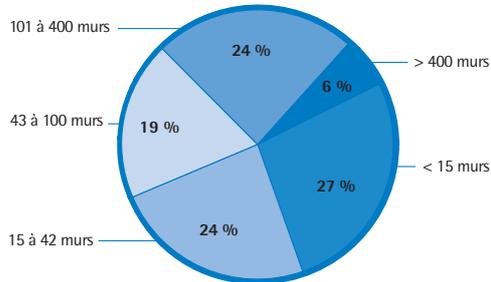
Au contraire, pour les soutènements du groupe II, les murs amont sont globalement plus hauts que les murs aval.

Effectif par département

Groupe I

Forte disparité entre départements, liée à la disparité en relief : les deux tiers des murs sont concentrés dans le quart Sud-Est de la France (régions Rhône-Alpes, PACA, Languedoc-Roussillon).

Pourcentage de départements par tranche d'effectif

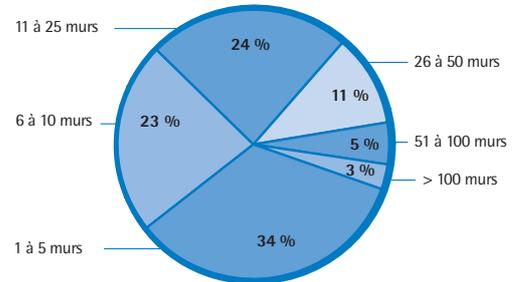


médiane	42 murs
min	2 murs
max	1 300 murs
cas extrêmes	4 départements avec > 900 murs
total national	11 716 m
surface totale	2 567 000 m ²

Groupe II

Forte disparité entre départements, liée au relief et à l'urbanisation : le département des Alpes-Maritimes concentre près du quart des murs du groupe II, la Petite Couronne en région parisienne en cumule 12%, la Savoie et la Haute-Savoie ensemble près de 10% et le département du Nord à lui seul 4%.

Pourcentage de départements par tranche d'effectif



médiane	8 murs
min	1 mur
max	394 murs
cas extrêmes	2 départements avec > 100 murs
total national	1 714 m
surface totale	627 000 m ²

► Graphiques 19 et 20

Type de surveillance

Groupe I

Ces murs seront donc soumis à des visites IQOA réalisées par des agents formés en subdivision territoriale, sous le pilotage des CDOA en DDE. Conformément à l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art, chaque ouvrage fera l'objet d'une visite et d'une évaluation IQOA au moins une fois tous les trois ans.

Groupe II

Ces murs feront l'objet d'inspections détaillées avec une fréquence générale de six ans, sans visite IQOA intermédiaire. Pour détecter l'état des parties structurelles enterrées, ils seront également soumis à des investigations complémentaires et à l'analyse des facteurs de risques environnants, afin d'établir des diagnostics fiables. Ceux-ci permettront également d'attribuer à ces soutènements une cotation IQOA représentative de leur état.

Nathalie ODENT ■

Nathalie ODENT

ITPE – DML
SETRA – CTOA
Tel : 01 46 11 35 99

Une nouvelle réaction de gonflement interne des bétons : la réaction sulfatique

Une nouvelle pathologie vient de faire son apparition sur quelques ouvrages d'art, essentiellement dans des pièces massives de ponts en béton coulées en place : il s'agit d'une réaction de gonflement interne du béton dont l'origine est une réaction sulfatique. Les symptômes couramment observés sur les ouvrages sont proches de ceux souvent constatés sous l'effet de l'alcali-réaction, à savoir une fissuration multidirectionnelle à maille relativement large (30 à 40 cm), cette fissuration étant parfois accompagnée d'un bombement de la surface, les fissures observées au bout de quelques années peuvent atteindre une ouverture millimétrique. Le manuel référencé en [1] présente une illustration de ces désordres.

A la différence des réactions sulfatiques plus classiques où les sulfates agressent le béton depuis l'extérieur en provoquant une dégradation progressive du béton de la surface vers le cœur de la pièce (cette dégradation aboutissant souvent à un « pourrissement » du matériau), la réaction sulfatique interne affecte l'ensemble de la pièce, sans faire appel à une source extérieure de sulfate, et provoque un gonflement du matériau qui engendre à son tour une fissuration de la structure qui est nettement plus développée à la surface qu'au cœur. Le moteur de cette réaction est la formation d'ettringite⁽¹⁾, un minéral dont la création au sein du béton s'accompagne d'un gonflement significatif.

Ce type de réaction avait déjà été observé dans des bétons victimes d'alcali-réaction, il y a environ une dizaine d'années ; à cette époque, l'origine de la réaction sulfatique qui était donc concomitante à une alcali-réaction avait été attribuée à la présence de pyrites mal cristallisées dans certains granulats calcaires, ces pyrites (sulfures de fer) étant susceptibles de s'oxyder au sein d'un béton possédant un pH très élevé, de former ainsi des sulfates, ces sulfates réagissant alors avec les aluminates de la pâte de ciment pour former de l'ettringite.

Mais, le nouveau type de réaction sulfatique observé récemment dans une dizaine de structures a une autre origine et peut s'expliquer par une formation différée d'ettringite. Ce type de

réaction a parfois été observé lors de la préfabrication d'éléments en béton, lorsque celle-ci était accompagnée d'un étuvage.

Normalement, l'ettringite est un minéral qui se forme au moment de la prise du béton (on parle alors d'ettringite primaire), et celle-ci ne crée pas de pathologie car sa formation se fait à un moment où le béton a encore une certaine viscosité. Par contre, lorsque l'ettringite se forme ultérieurement (on parle alors d'ettringite secondaire) son expansion se produit au sein d'un matériau organisé et mécaniquement rigide, et les forces d'expansion sont telles que le béton se fissure en traction.

Dans l'état actuel des connaissances sur cette nouvelle réaction sulfatique, deux causes peuvent être avancées pour expliquer la formation d'ettringite différée :

- soit l'ettringite primaire n'a pas pu se former au moment de la prise (essentiellement parce qu'une température élevée a été atteinte lors de la prise), et des sulfates peuvent se trouver à l'état « libre » ; ceux-ci sont alors susceptibles d'être remobilisés pour former de l'ettringite secondaire ;
- soit l'ettringite primaire a pu se former, mais les conditions de température élevée ont provoqué sa dissolution partielle, ce qui conduit également à un apport en sulfates « libres » dans la solution interstitielle du béton.

La cinétique d'évolution de cette réaction n'est pas bien connue et dépend a priori de plusieurs paramètres. Par ailleurs, il n'existe pas de méthodes de traitement des ouvrages malades, car tous les ingrédients de la réaction se trouvent déjà dans les constituants mêmes du matériau, et plus précisément, dans la pâte de ciment durcie. Le seul moyen d'action consiste alors à limiter au maximum les apports d'eau extérieurs.

En outre, nous sommes aussi dépourvus d'outils de pronostic. A la différence de l'alcali-réaction, nous ne disposons pas actuellement d'essai accéléré fiable d'évaluation du potentiel résiduel de réactivité du béton vis-à-vis de cette réaction. Pour tenter d'y remédier, un programme de recherche a été initié au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

1. L'ettringite est un trisulfoaluminate de calcium hydraté de formule chimique : $3 \text{ CaO}, \text{ Al}_2 \text{ O}_3, 3 \text{ CaSO}_4, 32 \text{ H}_2\text{O}$ dont la formation nécessite la consommation d'une grande quantité d'eau.

Température et durée de la période d'attente	Vitesse de montée en température (en °C/heure)	Température maximale critique (en °C)	Références
30 °C, 3 heures	< 20	60 (65 pour des valeurs individuelles)	ENV 206, 1990 (P 18-325, août 1991)
Environnement sec : 30 °C, 3 heures Environnement humide : 40 °C, 4 heures	< 20	Environnement sec : 80 Environnement humide : 60	Comité allemand pour le béton armé, 1989
T° ambiante, 4 heures	< 20	70	Département anglais du transport, Lawrence et al. 1990
30 °C, 3 heures	< 20	60, si SO3 ciment < 2% 55, si SO3 ciment < 3% 50, si SO3 ciment < 4%	pr EN 13230-1, 1998
38 °C, 2 heures	< 14	66	Etat d'Iowa, Merritt et Johnson 1962

Dans le domaine de la prévention, il n'existe pas en France de règles ou de recommandations pour limiter le risque d'apparition de désordres liés à cette réaction. Toutefois, il est important de rappeler que l'additif au fascicule n° 65-A donne quelques prescriptions relatives aux cycles de température utilisées lors d'un traitement thermique. En particulier, la température maximale ne doit pas dépasser 80 °C. Par contre, il n'existe aucune règle pour limiter l'exothermie du béton dégagée dans les ouvrages suffisamment massifs. Or, depuis quelques années, on réalise de plus en plus des pièces massives et complexes, avec des ciments plus exothermiques ou plus « nerveux » qu'auparavant, et selon des rythmes de construction souvent soutenus. Il apparaît alors que certaines pièces en béton de grande masse ont parfois été mises en œuvre et ont mûri à des températures relativement élevées de sorte qu'une analogie avec les bétons traités thermiquement peut être établie.

La formation d'ettringite différée est donc une cause de désordre susceptible d'affecter non seulement certaines pièces en béton préfabriqués étuvés, mais aussi des parties massives d'ouvrage coulées en place. Les cas de structures malades répertoriés en France sont pour l'instant peu nombreux, mais suffisamment importants pour justifier que des précautions soient prises.

Ces précautions semblent pouvoir être fondées sur les valeurs admissibles données pour les différents paramètres des traitements thermiques par différentes recommandations ou règles professionnelles internationales (tableau I). Ces recommandations visent à éviter les micro-fissurations d'origine thermique, mais aussi celles liées à la formation différée de l'ettringite. En général, ces règles sont très restrictives par mesure de sécurité et elles s'appliquent indifféremment quel que soit le type de ciment ou de béton.

Il en ressort alors un seuil critique vers 60-70 °C à partir duquel le risque de développement d'une réaction sulfatique interne existe. Toutefois, la valeur acceptable pour ce paramètre dépend également de la basicité du milieu et, en particulier, de la teneur en alcalins du ciment. Par ailleurs, l'intensité de l'expansion du matériau est liée à la teneur en SO3 et en C3A du ciment.

Une première précaution pourrait donc consister à limiter les températures atteintes dans les pièces à 60-70 °C.

Cependant, lorsque la température au sein du matériau est susceptible d'atteindre des valeurs importantes (au-delà de 60-70 °C), il serait nécessaire d'utiliser un ciment qui contient de faibles teneurs en C3A, SO3 et en alcalins. Dans ces conditions, les liants pour travaux à la mer ou en eaux à haute teneur en sulfates ne devraient pas donner lieu à la réaction lorsque des températures supérieures à 60-70 °C sont atteintes. Enfin, les additions minérales de laitiers, de cendres volantes silico-alumineuses, de pouzzolanes naturelles et de fumées de silice devraient aussi améliorer la résistance des bétons à ce type de pathologie.

Bruno GODART - Loïc DIVET ■

BIBLIOGRAPHIE

1. B. GODART, G. KITTEL, P. FASSEU, Manuel d'identification des réactions de dégradation interne du béton dans les ouvrages d'art, Guide du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, février 1999.
2. L. DIVET, F. GUERRIER, G. LE MESTRE, Existe-t-il un risque de développement d'une activité sulfatique d'origine endogène dans les pièces en béton de grande masse ? Le cas du pont d'ondes, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 213, janvier-février 1998, pp.59-72.
3. L. DIVET, Etat des connaissances sur les causes pouvant être à l'origine des réactions sulfatiques internes au béton, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, à paraître.

Bruno GODART
Division FDOA
LCPC
Tel : 01 40 43 53 32

Loïc DIVET
Division FDOA
LCPC
Tel : 01 40 43 51 48

Rubans d'or 99 - 5^{ème} palmarès des paysages routiers

Les Rubans d'Or sont désormais une tradition : 1999 marque la cinquième et dernière édition du millénaire de ce palmarès des paysages routiers et c'est le 25 novembre, à la Salle Gaveau, que Monsieur Patrick Gandil, Directeur des Routes, a remis les trophées aux équipes lauréates.

Lancés en 1991 à l'initiative de la Direction des Routes, ce Palmarès est l'occasion de faire le point sur l'état paysager des aménagements routiers en France - réseau des routes nationales et des autoroutes - et de mobiliser tous les professionnels qui concourent à leur réalisation. Ils récompensent les équipes de conception et de

maîtrise d'œuvre des directions départementales de l'Équipement et des sociétés d'autoroutes, ainsi que leurs partenaires, pour la qualité paysagère de leurs réalisations.

Pour l'édition 1999, 77 dossiers ont été présentés par les directions départementales de l'Équipement et les sociétés d'autoroutes.

Sous la présidence de Monsieur Patrick Gandil le jury, composé de personnalités éminentes reconnues dans leur discipline, a sélectionné vingt six lauréats parmi les quarante huit ouvrages nominés qui lui avaient été présentés par le Comité d'experts.

Le palmarès

■ Catégorie Grands Ouvrages d'Art

Or	Viaduc de Viaur - RN 88 - <i>DDE Aveyron</i>
Bronze	Pont sur le Vecchio - RN 193 - <i>Collectivité Territoriale de Corse</i>
Bronze	Chaussées décalées et Viaduc du Liez - A404 - <i>SAPRR</i>

■ Catégorie Petits Ouvrages d'Art

Or	Pont de Francardo sur le Golo - RN 193 - <i>Collectivité Territoriale de Corse</i>
Bronze	Pont du Saguenay - RN 106 - <i>DDE Lozère</i>
Mention spéciale	Restauration et élargissement du pont sur le Beveron - RN 100 - <i>DDE Alpes de Haute Provence</i>
Mention spéciale	Reconstruction du pont de la Boucle - RN 5 - <i>DDE Réunion</i>

■ Catégorie Routes Nationales

Or	RN 134 - Déviation d'Estaut - <i>DDE Pyrénées Atlantiques</i>
Argent	RN 106 - Mise à 2x2 voies - Alès/Boucoiran - <i>DDE Gard</i>
Argent	RN 109 - Déviation de Saint-Paul et Valmalle-Bel Air - <i>DDE Hérault</i>

■ Catégorie Autoroutes Interurbaines

Or	A75 - Contournement de Sévérac-le-Château - <i>DDE Aveyron</i>
Argent	A75 - Montée de Banassac - <i>DDE Lozère</i>
Argent	A39 - Dôle - Bourg en Bresse - <i>SAPRR</i>
Argent	A43 - Aiton - Saint Michel de Maurienne - <i>SFTRF</i>

■ Catégorie Autoroutes et Voies Rapides Urbaines

Or	A621 - Liaison de l'aéroport à Toulouse - <i>DDE Haute-Garonne</i>
Argent	RN 351 - Nouveau boulevard périphérique Est de Lille - <i>DDE Nord</i>
Argent	RN 170 - Boulevard intercommunal du Parisis - <i>DDE Val d'Oise</i>

■ Catégorie Aménagements routiers en agglomération

Argent	Couverture de l'autoroute du Nord à Saint-Denis - <i>DDE Seine Saint Denis</i>
Bronze	Echangeur de la Côte de Nacre à Caen - RN 814 - <i>DDE Calvados</i>
Bronze	Traversée du Petit Saint Pierre - RN 2 - <i>DDE Réunion</i>

■ Catégorie Aires sur Autoroutes

Or, Grand Prix du Jury	Aire de la baie de Somme - A16 - <i>SANEF</i>
------------------------	---

■ Catégorie Ouvrages Antibruit et Aménagements particuliers

Or	A5 - Gare des Eprunes - <i>SAPRR</i>
Mention spéciale	Protections acoustiques du boulevard intercommunal du Parisis - RN 170 - <i>DDE Val d'Oise</i>

■ Réalisations à caractère écologique

Vert	Déviation du Plouy-Colembert - RN 42 - <i>DDE Pas-de-Calais</i>
Vert	Passage à faune - Amiens/Boulogne sur Mer - A16 - <i>SANEF</i>
Vert	Réaménagement de la carrière de Roissiat à Courmagnoux - A39 - <i>SAPRR</i>



RUBAN D'OR (Série Grands Ouvrages d'Art)

■ Viaduc du Vieur – RN 88

Maîtrise d'Ouvrage : Etat – DDE de l'Aveyron

Maîtrise d'œuvre : DDE de l'Aveyron : Roland Caffort, Roland Gachiteguy, Gérard Viossanges, Jérôme Wabinski

Concepteurs : SETRA : Emmanuel Bouchon, Michel Virlogeux

Architecte : Philippe Fraleu

Entreprises : Spi Batignolles TP/Dodin Sud/Sogea



RUBAN D'OR (Série Petits Ouvrages d'Art)

■ Pont de Francardo sur le Golo – RN 193

Maîtrise d'Ouvrage : Etat – Collectivité territoriale de Corse

Maîtrise d'œuvre :

DRI Routes 2B : François-Xavier Ceccoli, Jean-Jacques Thorel

DRI BROA : Michel Braillon

Sud-Etudes : Jacques Scherrer

Concepteur : Ingerop : Olivier Cuchet

Architecte : Charles Lavigne

Entreprise : Raffali



RUBAN DE BRONZE (Série Grands Ouvrages d'Art)

■ Pont sur le Vecchio – RN 193

Maîtrise d'Ouvrage : Etat – Collectivité territoriale de Corse

Maîtrise d'œuvre : DRI : Michel Braillon, Alain Fichou, Jean-Jacques Thorel

Concepteurs : EEG : Ladislav Paulik, Michel Vassord

Architecte : Berdj Mikaelian

Entreprises : Razel, Raffali-Battesti



RUBAN DE BRONZE (Série Grands Ouvrages d'Art)

■ A404 – Zone du Martinet – chaussées décalées et viaduc du Liez

Maîtrise d'Ouvrage : Société des autoroutes Paris-Rhin-Rhône (SAPRR)

Conception/Maîtrise d'œuvre :

Scetauroute : Jacques Martin

Architecte : Soberco : Pierre Million

Paysagiste : Soberco : Maurice Cottin

Entreprises : Perrier TP – GFC



RUBAN DE BRONZE (Série Petits Ouvrages d'Art)

■ Pont du Saguenay – RN 106

Maîtrise d'Ouvrage : Etat – DDE de la Lozère

Maîtrise d'œuvre : DDE de la Lozère : Jacques Brajon, Michel Clément, Jean-Yves Peigné

Conception : ITC

Architecte : Jean-Vincent Berlottier

Paysagiste : Parc national des Cévennes

Entreprises : SOGEA Sud-ouest, Trébuchon



MENTION SPECIALE (Série Petits Ouvrages d'Art)

■ Restauration et élargissement du pont sur le Beveron – RN 100

Maîtrise d'Ouvrage : Etat – DDE des Alpes de Haute Provence

Maîtrise d'œuvre : DDE des Alpes de Haute Provence : Roland Mistral

Conception :

DDE des Alpes de Haute Provence : Philippe Auran

Europe Etudes : Jean Louis Dupuis

Paysagiste : Gilbert Samel

Entreprise : Gardiol



MENTION SPECIALE (Série Petits Ouvrages d'Art)

■ Reconstruction du pont de la Boucle – RN 5

Maîtrise d'Ouvrage : Etat – DDE de la Réunion et Région Réunion

Conception : CDOA : Frédéric Edon, Ambrois Hubert, Fred Melchior, Ah Seung Thia Tue King

Maîtrise d'œuvre : DDE de la Réunion : Michel Horeau, Patick Mus / CDOA : Ah Seung Thia Tue King

Architecte : Charles Lavigne

Entreprises : Sud Travaux, SECMO-OI, LDER

Informations brèves

■ Formation ENPC dans le domaine des ouvrages d'art

CONCEPTION ET REALISATION	
Surveillance des VIPP : les guides (Session Flash)	23 mai 2000
Formuler les bétons (1) : Des constituants aux performances	23 au 25 mai 2000
Elargissements des ponts en maçonnerie	24 mai 2000
Renforcement et amélioration des sols de fondations	24 et 25 mai 2000
Les bases de calcul des constructions selon les Eurocodes : La norme européenne EN 1990	6 et 7 juin 2000
Maîtriser les effets de l'eau dans les sols	6 au 8 juin 2000
Maîtriser la mise en œuvre des bétons	7 et 8 juin 2000
Concevoir et réaliser des routes et voiries en béton de ciment - Derniers développements	14 au 16 juin 2000

■ Formation CTICM dans le domaine de la construction mixte acier - béton

Stage 05.40/4 : Les structures métalliques face aux séismes	22 et 23 juin 2000
Stage INC/2 : Comportement au feu des structures acier et mixtes	27 et 28 juin 2000
Stage 10.01 : Cycle techniciens : Initiation à la construction métallique	28 et 29 juin 2000
Stage EC4/0 : Introduction à l'Eurocode 4	28 au 30 juin 2000



BON DE COMMANDE POUR RECEVOIR LES PUBLICATIONS DU CTOA

Retournez votre commande - ou faxez-la - à : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes
Bureau de vente des publications • BP 100 - 92225 Bagneux Cedex Tél. **01 46 11 31 53** - Fax. 01 46 11 33 55

Je désire recevoir _____ exemplaires(s) Nom et adresse du demandeur : _____
 TITRE _____
 Réf. _____
 Prix Unitaire _____ Prix total _____ Tél. _____
 _____ Date _____ Signature _____

Frais d'envoi (à ajouter au montant de la commande) : 20 frs pour toute commande inférieure à 150 frs, 30 frs pour toute commande égale ou supérieure à 150 frs

Autres pays : 10 % du montant de la commande avec un minimum de 40 frs

Mode de règlement (à réception de facture) : chèque bancaire à l'ordre du Régisseur des recettes du Setra • Virement bancaire : relevé d'identité bancaire (RIB) :
Code banque : **40071** ¥ Code guichet : **92000** ¥ N° de compte : **00001000261** ¥ CI RIB : **11** ¥ Domiciliation : **RGFIN Paris Nanterre**

OUVRAGES D'ART CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGES D'ART

Ce bulletin de liaison vous intéresse... retournez le formulaire ci-dessous à :
Bulletin de Liaison **OUVRAGES D'ART** - SETRA Communication
46, Avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex

Nom : _____
 Service, société : _____
 Adresse : _____
 Tél. : _____ Date : _____
 Désire être destinataire d'un exemplaire du bulletin de liaison **OUVRAGES D'ART** gratuit

COMITÉ DE RÉDACTION

SETRA :

MM. Binet, Bouchon, Millan

CETE :

M. Paillusseau (Bordeaux)
M. Tavakoli (Lyon)
M. Carles (Aix)

DDE :

M. Brazillier (DDE 89)
M. Portier (DDE 13)
M. Bouvy (DDE 12)

LCPC :

M. Godart

IGOA :

M. Bois

Coordination :

Jocelyne Jacob (Setra-Ctoa)
Tél. : 01 46 11 32 79
Fax. : 01 46 11 34 74
Jacqueline Thirion (Setra-Ctoa)
Tél. : 01 46 11 34 82

Réalisation :

Barbary Et Courte • Tél. : 01 44 50 52 55
www.barbary-courte.com

Flashage :

Augustin • Tél. : 01 40 36 10 15

Impression :

Imprimerie de Montligeon
Tél. : 01 47 12 11 44

ISSN :

1266-166X

Le kiosque du SETRA

PUBLICATIONS

■ Répertoire des textes et documents techniques essentiels - Ouvrages d'art

Édition N° 14 - janvier 2000
• Réf. P2100 - Prix : 70 F

Chaque année, le CTOA diffuse et remet à jour le répertoire des textes. Il contient un ensemble de textes réglementaires et normatifs et de documents guides concernant la conception, l'exécution et la maintenance des ponts et soutènements (y compris fondations et équipements), leurs matériaux constitutifs, ainsi que les tunnels.

Ce document ne vise pas à une exhaustivité impossible. Il est néanmoins assez complet, et peut servir de guide pour la mise à jour d'une bibliothèque technique d'un ingénieur ou d'un bureau d'études spécialisé en ouvrages d'art.

Une liste récapitulative des normes citées est présentée en annexe du répertoire.

■ Avis technique - Joint de chaussée

Produit	Entrep.	Date	Validité	Réf.
THORMAJOINT	EUROJOINT	11/1999 Renouvellement	11/2004	F8879.64
GTAR30/50	RCA	11/1999	11/2004	F8879.65

■ Avis technique - Étanchéité

Produit	Entrep.	Date	Validité	Réf.
NEOPHALTE PONT	SMAC ACIEROID	11/1999	11/2004	FATET99.03

Rappel : le prix de chaque avis technique est de 20 F.

AUDIOVISUEL

■ Changement de la suspension sur le Pont de Tancarville

Cassette vidéo VHS - Durée : 25 mn
• Réf. F 9931 - Prix : 150 F

Le pont de Tancarville franchit la Seine, entre Le Havre et Rouen, par une travée de 608 mètres de portée.

Mis en service en 1959, c'est le plus grand pont suspendu français.

Le 2 juillet 1995, les services techniques du pont découvrent la rupture de l'un des 60 torons constituant le câble porteur amont. L'analyse de cette rupture met en cause la corrosion de l'acier. Face à cette situation, la décision est prise de remplacer au plus vite l'ensemble du système de suspension de l'ouvrage.

Ces travaux, sans précédent sur un ouvrage de cette importance, ont duré trois ans, sans interruption du trafic. Des méthodes, des techniques et des matériels spécifiques ont dû être mis au point pour installer les éléments de la nouvelle suspension, effectuer le transfert de charges et démonter les anciens câbles.