

***LES JOINTS***  
***DANS LES OUVRAGES***  
***HYDRAULIQUES***

**JointS dans les barrages réservoirs**

**Par A. Lejeune  
M. Piroton**

**Professeurs à l'Université de Liège**

## 1. NECESSITE DES JOINTS

Comme tout ouvrage, un barrage se déforme pour résister aux efforts auxquels il est soumis. Mais, constitué d'un matériau peu élastique, maçonnerie ou béton, ces déformations peuvent entraîner des dislocations. Tandis que dans un pont, par exemple, semblable accident peut n'avoir aucun inconvénient, il risque d'en être tout autrement dans un barrage où l'eau en charge emprunte tous les cheminements qui lui sont offerts et à la faveur de dislocations peut d'une part détruire la maçonnerie, d'autre part modifier totalement les conditions d'équilibre de l'ouvrage. Il importe donc au plus haut point, d'éviter ces dislocations ou tout au moins de pallier à leurs graves inconvénients.

Nous ne saurions trop insister sur ce fait qu'en matière de barrages l'eau ne pardonne rien ; une apparence de bonne santé générale ne garantit pas la sécurité : c'est au détail qu'il faut s'attacher, suivre l'eau à travers l'ouvrage, l'y découvrir, l'y canaliser et si possible lui interdire tout accès.

Mais en raison des dimensions des barrages, il est particulièrement difficile d'éviter, pour un ouvrage monolithe, qu'il se disloque. Dans un tel barrage, la dislocation se produit à la demande des efforts et en fonction de la consistance des maçonneries : sur ces deux facteurs on est mal renseigné. Pour les efforts, on n'en connaît que les manifestations extérieures, c'est-à-dire, les déformations dans la mesure où elles sont visibles et mesurables ; or, elles ne sont que le résultat de l'interférence de phénomènes très divers (effet de température, charge, encastrement des fondations, etc.) ; en dehors de ce résultat tangible, le reste n'est qu'hypothèses. Quant à la consistance des maçonneries, elle est surtout caractérisée par son hétérogénéité. Ainsi, la dislocation qui résulte de ces deux facteurs est-elle toujours irrégulière et mal discernable puisqu'on n'en voit en général que les traces extérieures et pour ce motif il demeure pratiquement impossible d'en connaître les conséquences.

On s'est vite rendu compte qu'il est éminemment désirable d'éviter de telles incertitudes, voire de tels aléas, et faute de pouvoir empêcher, dans les massifs rigides en maçonnerie, cette dislocation désordonnée et difficile à identifier, il a paru préférable de la réaliser pour ainsi canaliser les actions de l'eau, être à même de les surveiller et pallier au mieux à leurs inconvénients. Cette dislocation provoquée qui fait des barrages des ensembles articulés est réalisée par les joints.

En définitive, les joints sont destinés à remplacer les dislocations. Ils seront donc étudiés en fonction des causes habituelles des dislocations.

Les dislocations sont causées par les contraintes développées dans la maçonnerie par les efforts imposés à l'ouvrage.

Ces contraintes provoquent des dislocations quand elles sont des extensions ; le calcul de l'ouvrage donne dans tous les cas des garanties suffisantes en ce qui concerne les compressions, sous réserve cependant que, du fait des dislocations, les conditions d'équilibre ne se trouvent pas sensiblement modifiées.

Les joints sont un élément indispensable dans tout ouvrage au sein duquel des transformations dimensionnelles peuvent vraisemblablement se produire. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les barrages en béton dont la nature et le comportement peuvent entraîner l'apparition de fissures plus ou moins importantes si des joints ne sont pas prévus pour tenir compte de ce phénomène. Une telle fissuration peut fréquemment se prolonger sur l'ensemble de la plus courte section horizontale du mur ouvrant ainsi un passage aux fuites d'eau. Les fissures résultent de l'apparition de tractions élevées dans le béton lui-même, dues à une ou plusieurs causes, dont les plus importantes sont présentées ci-dessous.

La résistance du béton résulte de l'hydratation du ciment et du laitier ainsi que des réactions pouzzolaniques dans le mélange, auxquelles il faut ajouter le rôle joué par les éléments tels le soufre et ses polymères, là où ils sont employés, qui sont à l'origine d'une élévation considérable de la température suivie de refroidissement et de perte d'eau du matériau. Le résultat direct est la contraction du béton qui mène au développement de forces qui, selon toute évidence, augmentent en fonction du volume de l'élément en béton coulé en masse. Bien que la technologie moderne ait introduit des techniques pour réduire les effets de la chaleur, de l'hydratation et du séchage, il n'en reste pas moins vrai qu'il se produira toujours une certaine contraction. Il s'avère donc indispensable de découper la structure de béton en plusieurs plots de sorte que la contraction de chaque plot ne dépasse pas des limites tolérables.

Le déroulement même des travaux de construction peut également engendrer de fortes tensions, comme par exemple dans le cas de grands barrages en béton à double courbure où le coulage ultérieur des plots intermédiaires peut développer de fortes tensions verticales d'encastrement au sein même des plots coulés en première phase.

Les variations périodiques de températures peuvent être importantes et ainsi engendrer de fortes tensions qui sont à l'origine de la fissuration. Ceci est tout particulièrement valable pour des barrages en hautes altitudes, où les variations de la température ambiante peuvent aller de 50°C pour les maxima à 25°C pour les minima. Par conséquent, il devient indispensable de prévoir des joints pour pallier les « déplacements » dus aux changements de température.

La surcharge que représente le mur du barrage sur les fondations ainsi que l'eau de la retenue peuvent provoquer un tassement de ces fondations qui, à leur tour, peuvent provoquer une traction dans le mur et éventuellement des fissures. Là encore, des joints peuvent être prévus pour pallier ce genre de déplacements, s'ils devaient se produire.

Lorsque la surface de contact entre deux levées de béton n'a pas été préparée avec soin, ou encore en cas d'intervalle de temps trop long entre levées, il se peut que la liaison entre les deux levées soit mauvaise. En pareil cas, cette zone peut présenter des fuites d'eau.

Pour minimiser les effets produits par la chaleur d'hydratation et par le mouvement relatif, les barrages en béton sont coulés par plots alternés de sorte qu'un maximum de contraction puisse se produire avant que ne soient coulés les éléments intermédiaires ou plots suivants.

Ces joints servent également à réduire les tensions dues à d'autres phénomènes, mais il se peut parfois que d'autres joints soient nécessaires.

Pour éviter ou pour limiter les fuites d'eau le long des joints, il faut prévoir un système d'étanchéité en travers des joints pour empêcher un écoulement excessif sur toute leur longueur. Ces éléments de scellement doivent être suffisamment robustes pour résister tant à la pression d'eau, qu'à un traitement assez rude durant l'exécution des travaux, être assez déformables pour s'adapter aux mouvements relatifs entre plots, et d'une longévité suffisante pour assurer ces fonctions pendant toute l'existence du barrage en béton qui peut atteindre plus d'un siècle.

En règle générale, ces systèmes d'étanchéité sont appelés «waterstops». Sur les barrages, type gravité ou poids, ils sont généralement placés près de la face amont, mais aussi près de la face aval des sections des évacuateurs de crue. En ce qui concerne les barrages, type voûte, nettement moins épais, ils peuvent être placés près des faces amont et aval, auquel cas, ils peuvent aussi jouer un rôle de confinement des injections de joints entre plots. Ces «waterstops» sont également utilisés : — autour des galeries intérieures au sein même du mur du barrage, pour faire

échec aux fuites et, — de pair avec les injections, dans les prises d'eau et restitutions des stations hydroélectriques construites dans le barrage.

Normalement, des «waterstops» de confinement sont utilisés lorsque la conception du barrage requiert des injections sous pression dans les joints de construction entre plots afin de remplir les espaces et créer ainsi une structure monolithique pouvant transmettre la charge d'eau par effet de voûte jusqu'aux fondations. Ils sont également utilisés autour des galeries ou tunnels pour empêcher toute infiltration de coulis.

Les différents matériaux qui peuvent être utilisés pour exécuter les joints d'étanchéité sont les chlorures de polyvinyle, les caoutchoucs naturels et synthétiques, le cuivre, l'acier inoxydable, les composés de bitume, alors que dans le passé on utilisait de la corde, du chanvre et même du plomb ou du bois. L'injection de ciment, lorsqu'elle a pour but de lier les plots entre eux, joue également un rôle secondaire d'étanchéité. Les injections chimiques peuvent également être employées pour réparer les fuites des joints existants.

Le but du présent rapport est de fournir des références quant aux propriétés, au traitement et à la mise en œuvre des différents matériaux qui peuvent être utilisés pour les joints d'étanchéité dans les barrages en béton. Toutes les informations qui sont fournies ont également pour objectif de permettre aux concepteurs et aux ingénieurs, chargés de l'entretien, de choisir le matériau qui sera le plus approprié, comme elles devront être un guide quant au traitement et à la mise en œuvre du matériau.

## 2. EFFORTS IMPOSÉS À L'OUVRAGE

- Pendant l'exécution, les premiers efforts imposés à la maçonnerie sont dus à la prise des mortiers et des bétons. Dans le cas de maçonnerie de blocage, l'effet de la prise est réduit en proportion de l'importance relative des joints et il est possible de l'éviter totalement. Avec le béton la prise donne lieu à un retrait important.

Pour les ouvrages de grandes dimensions comme le sont tous les barrages, l'importance du retrait est telle qu'il est impossible d'éviter une dislocation dans un ouvrage monolithe, étant entendu qu'on ne peut envisager qu'une construction rationnelle, c'est-à-dire, faite dans un temps limité correspondant à des mises en œuvre par masses considérables.

Cet effet de prise ou de dessiccation se prolonge pendant les premiers temps de la mise en service.

Les dislocations imputables à l'effet du retrait de prise s'orientent en fonction de la structure du barrage et de ses dimensions.

- L'ouvrage terminé constitue une masse importante qui subit l'influence des écarts, souvent instables, de la température extérieure. En raison de ses dimensions, ces effets de température aboutissent à des déformations que la rigidité du matériau peut transformer en contraintes suffisantes pour causer des dislocations.

- Enfin, les charges d'eau qui sont l'objet principal de l'ouvrage causent les contraintes en général les plus fortes.

Ces deux derniers types d'efforts interfèrent dans la plupart des cas pour aboutir à des résultats d'analyse difficile et essentiellement variables suivant le type d'ouvrage et suivant ses dimensions.

Nous ne nous emploierons pas à justifier la réalisation de ces efforts et nous nous limiterons à l'étude des dislocations qu'ils peuvent produire, et à celle des joints destinés à pallier aux inconvénients de ces dislocations.

### 3. LES DIFFERENTS TYPES DE JOINTS

La surface de reprise : La surface de reprise, toujours horizontale, est la surface de contact entre deux levées successives, sur laquelle il est désirable d'assurer et de maintenir une liaison entre les levées, et au travers de laquelle les armatures d'acier, s'il doit y en avoir, ne sont pas interrompues.

Le joint de construction : C'est un joint incliné ou vertical rendu nécessaire par des considérations pratiques d'exécution des travaux. Le ferrailage, s'il existe, n'est pas interrompu en travers du joint.

Le joint de contraction : C'est un joint moulé, scié ou de simple contact dans une structure de béton, qui devient intentionnellement un plan de faiblesse de sorte qu'on contrôle l'emplacement d'une fissure qui résultera de la variation dimensionnelle et de la contraction des parties adjacentes de la structure en béton. Tout ferrailage, dans le cas où il y en aurait, est lors interrompu.

Le joint de dilatation : Il s'agit d'une séparation entre les parties contiguës d'une structure en béton dans laquelle est introduite une membrane déformable dont la raison d'être est d'absorber les changements de dimension des plots dus aux variations de température et aux autres déplacements, et ceci de façon régulière et permanente.

Le joint d'isolation : Il s'agit d'une séparation entre les parties contiguës d'une structure en béton, et ceci généralement dans un plan vertical, à un endroit qui gêne le moins le travail de la structure afin de limiter le mouvement à la partie spécifique où naît ce mouvement, par exemple dans le cas d'une section affaiblie de la fondation.

Le joint de contrôle : Il s'agit d'une section verticale affaiblie dont le but est plus de déterminer à l'avance l'endroit où se produira une fissure que de permettre aux fissures de se former au hasard. On obtient une portion dite en coupant ou enlevant 50 % des armatures d'acier qui traversent le joint. De plus, on peut pratiquer des saignées sur les surfaces extérieures du mur. Des plaques de métal peuvent également être glissées dans la partie centrale pour assurer le plan d'affaiblissement. Si la fissure devait s'agrandir, la rugosité des agrégats le long de ses faces serait suffisante pour offrir une résistance au cisaillement. Cette technique n'est généralement pas utilisée de nos jours.

Joint sec : Un joint sec est un joint accidentel qui résulte d'un retard à la mise en place du béton.

### 4. CHOIX DU TYPE DE JOINT ET DU MATERIAU

Etant donné que la plupart des «waterstops» ou des joints d'étanchéité seront enfouis dans la masse coulée ultérieurement, il est très important de faire un choix correct du type et du matériau afin de s'assurer que le barrage restera imperméable pendant toute son existence. Dans ce contexte, l'étanchéité est définie comme étant une limitation des fuites en quantité et position, définies par le Maître d'Ouvrage/ d'Œuvre dont la responsabilité est de déterminer les limites acceptables. On devra non seulement tenir compte des conditions de travail du «waterstop», mais

aussi de la probabilité d'un endommagement qui pourrait se produire au cours du positionnement et des travaux de construction. Il faut garder en mémoire les conditions locales et en déduire les impératifs pour chaque cas spécifique.

#### 4.1. Propriétés mécaniques des joints

Certaines des propriétés les plus évidentes, que doivent présenter des joints satisfaisants, sont énumérées ci-dessous :

Le «waterstops» doit présenter une résistance suffisante (à la traction et au cisaillement) pour demeurer intact sous l'effet des efforts qui lui sont imposés par le mouvement relatif des faces du joint et par la pression d'eau maximale qui peut se développer à l'endroit où il est situé.

Le «waterstops» doit être assez déformable pour s'adapter aux mouvements relatifs qui sollicitent le joint sans se briser ou arracher ses ancrages.

Les éléments métalliques seront d'une épaisseur adéquate ou seront recouverts d'une couche de peinture anti-corrosive.

Les matériaux non métalliques devront être durables, c'est-à-dire qu'ils ne devront pas se détériorer gravement pendant toute la durée d'existence du barrage.

Les matériaux non métalliques qui seront exposés tels les plastiques ou les caoutchoucs, seront vraisemblablement attaqués rapidement par le soleil et les conditions atmosphériques. Par conséquent, lorsqu'une telle exposition sera vraisemblable durant la période de construction ou après, il faudra prévoir une protection spéciale.

Le matériau ne devra pas être susceptible de présenter de réaction chimique au contact du béton, par exemple une réaction entre le zinc et les composants du ciment, qui pourrait entraîner un affaiblissement du béton.

Il est préférable que le matériau adhère au béton, là où il sera en contact ou noyé dans ce dernier pour éviter des écoulements d'eau à la périphérie du «waterstops».

Le «waterstops» devra être conçu de telle sorte qu'il permette le serrage du béton adjacent.

Le matériau du «waterstops» sera résistant aux attaques des produits chimiques contenus dans l'eau.

De même, le matériau résistera à toute attaque biologique qui pourrait se produire à l'endroit où il est mis en oeuvre.

Les matériaux pour joints utilisés près des surfaces de l'ouvrage où ils peuvent être affectés par toute la gamme de températures devront conserver toutes leurs propriétés sur l'ensemble de cette gamme, et ne pas devenir fragiles à basse température ni ramollis à haute température.

#### 4.2. Evaluation des matériaux de joints

Il faudra se rendre compte que peu de matériaux répondent à tous ou à la plupart, de ces critères. Certaines de ces propriétés peuvent être facilement testées par observation ou par essais mais, dans beaucoup de cas, il faudra se référer à la tenue du matériau dans la pratique.

Il y a eu malheureusement peu de cas d'études de l'état de «waterstops» utilisés dans des barrages. Par conséquent, il faut se reposer sur le fait que certains types de «waterstops» ont à leur actif de «bons et loyaux services», par exemple si aucun échec n'a été enregistré avec ces catégories. De nouveaux matériaux sont constamment étudiés et il se peut que certains d'entre eux s'avèrent être excellents pour des joints d'étanchéité. Selon toute évidence, il faudra plusieurs années d'utilisation avant que ne s'installe une confiance suffisante pour qu'ils soient mentionnés dans un document comme celui-ci.

Pour des raisons économiques et pratiques, certains ont une préférence pour les «waterstops» en cuivre, d'autres utilisent l'acier inoxydable et le cuivre avec une préférence pour le premier matériau étant donné la grande rigidité des «waterstops» en acier pendant le serrage du béton. D'autres entreprises ont utilisé l'acier inoxydable et le caoutchouc avec une préférence pour ce dernier, parce que le caoutchouc risque moins d'être endommagé au cours des travaux de construction.

Au cours des vingt dernières années, l'utilisation du chlorure de polyvinyle (le PVC) et du caoutchouc naturel ou synthétique n'a cessé d'augmenter jusqu'à ce qu'ils deviennent les matériaux prédominants d'usage courant. Il est fort peu probable que d'autres matériaux soient utilisés dans un grand barrage en béton à l'heure actuelle. Le PVC est quelquefois employé pour les «waterstops» au lieu du caoutchouc naturel parce que le caoutchouc naturel ne respecterait pas les exigences applicables de résistance à l'ozone.

Il faudra peut être faire encore des recherches dans ce domaine pour déterminer quels sont les matériaux comme les formes les mieux adaptés pour faire les joints destinés aux différents usages dans les grands barrages.

#### 4.3. Le chlorure de polyvinyle (PVC)

Les initiales «PVC» sont l'appellation générique donnée à un nombre de formules qui varient en qualité. Selon la quantité et le type d'agent plastifiant utilisé, la résistance au vieillissement peut varier énormément. Des progrès récents aussi bien dans la fabrication que dans les spécifications techniques du PVC ont augmenté la confiance des Ingénieurs Conseils dans l'emploi de ce matériau pour les «waterstops» pour grands barrages. Néanmoins, certains ingénieurs de bureaux d'études font encore des réserves quant à son comportement sous de très fortes pressions d'eau (au-dessus de 200 m).

Ses qualités propres, c'est-à-dire sa longévité, son élasticité, sa maniabilité ainsi que des considérations économiques en ont fait un matériau de large utilisation pour cet usage. Il se laisse également moins facilement endommager que le cuivre ou les autres métaux. Néanmoins, le PVC est moins élastique que le caoutchouc naturel, mais il peut supporter d'assez importants déplacements à condition que le «waterstops» ait la forme voulue, par exemple s'il s'agit d'un élément à bulbe central.

L'adhérence entre le béton et le PVC n'est pas très satisfaisante. L'étanchéité dérive de la pression de contact du matériau dans son logement de béton. Il a le sérieux inconvénient de

devenir fragile et sujet à des fissures sous contrainte à basses températures telles que celles rencontrées en grandes profondeurs dans les barrages remplis par la fonte des neiges (peut descendre à 6°C).

#### 4.4. Le caoutchouc naturel

Tout comme le PVC, le caoutchouc naturel présente l'avantage de ne pas se laisser facilement endommager au cours des travaux de construction. Les essais ont démontré qu'étant donné son élasticité, le caoutchouc naturel était le matériau adéquat pour la fabrication de «waterstops» utilisés aux endroits où l'on pouvait prévoir un fort mouvement relatif n'excédant pourtant pas 50 mm, comme par exemple sur les faces amont en béton des barrages en remblai. Néanmoins, le caoutchouc naturel est nettement plus onéreux que le PVC, et de plus son collage est plus difficile à réaliser. De plus, le caoutchouc naturel résiste très mal à l'ozone.

#### 4.5. Le caoutchouc synthétique

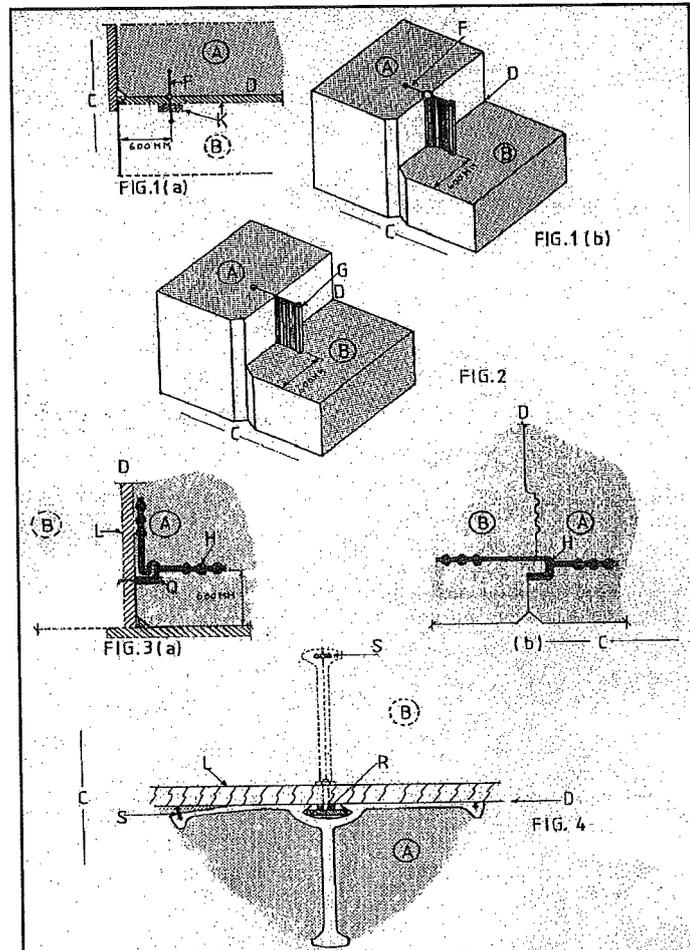
Certains facteurs tels l'élasticité et la résilience ont fait que les caoutchoucs synthétiques ont été moins utilisés dans le passé que le caoutchouc naturel pour la fabrication des «waterstops» pour les barrages en béton. Son utilisation se développe maintenant de plus en plus et, pour certains utilisateurs, il est considéré comme étant supérieur au PVC à cause de sa forte résistance à l'usure et parce qu'il ne devient pas fragile à basses températures; ceci, tout en présentant les mêmes caractéristiques mécaniques à la traction que le PVC. Pourtant, le désavantage des caoutchoucs synthétiques est la difficulté d'exécuter les raboutages sur les chantiers parce que cette opération nécessite une polymérisation à haute température et sous pression pendant des durées importantes.

Les fabricants de «waterstops» se livrent actuellement à des expériences sur un mélange PVC et caoutchoucs synthétiques.

Les figures 1 à 4 reprennent des types de joints «waterstops» en caoutchouc ou PVC pour joints verticaux.

- Fig. 1 (a) Vue en plan du joint vertical waterstop à centre bulbe.
- Fig. 1 (b) Vue perspective du joint vertical à waterstop à centre bulbe.
- Fig. 2 Vue perspective du joint vertical équipé d'un waterstop en haltère.
- Fig. 3 (a) Waterstop à clouer plié contre le coffrage lors du coulage du plot premier.
- Fig. 3 (b) Le même plié prêt au coulage du plot second.
- Fig. 4 Waterstop à centre bulbe à aile fendue en caoutchouc ou PVC.
  - A Plot premier.
  - B Plot second
  - C Face amont (au contact de l'eau).
  - D Joint vertical.
  - F Waterstop à centre bulbe.
  - G Waterstop en haltère.
  - H Waterstop à clouer.
  - K Coffrage à fente et plot premier.
  - L Coffrage non fendu pour plot premier.
  - Q Cloué au coffrage.
  - R Rondelle et boulon de fixation du waterstop pendant le coulage du plot premier.

- S Goupille de liaison des demi-ailer du waterstop fendu avant le coulage du plot second.



#### 4.6. Le cuivre

Jusqu'à une période récente, on utilisait très souvent une bande de cuivre d'une épaisseur de 2 à 3 mm pour fabriquer les «waterstops». De nos jours, le cuivre est plus onéreux que le PVC et il demande en outre une manutention, une soudure et une pose beaucoup plus délicates. L'exécution des soudures pendant la construction est compliquée et il est difficile d'assurer qu'elles ont été faites avec le soin nécessaire, particulièrement dans la zone vitale des soufflets. De plus, il est très sensible aux impacts pendant la mise en place du béton. Néanmoins, son utilisation peut encore être préférée dans le domaine des très grands barrages.

Les figures 5 à 9 reprennent des types de joints «waterstops» en cuivre pour joints verticaux et horizontaux.

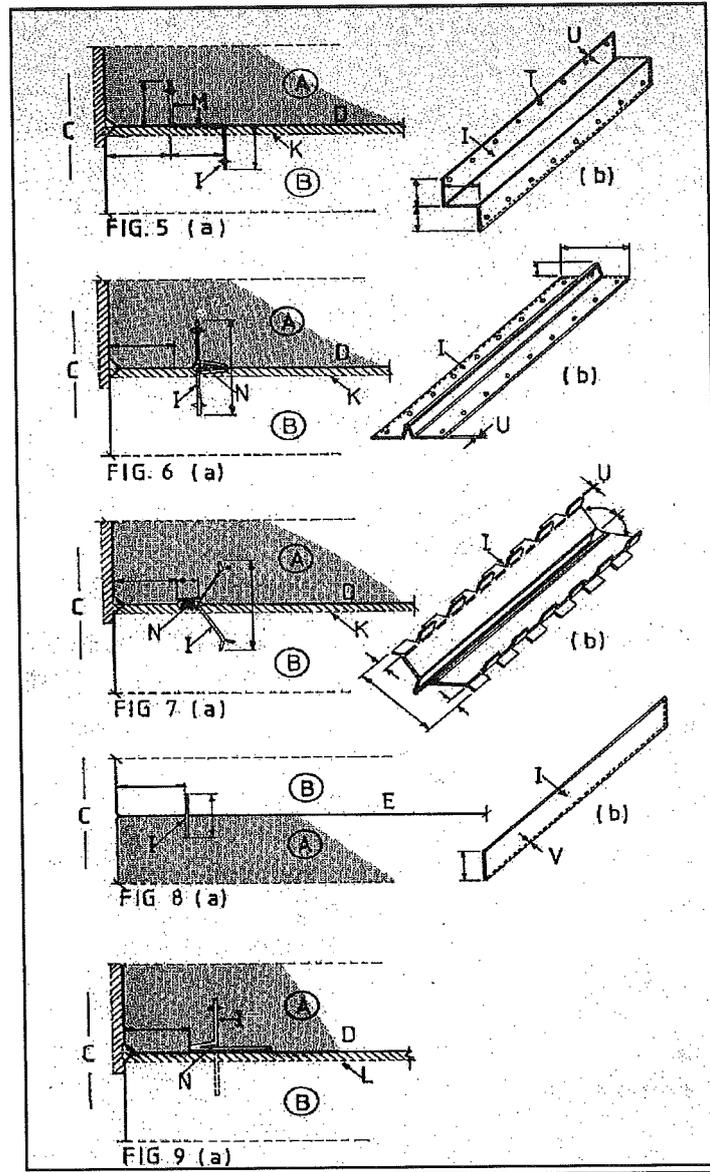


Fig. 5-7 Joints verticaux avec coffrages à fente.  
 Fig. 8 Joint horizontal.  
 Fig. 9 Joint vertical avec coffrages non fendus.

- A Plot premier.
- B Plot second
- C Face amont (au contact de l'eau).
- D Joint vertical.
- E joint horizontal.
- I Waterstop en cuivre recuit.
- K Coffrage à fente et plot premier.
- M Peinture bitumineuse.
- N Bitume d'étanchéité.
- T Grands rivets en cuivre à 250 mm d'écartement pour ancrages améliorés.

- U Plaque de 2 mm d'épaisseur.
- V Métal de 1,5 mm d'épaisseur.

#### 4.7. L'acier inoxydable

Etant donné que l'acier inoxydable est résistant à la corrosion et que c'est un matériau solide, il a été utilisé pour la fabrication des «waterstops» avec un certain succès. Des bandes de 225 mm à 375 mm de largeur et d'une épaisseur pouvant atteindre 1 mm ont fait leurs preuves.

L'acier inoxydable est plus rigide que le cuivre et restera donc plus facilement en position, durant son enrobage dans le béton, que le cuivre. Néanmoins, il est plus difficile à souder et son prix initial est élevé. Son utilisation actuelle est généralement limitée aux «waterstops» de surface, et, dans ce cas, il sert plus de bande de fixation que d'élément d'étanchéité.

#### 4.8. L'acier galvanisé

Il s'agit là d'un matériau inférieur pour qui voudrait l'utiliser pour la fabrication de «waterstops» pour barrages en béton, il ne devrait être employé qu'à titre temporaire, telle l'étanchéité de batardeaux en béton. Les «waterstops» sont fabriqués et posés comme ceux qui sont en cuivre. Afin d'éviter toute réaction chimique indésirable, et avant qu'ils ne soient placés dans le béton, les «waterstops» en acier galvanisé doivent être recouverts d'une couche de peinture anticorrosive appropriée, tel du goudron-epoxy.

L'acier sans protection est utilisé plus couramment pour les enclôtures d'injection.

#### 4.9. Composés de bitume

Les composés de bitume sont utilisés comme éléments secondaires d'étanchéité de pair avec les «waterstops». Il faut faire très attention et s'assurer que le bitume est bien compatible avec les autres matériaux de scellement qui sont utilisés, tels que par exemple le caoutchouc. Il faut également se souvenir que le bitume est un matériau visqueux qui, utilisé sans le secours d'un joint étanche fait d'un autre matériau, peut être refoulé par la pression d'eau.

Dans certains cas, ces joints secondaires d'étanchéité prévoient des dispositifs de réchauffage du bitume. Ceci permet d'entretenir et de réparer constamment les joints bitumineux pendant toute l'existence du barrage.

Le bitume est également employé pour remplir le pli des feuillures de cuivre. De même, il est possible de s'en servir pour enduire certaines sections de celles-ci.

*N.B.: Alors que les injections sont utilisées pour réparer des joints qui fuient, celles-ci ne sont pas considérées comme étant un moyen de premier ordre pour étancher les joints de construction. Durant les travaux, on fait souvent appel aux injections pour remplir les joints afin d'obtenir un monolithisme de la structure. Tout en réduisant l'écoulement au travers du joint, ce rôle reste néanmoins secondaire.*

Les figures 10 à 12 reprennent des types de joints «waterstops» en métal avec joints bitumineux ou en caoutchouc.

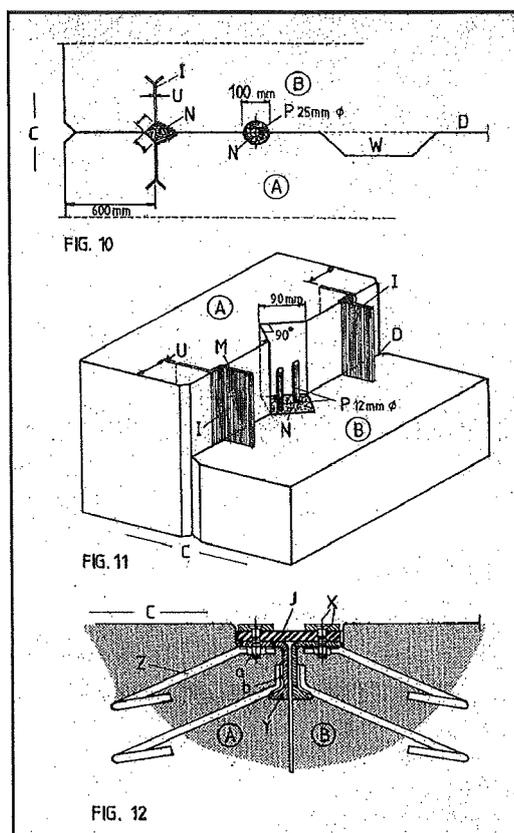


Fig. 10 Waterstop en cuivre avec étanchéité secondaire en bitume.  
 Fig. 11 Joint étanche bitumeux entre waterstops en cuivre.  
 Fig. 12 Waterstops déformable pour utilisation en surface.

- A Plot premier.
- B Plot second
- C Face amont (au contact de l'eau).
- D Joint vertical.
- I Waterstop en cuivre recuit.
- J Bande waterstop, en caoutchouc ou PVC.
- M Peinture bitumineuse.
- N Bitume de scellement.
- P Tuyau calorifère
- U Tôle de 2 mm.
- W Tenon de cisaillement.
- X Plot de serrage en bronze avec vis et écrous décollés.
- Y Cornières à ailes inégales en bronze ancrées dans le béton.
- Z Barres d'ancrage.
- a Soudures par points sur es cornières.
- b Soudure.

La figure 13 reprend des types de «waterstops» de surface en bande et la figure 14 l'essai pratique sur «waterstops».

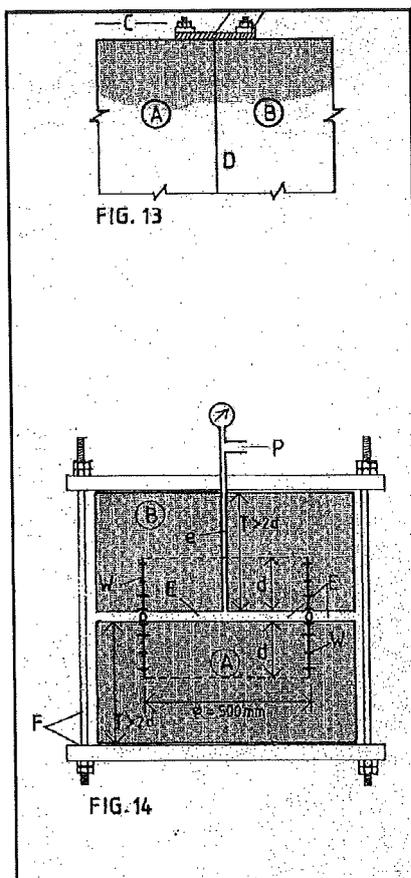


Fig. 13 Types de «waterstops» de surface en bande.

- A Plot premier.
- B Plot second
- C Face amont (au contact de l'eau).
- D Joint vertical ou horizontal.

## 5. SPECIFICITE DU JOINT DE CONSTRUCTION

### 5.1. Définition d'un joint de construction

On appelle joint de construction la surface de contact entre un béton durci et un béton frais mis en place au-dessus ou à côté du premier, lorsque ces deux bétons font partie du même élément d'ouvrage. Les joints de construction peuvent résulter d'exigences d'exécution ou d'interruptions non programmées dans le bétonnage; ils peuvent être, ou non, à l'intérieur du coffrage. Les surfaces de contact entre levées du barrage sont des joints de construction (de reprise) sans coffrage; étant donné leur nombre élevé et leur nature répétitive, ces joints revêtent une grande importance dans la construction des barrages, car ils exigent une étanchéité et une liaison efficace du point de vue des résistances au cisaillement et même à la traction.

## 5.2. Nettoyage des surfaces de reprise

A l'achèvement d'une levée, sa surface doit être nettoyée en enlevant la laitance de ciment des traces laissées par les engins et les ouvriers, et en recouvrant les pointes rocheuses saillantes afin d'obtenir une surface unie et propre; les gros granulats sont à découvert, propres et font saillie sur quelques millimètres, mais ne doivent pas être déchaussés.

Il y a deux procédés de nettoyage du béton. Le plus économique consiste à laver la surface de la levée au moyen d'un jet d'eau et d'air comprimé sous une pression minimale de 4 kg/cm<sup>2</sup>. Les bons résultats dépendent du déroulement correct du processus de durcissement du béton, de façon que l'action du jet d'air et d'eau soit efficace tout en n'affouillant pas et ne déchaussant pas excessivement les gros granulats. Le temps correct est généralement compris entre quatre et dix heures après la mise en place du béton; il dépend de la température ambiante et des caractéristiques du ciment.

L'autre procédé, qui est plus coûteux, est le sablage, par voie humide, du béton lorsqu'il a durci. On peut recommander cette méthode pour les bétons totalement durcis.

Ce n'est pas un bon procédé de rendre rugueux un béton âgé, au moyen d'outils manuels ou de marteaux pneumatiques, car le béton de surface peut être endommagé et conduire à un plan de faiblesse.

On doit veiller à enlever du barrage le coulis de ciment et les détritres de granulats. Les détritres ne doivent pas être transportés par l'eau de lavage jusqu'aux drains. Il n'est pas recommandé de former des sillons sur la surface du béton pour faciliter l'évacuation des eaux sales de lavage, car de telles zones peuvent s'amorcer avec la boue.

## 5.3. Arrêt temporaire du bétonnage d'un plot

Quand une interruption est programmée dans le bétonnage d'un plot pour une durée dépassant celle mentionnée dans les spécifications (en général plus de dix ou quinze jours), toutes précautions doivent être prises pour garantir l'étanchéité du joint de construction horizontal. Dans ces cas, il y a lieu de poser un waterstop en matériau plastique (PVC) ou néoprène, à un mètre environ du parement amont. Comme autre mesure pour assurer l'étanchéité, on a appliqué avec succès, dans certains barrages, une couche de peinture de résine époxy sur le béton durci, suivant une bande de 2 m environ de largeur à partir du parement amont. Cette peinture ne doit pas être hydrophobe.

Pour des arrêts non programmés, le dispositif d'étanchéité horizontal doit être installé dans une rainure creusée dans le béton durci, à environ 80 cm du parement. La moitié inférieure du waterstop est scellée dans un mortier de résine époxy et de sable qui remplit la rainure.

## 5.4. Joints de construction sur les parements coffrés

On doit éviter, dans toute la mesure du possible, les joints de construction sur les parements coffrés, car ils conduisent toujours à des plans de faible résistance. La meilleure préparation de ces joints est le sablage ou un léger piquage de surface. Si le coffrage a été enlevé peu de temps après la mise en place du béton, on peut appliquer une brosse métallique sur la surface du béton encore frais, bien que la masse du béton doive être saturée d'eau. Afin d'assurer une liaison optimale entre le nouveau béton et l'ancien, l'application d'un revêtement de résine époxy est conseillée.

## 6. SPECIFICITE DES JOINTS EN BCR

### 6.1. Joints de contraction

Les fonctions principales des joints de contraction (de retrait) sont de maîtriser les effets de confinement causés par les fondations et les appuis, et de permettre le retrait du béton sans provoquer la fissuration du barrage. Les principaux problèmes soulevés par la fissuration sur les barrages BCR comme sur d'autres barrages-poids sont l'aspect extérieur, la pérennité et la maîtrise des fuites. L'espacement des fissures qui s'étendent sur toute la hauteur et toute l'épaisseur d'un barrage et résultent du confinement par les fondations est directement lié à une variation de température, à la période au cours de laquelle elle se produit, à la résistance à la traction du béton à l'époque en question, au coefficient de contrainte du béton au cours de la période en question. Les variations thermiques qui affectent l'ensemble d'un barrage dépendent de nombreux facteurs mais principalement des conditions ambiantes, de la progression des travaux et des dimensions et forme du barrage. Les variations de température sont nettement plus rapides en surface. La fissuration en surface est généralement due au confinement par le béton interne plutôt qu'à celui causé par les fondations et est donc limitée en profondeur. Le confinement par les fondations peut contribuer à la fissuration en surface sur un barrage construit sans joints de contraction; toutefois, la propagation des fissures de surface diminue le confinement par le béton interne, de telle sorte qu'il n'y aura propagation ultérieure que si le volume continue à diminuer. Dans la plupart des cas, les variations critiques de volume dans les parties basses de l'ouvrage peuvent être empêchées par le bétonnage par temps froid et par l'utilisation d'un béton à faible chaleur d'hydratation. Lorsque la mise en place aura lieu par temps chaud ou très chaud, il faudra prendre des mesures supplémentaires pour empêcher la fissuration et, dans certaines conditions, il sera impossible d'éviter les variations critiques de volume.

Le barrage Alpe Gera a été construit en Italie sans joints de contraction coffrés. Cet ouvrage ne différait des barrages en BCR munis de joints que par la méthode de compactage du béton. Le béton était transporté et déposé par des camions-dumpers, étalé par des bulldozers et compacté par des pervibrateurs montés sur tracteurs. Le béton présentait un faible taux d'affaissement. Les joints de contraction ont été découpés environ 12 heures après la consolidation du béton, au moyen de lames vibrantes montées sur un tracteur. Des joints analogues ont été prévus pour le barrage Elk Creek aux États-Unis. Pour éviter la propagation de fissures incontrôlées à partir de la surface supérieure, il n'est pas nécessaire d'adopter un espacement entre de tels joints plus serré que la hauteur moyenne du barrage au-dessus des fondations.

Des études consacrées au dégagement de chaleur et à l'augmentation de température dans des éléments massifs en BCR montrent que le bétonnage par couches successives et continues peut avoir un effet bénéfique: la distribution uniforme de la température dans la masse limite la fissuration. La cadence moyenne de bétonnage peut avoir un effet encore plus significatif sur l'augmentation maximale de la température que la hauteur des couches.

Les joints de contraction, caractéristiques de la conception des barrages en béton traditionnel, ne sont pas, en règle générale, spécifiés pour la plupart des barrages BCR construits ou projetés jusqu'à ce jour, sauf en ce qui concerne le barrage Elk Creek aux États-Unis. La doctrine la plus couramment adoptée est que la mise en place du BCR peut s'accompagner d'une dissipation de chaleur ne provoquant que de faibles variations de volume lorsque le matériau est caractérisé par un faible dosage en eau et en ciment, d'où une plus faible nécessité de joints de contraction. De plus, la moindre saturation et le meilleur contact des granulats entre eux, par rapport au béton

classique, diminuent le fluage. Cela peut être identique à ce qui est attendu de l'utilisation de granulats à granulométrie discontinue.

## 6.2. Joints de reprise

Des joints de reprise horizontaux peuvent être envisagés ou non. Lorsqu'une levée n'a pas encore été recouverte avant la prise initiale, un joint sec se forme entre les deux couches. Le temps requis pour la formation d'un joint sec dépend des conditions climatiques, de la quantité de ciment Portland dans le béton, du type et des caractéristiques de prise du ciment, ainsi que de l'utilisation d'adjuvants. Il peut y avoir avantage à utiliser des adjuvants retardateurs de prise, qui permettent de faire face à des retards imprévus et d'agrandir la surface de travail de la levée.

Le traitement des joints horizontaux de reprise ou de construction est différent de celui utilisé pour le béton de masse classique dans la mesure où il n'y a pas de ressuage durant la prise, donc pas de film de laitance à faible caractéristique mécanique à la surface. Le ressuage est le résultat d'un tassement durant la prise lorsque l'eau en excès se sépare du mélange et est déplacée vers la surface par les matériaux plus lourds. Le ressuage ne se produit pas dans un BCR convenablement dosé. Néanmoins, lors de la consolidation du BCR, une certaine quantité de pâte peut être ramenée à la surface. Si la cure du béton est convenable, il n'est pas nécessaire d'enlever cette pâte avant la pose d'une couche suivante.

Si le joint de reprise a été maintenu propre et humide pendant toute son exposition à l'air, un traitement n'est généralement pas indispensable. Si la surface a été contaminée par des saletés, de la boue ou tout autre élément étranger, le traitement prescrit devra inclure l'enlèvement des corps étrangers. La pratique courante australienne permet à la surface de sécher pendant une heure avant de la nettoyer au jet d'air pour enlever complètement les débris. Dans le cas où la surface s'est complètement asséchée et/ou un joint sec s'est formé, elle sera complètement nettoyée et il pourra être nécessaire de mettre en place un mélange spécial si la liaison avec la couche suivante est exigée. L'importance de la couche de liaison à mettre en place dépend du degré d'étanchéité requis et de la résistance au cisaillement nécessaire à la stabilité à cet endroit. Au barrage Elk Creek, États-Unis, un mortier de liaison au sable, de 6 à 12 mm d'épaisseur, fut utilisé sur chaque levée de 0,6 m d'épaisseur. Néanmoins, il faut aussi noter que plusieurs barrages BCR ont été construits avec succès sans couche de liaison.

Plusieurs matériaux de liaison ont été utilisés, étudiés et évalués. Il est impossible de dire lequel est le meilleur, vraisemblablement parce que les différents matériaux sont adaptés aux diverses techniques de construction, aux dosages du BCR et aux différents environnements. Par contre, il y a accord pour considérer que la couche de liaison est indispensable pour assurer l'étanchéité et une adhérence améliorée (traction et cisaillement) après l'apparition d'un joint sec. Des coefficients marginaux de sécurité au glissement qui existent parfois dans les sections supérieures d'un barrage peuvent être améliorés quand on utilise des matériaux de liaison convenablement conçus et appliqués.

Lorsqu'on doit utiliser un matériau de liaison, l'USBR et l'US Army Corps of Engineers (États-Unis) adoptent un béton riche en pâte, plus humide que l'optimum, avec des granulats inférieurs à 19 mm. L'USBR se base sur les expériences faites au barrage Upper Stillwater, aux États-Unis, où le BCR était caractérisé par une plus grande résistance, des granulats plus petits et une teneur relativement élevée en pâte. La même attitude a été adoptée par le Corps lors de la construction du barrage Willow Creek, aux États-Unis; elle reposait aussi sur des résultats de planches d'essais. Néanmoins, au barrage Willow Creek, cette technique ne devait, en fait, apporter que peu d'avantages et a donné naissance à des problèmes d'ordre pratique au niveau du malaxage et du bétonnage.

L'épaisseur de la couche de liaison sera identique à la taille maximale des granulats du béton. Les carottes de vérification ont toujours montré que cette méthode assurait une liaison complète entre les couches de BCR. Le matériau de liaison se fond dans le BCR sans laisser apparaître de lit de mortier ou de liaison qui puisse être clairement individualisé.

La couche de BCR est mise en place sur la couche de liaison pendant que celle-ci conserve son slup ou sa maniabilité, puis le compactage fait pénétrer le BCR dans la couche de liaison. Si elle est trop mince, la liaison peut se trouver réduite. Si elle est trop épaisse, elle modifiera le dosage de la couche BCR se trouvant au-dessus et aura un effet néfaste sur le compactage convenable du mélange au rouleau. Cela peut conduire à une diminution des densités -, accompagnée d'une réduction de résistance. «slump»

## 7. VIEILLISSEMENT DES JOINTS DE STRUCTURE

Les joints de structure ont pour but de permettre certains mouvements à des parties d'ouvrages, et d'éviter certaines fissurations. Ces joints, qui sont soit remplis par injection, soit laissés ouverts définitivement, peuvent être classés en deux catégories:

- 1) les joints de retrait, qui permettent notamment le retrait thermique lors de la dissipation de la chaleur d'hydratation du ciment, peuvent être transversaux ou circonférentiels;
- 2) les joints d'articulation, destinés à améliorer le comportement du barrage dans les conditions normales de service et dans les conditions extrêmes. Tels sont les joints périmétraux qui peuvent être ménagés entre un socle de fondation (pulpino) et le corps d'un barrage-voûte ou poids-voûte, et les joints de crête de certains barrages.

Les joints sont équipés d'un système d'étanchéité, qui consiste le plus souvent en une bande disposée à cheval du joint; elle est soit en caoutchouc naturel ou synthétique, soit en polychlorure de vinyle, soit en cuivre ou acier inoxydable. Un dispositif secondaire est souvent aménagé, sous la forme de puits remplis d'un composé bitumineux placés en travers des joints, ou de couvrejoints en béton armé appuyés sur le parement amont.

Neuf exemples relatifs au vieillissement des joints sont répertoriés en annexe. Ils concernent surtout la dégradation de l'étanchéité de joints de retrait et la formation de joints naturels par fissuration, notamment dans de vieux ouvrages construits sans joint ou avec des joints trop espacés. En réalité, la formation de joints naturels consécutive au retrait, notamment thermique, n'est pas un phénomène de vieillissement; cependant elle facilite la dégradation ultérieure des matériaux au voisinage de la fissure.

Dans le cas des barrages en maçonnerie, la fissuration peut apparaître par le jeu des variations de la température ambiante, après plusieurs années d'exploitation. En général, la formation de joints naturels ne compromet pas la sécurité de l'ouvrage, mais elle peut en gêner l'utilisation, et elle peut conduire à des dégradations à l'intérieur du corps du barrage.

Le vieillissement du dispositif d'étanchéité est souvent lié à une dégradation progressive des angles amont des plots du barrage, ou des couvrejoints en béton armé. Ces dégâts se produisent surtout sous les climats froids, sous l'action des cycles de gel-dégel et du frottement des glaces. La dégradation du dispositif d'étanchéité ouvre un passage à l'eau, permettant l'établissement de

sous-pressions dans le barrage, notamment en cas d'absence d'un encastrement dans la fondation, ainsi qu'une attaque chimique des matériaux.

Le vieillissement des joints a le plus souvent été décelé par des inspections visuelles, qui ont permis de voir des taches humides ou une fissuration, et par les mesures de fuites. Pour reconnaître les dégradations dans les zones noyées, on peut avoir recours à des véhicules téléguidés équipés de caméras de télévision ou à des plongeurs. On est parfois obligé de vider la retenue. On a eu parfois recours à des prélèvements de carottes, à des examens en sondage par caméra, ainsi qu'à des méthodes géophysiques.

La progression du vieillissement est suivie à l'aide de contrôleurs de joint placés sur des fissures accessibles, de la mesure des débits de fuite, et de photographies périodiques des parements et des galeries de visite.

Les réparations du dispositif d'étanchéité consistent en général à refaire le couvre-joint en béton. Les joints naturels doivent être laissés ouverts afin qu'ils puissent jouer leur rôle, notamment dans les barrages-poids. On peut utiliser, pour les étancher, un cordon d'étanchéité de caractéristiques mécaniques appropriées placé à l'amont sur la trace de la fissure, ou un couvre-joint en béton armé.

## 8. CONCLUSIONS

La nécessité de décomposer en tranches séparées par des joints les barrages gravité construits en béton plastique ne paraît pas discutable et n'est plus discutée : les règlements techniques en ont adopté partout la formule ; faute d'une organisation dirigée, le barrage s'organise lui-même et c'est beaucoup plus grave que les hypothèses, sur lesquelles s'appuie le calcul de stabilité, peuvent en être complètement bouleversées.

Sans doute, les joints paraissent être un point faible des ouvrages ; l'importance relative des pertes par joints par rapport aux pertes totales semblerait militer par leur suppression ou leur limitation. Il convient de mettre la chose au point :

1. Les pertes par joints telles que nous les avons indiquées comportent tout autre chose que des passages d'eau normaux ; nous renvoyons à une étude que nous avons eu l'occasion de faire à ce sujet ; il en résulte qu'en définitive les pertes par joints ne représentent pas plus de 30% des pertes totales.

2. Les pertes par joints, lorsqu'elles y sont bien canalisées n'ont que des inconvénients assez faibles ; un débit relativement gros empruntant un joint a bien moins d'inconvénients qu'un débit beaucoup plus faible mettant en charge une fissure longitudinale ou le joint béton-rocher, ou imprégnant le béton.

### *Sur la répartition des joints*

Les joints ne doivent pas être uniformément répartis ; leur position doit être choisie en fonction des formes du barrage et notamment des discontinuités de ses parements, en fonction aussi de la forme du fond de fouille et de ses discontinuités locales lorsqu'on n'a pas pu les éviter.

En tant qu'organes palliant au retrait de prise deux joints ne doivent pas être distants de plus de 15 mètres, et cette distance doit encore être réduite, en même temps que l'épaisseur du barrage, pour tenir compte de la symétrie vraisemblable des effets du retrait de prise, sans que le retrait par l'effet de la température extérieure le justifie autant. On peut imaginer que, le retrait de prise à peu près terminé, ces joints soient définitivement calfatés.

Par contre, la sensibilité des masses de béton à la température extérieure, même pour les masses épaisses que constituent les tranches d'un barrage, nécessite le maintien en cours d'exploitation de joints palliant aux contractions dues au froid.

D'où un certain nombre de joints prévu pour le retrait de prise seront organisé pour être conservés comme joints de contraction.

Et l'on arrive ainsi à la discrimination de joints de contraction appelés à demeurer et des joints de construction que l'on obturera lorsqu'ils auront rempli leur rôle.

### *Sur la constitution des joints*

Les joints doivent, en principe, descendre jusqu'au fond de fouille. Le bétonnage de chaque tranche doit s'exécuter sans interruption notable.

En ce qui concerne la forme des joints, le système à redans ne paraît présenter aucune utilité et il a des inconvénients manifestes surtout en ce que les redans sont fréquemment l'amorce de fissurations longitudinales dont la gravité est toute spéciale. Le joint uni paraît la solution logique dans les barrages-gravité ; sa réalisation sur quelques ouvrages n'ai d'ailleurs donné lieu à aucun mécompte.

Le dispositif d'étanchéité des joints de contraction gagne à être conçu aussi simple que possible ; le système à simple lame de cuivre soudé, soit rectiligne, soit en Z, paraît suffisant, complété par un traitement particulièrement soigné des parements de béton situés en amont du dispositif.

La meilleure solution paraît, à notre sens, l'exécution des ouvrages massifs gravité par tranches indépendantes clavées après retrait suffisant : les dimensions des claveaux devraient être assez réduites pour assurer un retrait insignifiant tant sous l'effet de la prise que sous l'effet de la température, et suffisantes pour permettre de traiter rigoureusement les faces des voussoirs principaux que constituent les blocs de barrages et exécuter parfaitement le bétonnage du claveau.

Pour les barrages en voûtes minces l'utilité des joints de retrait est la même que dans les barrages-gravité; leur écartement devra être plus faible, en fonction de l'épaisseur.

L'effet de voûte suffit à compenser la contraction due à la température extérieure ; dans les parties basses, il n'en est pas de même mais l'effet de température est insignifiant sur la face amont protégée par l'eau.

Par contre, le travail en arc, qui institue une sorte de voûte active à l'intérieur de la voûte réelle, aboutit à faire ouvrir systématiquement un certain nombre de joints vers l'amont ou même à en créer s'il n'en existe pas ; il semble que des reins doivent s'organiser aussi bien que dans une voûte de pont, leur emplacement seul étant modifié, et de façon un peu incertaine, par l'effet d'ancrage de voussoirs dans le sol. Nous croyons qu'il est nécessaire d'aménager ces joints pour éviter la pénétration de l'eau en charge dans les bétons.

Les joints qui, au contraire, sont nécessairement formés à l'amont, gagneraient à être obturés définitivement après que le retrait s'est suffisamment réalisé.

La détermination des joints à obturer et de ceux à maintenir sera délicate ; les essais sur modèles réduits pourront donner à ce sujet des renseignements précieux.

C'est volontairement que nous avons réduit à ces courtes indications ce que nous pensons des joints dans les barrages en voûtes minces, ayant tenu à limiter la présente étude à l'examen des seuls faits observés par nous-mêmes et sur un nombre de barrages suffisant pour y trouver des confirmations satisfaisantes, en y ajoutant les réflexions que cette observation de plusieurs années nous a suggérées.

Nous avons donc préféré borner aux barrages-gravité l'étude qui nous a été demandée comme modeste contribution aux travaux de la conférence.

### *Joints longitudinaux et joints verticaux transversaux*

On estime nécessaires des joints verticaux ou presque verticaux dans les barrages-poids en béton classique de masse, car l'expérience indique que s'ils ne sont pas prévus, le béton présente des fissures verticales. Une expérience intéressante a montré que des joints transversaux tous les 15 à 20 m étaient justifiés. Dans tous les autres documents traitant de barrages en béton classique de masse, des joints sont indiqués. Lorsque les barrages sont très épais à la base (par exemple plus de 40 m), on estime parfois nécessaires des joints longitudinaux tous les 20 m).

Pour des barrages-poids RCD (Roller Compacted Dam), dans lesquels, on découpe des joints transversaux à l'aide d'une lame vibrante spéciale, ou on laisse les joints ouverts, c'est-à-dire qu'on ne les clave pas après construction. Très souvent, on n'a pas estimé nécessaires des joints dans des barrages en BCR convenablement calculés et construits. Dans le cas de joints découpés à l'aide d'un fil d'acier diamanté, on a prévu des «waterstops» spéciaux pour permettre la circulation de l'eau froide dans les joints.

Ces joints ont été ensuite remplis de mortier ou de coulis à travers des trous d'injection perforés depuis l'extérieur. On a laissé seulement quatre joints verticaux dans le barrage de Santa Eugenia, de 285 m de longueur. Dans les études décrites, on a conclu que la distance entre joints verticaux pouvait atteindre 40 m sans poser de problème de fissuration. On n'a pas mentionné de nouveaux progrès dans le traitement des joints des barrages en béton classique. Toutefois, on décrit des études et des calculs pour le contrôle des travaux habituels d'injection des joints de construction verticaux. Dans un cas rapporté, on a laissé des "initiateurs" de joints ou de fissures tous les 15 m pour assurer des joints verticaux. On se réfère également aux entailles en "V" laissées sur le parement amont du barrage de Middle Fork pour servir "d'initiateurs" de fissures pour le retrait et la contraction thermique et indique une méthode "d'induction de joints" mise au point après essais lors de la construction d'un barrage en BCR à la fin des années 70.

Les joints qui, au contraire, sont nécessairement formés à l'amont, gagneraient à être obturés définitivement après que le retrait s'est suffisamment réalisé.

La détermination des joints à obturer et de ceux à maintenir sera délicate ; les essais sur modèles réduits pourront donner à ce sujet des renseignements précieux.

C'est volontairement que nous avons réduit à ces courtes indications ce que nous pensons des joints dans les barrages en voûtes minces, ayant tenu à limiter la présente étude à l'examen des seuls faits observés par nous-mêmes et sur un nombre de barrages suffisant pour y trouver des confirmations satisfaisantes, en y ajoutant les réflexions que cette observation de plusieurs années nous a suggérées.

Nous avons donc préféré borner aux barrages-gravité l'étude qui nous a été demandée comme modeste contribution aux travaux de la conférence.

### *Joints longitudinaux et joints verticaux transversaux*

On estime nécessaires des joints verticaux ou presque verticaux dans les barrages-poids en béton classique de masse, car l'expérience indique que s'ils ne sont pas prévus, le béton présente des fissures verticales. Une expérience intéressante a montré que des joints transversaux tous les 15 à 20 m étaient justifiés. Dans tous les autres documents traitant de barrages en béton classique de masse, des joints sont indiqués. Lorsque les barrages sont très épais à la base (par exemple plus de 40 m), on estime parfois nécessaires des joints longitudinaux tous les 20 m).

Pour des barrages-poids RCD (Roller Compacted Dam), dans lesquels, on découpe des joints transversaux à l'aide d'une lame vibrante spéciale, ou on laisse les joints ouverts, c'est-à-dire qu'on ne les clave pas après construction. Très souvent, on n'a pas estimé nécessaires des joints dans des barrages en BCR convenablement calculés et construits. Dans le cas de joints découpés à l'aide d'un fil d'acier diamanté, on a prévu des «waterstops» spéciaux pour permettre la circulation de l'eau froide dans les joints.

Ces joints ont été ensuite remplis de mortier ou de coulis à travers des trous d'injection perforés depuis l'extérieur. On a laissé seulement quatre joints verticaux dans le barrage de Santa Eugenia, de 285 m de longueur. Dans les études décrites, on a conclu que la distance entre joints verticaux pouvait atteindre 40 m sans poser de problème de fissuration. On n'a pas mentionné de nouveaux progrès dans le traitement des joints des barrages en béton classique. Toutefois, on décrit des études et des calculs pour le contrôle des travaux habituels d'injection des joints de construction verticaux. Dans un cas rapporté, on a laissé des "initiateurs" de joints ou de fissures tous les 15 m pour assurer des joints verticaux. On se réfère également aux entailles en "V" laissées sur le parement amont du barrage de Middle Fork pour servir "d'initiateurs" de fissures pour le retrait et la contraction thermique et indique une méthode "d'induction de joints" mise au point après essais lors de la construction d'un barrage en BCR à la fin des années 70.