

Réservoirs de Bernex (2): Nouvelles cuves en béton apparent étanche

Autor(en): **Rojas, Johnny**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **119 (1993)**

Heft 22

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78083>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Réservoirs de Bernex (2)

Nouvelles cuves en béton apparent étanche

Par Johnny Rojas
ing. EPFL/SIA,
Tremblet SA,
rue de Montbrillant 27,
1201 Genève

Introduction

Le réaménagement des réservoirs d'eau potable de Bernex comprend la construction de trois nouvelles cuves (D, E et F) de forme irrégulière et d'une capacité totale de 24 600 m³ (fig. 4 et 5).

Afin de minimaliser les frais d'investissement et d'exploitation, la construction, identique pour les trois nouvelles cuves, devait être solide et massive, d'une exécution simple, durable et facile à entretenir. Répondant au mieux à ces critères, c'est une solution en béton apparent étanche qui fut retenue [2, 4, 5]¹.

Un ouvrage de cette nature doit satisfaire à des exigences élevées et, pour y parvenir, un contrôle systématique de la qualité doit être exercé, portant à la fois sur les matériaux mis en œuvre, les détails de construction et les procédés utilisés.

Description générale

Radiers

Etant donné les conditions géologiques locales, les cuves sont fondées sur des pieux. Le sol, constitué par une ancienne carrière de gypse et de ce fait sujet à des tassements importants, ne participe pas à l'appui de la structure. Ainsi, la poussée de l'eau (la hauteur d'eau maximale retenue pour le calcul était de 7,5 m) aurait engendré des efforts de traction importants dans le radier, non compensés par la poussée des terres, si ce dernier reposait directement sur les

¹Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

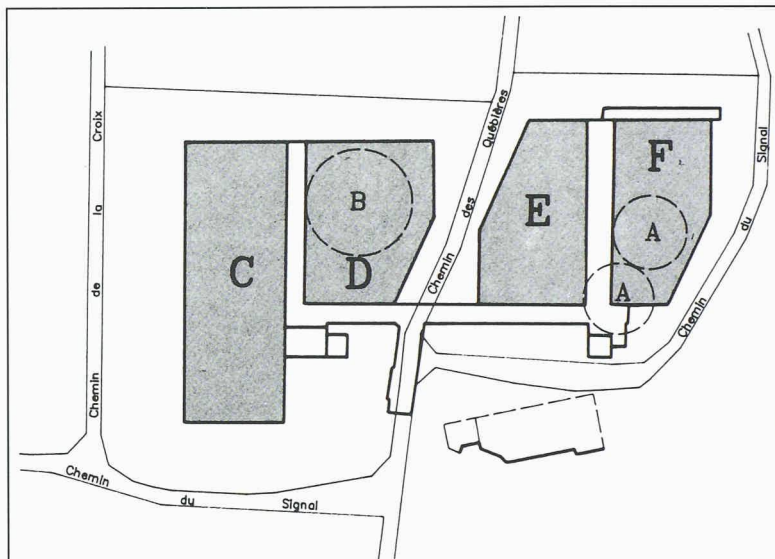


Fig. 4. - Réservoirs de Bernex: plan de situation

pieux. Un tel radier aurait en effet dû avoir une épaisseur considérable et aurait posé des problèmes ardues de fissuration.

Pour éviter cette situation, on a fait appel à la solution suivante:

- un sous-radier de 40 cm d'épaisseur, reposant sur des pieux, est construit en béton armé à base de ciment sursulfaté «Sulfix» (à cause de l'ancienne carrière de gypse sous-jacente);
- une couche de PVC est collée sur ce sous-radier;
- le radier lui-même est exécuté en béton étanche apparent de 50 cm d'épaisseur;
- une précontrainte bidirectionnelle par mono-torons injectés de 0,6" de diamètre est appliquée sur le radier, exerçant une contrainte

centrée de 1,8 N/mm² au temps infini.

Le dimensionnement de cette structure conjuguée, radier et sous-radier, tient compte d'une rigidité du sous-radier à l'état fissuré.

Parois

Les parois des cuves, en béton étanche apparent, ont une épaisseur de 50 cm et leur partie supérieure est inclinée à 45°.

Couverture

Afin de minimiser les charges sur les réservoirs, qui doivent supporter un recouvrement de terre important pour reconstituer une forme topographique donnée, des caissons d'évidement ont été construits et le remblayage réalisé partiellement avec des granulés d'argile soufflée.

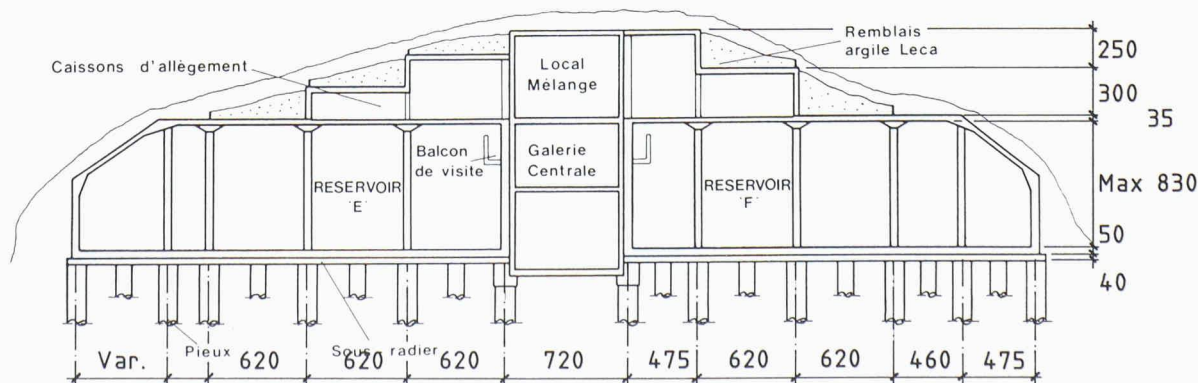


Fig. 5. - Réservoirs de Bernex: coupe transversale des cuves E et F

Tableau 4. Contrôle de qualité général des réservoirs de Bernex en béton étanche apparent

Mesures (AQ)	Contrôle de qualité (CQ)	Critère de qualité
<p><i>A. Béton en tant que matériau de base</i></p> <p>A.1 Installation de fabrication – Centrale de fabrication foraine avec silos de fractionnement des agrégats et dispositifs de dosage automatique y compris celui des adjuvants</p> <p>A.2 Mise en place du matériau – Elaboration des directives de mise en place et de pervibration et emploi de personnel constant – Cure du béton</p> <p>A.3 Formulation du béton</p> <p>A.3.1 Analyse qualitative des granulats de la gravière de l'entreprise</p> <p>A.3.2 Etablissement de la courbe granulométrique «idéale»</p> <p>A.3.3 Formulation du béton étanche sur la base de la courbe A.3.2</p>	<p>Entretien fréquent Calibrage de la centrale (partage des temps de mise en place des matériaux et de malaxage) Contrôle du dosage</p> <p>Contrôle à vue du béton par le personnel (machiniste de la centrale à béton, vibreurs, direction locale des travaux) Vérification du dispositif</p> <p>Essai de propreté (No 12 SIA 162 1989) Contrôle de régularité de la production</p> <p>Analyse granulométrique</p> <p>Essais préliminaires de béton (Analyses comparatives)</p>	<p>Peu de pannes Temps de malaxage minimal environ 2 minutes Dosage régulier dans le temps Production homogène $E/C < 0,47$</p> <p>Maniabilité Remontées d'eau ou d'adjuvant Apparence Coefficient de serrage (Walz), Slump environ 10 cm Temps de cure 7 à 15 jours selon température</p> <p>Epaisseur de la couche de flocculat 3 mm Absence de concassé calcaire, mica, coefficient de forme</p> <p>Courbe granulométrique de référence</p> <p>Coefficient de serrage (corrélation) env. 1,2 Résistance $\beta_{w28} > = 35$ MPa Pénétration d'eau < 5 cm (48 h à 10 atm) Remontée capillaire Essais de mesure du retrait</p>
<p><i>B. Eléments et détails de construction</i></p> <p>B.1 Planification très détaillée des étapes d'exécution: Dimensions et forme des étapes de bétonnage Position précise des arrêts de bétonnage Joints de clavage Temps de décoffrage des murs</p> <p>B.2 Choix de dispositifs d'étanchéité adéquats Ecarteurs de coffrage Bandes d'étanchéité avec raidisseur incorporé Connections avec les incorporés Traitement des surfaces d'arrêt de bétonnage</p> <p>B.3 Plan d'armature et de précontrainte de béton étanche: Etude de la densité d'armature en fonction de la mise en place optimum du béton (choix des diamètres, espacement, façonnage, enrobage) Limitation de l'ouverture des fissures Choix d'armatures revêtues d'Epoxy pour les éléments à risque élevé de carbonatation (mélangeur d'eau dégageant du CO_2)</p>	<p>Examen de conformité par rapport au plan d'exécution Suivi du planning Respect du temps de clavage Respect du délai de durcissement minimum</p> <p>Examen de la conformité de position Isolation entre eux des aciers de potentiel différent Vérification du traitement du joint (Rugasol plus lavage à pression)</p> <p>Conformité par rapport au plan d'armature Dimensionnement Manutention, entreposage Ligatures ad hoc Isolation entre aciers de potentiels différents</p>	<p>Temps de bétonnage par étape Rapports de forme de «moindre retrait» Hauteur de l'étape maximum 5 m plus goulotte Temps de cure du béton Clavage à 3 mois 7 à 15 jours selon météo</p> <p>Fixations rigides Pas de jeu Rugosité du joint Pas de nid de gravier</p> <p>Enrobage 40 mm Emploi de taquets à haute résistance $W_{95\%} < 0,2$ mm Intégrité du revêtement Epoxy</p>
<p><i>C. Surfaces au contact de l'eau potable</i></p> <p>C.1 Choix du système de coffrage des murs Structure rigide non déformable Surface lisse avec peau remplaçable Étanchéité des joints entre panneaux</p> <p>C.2 Traitement des surfaces des murs Lavage à 200 bars environ Application d'une masse à égaliser à base de ciment à deux composantes Ponçage des crénelures au droit du jointoyage entre panneaux de coffrage Connections avec les incorporés Traitement des surfaces d'arrêt</p> <p>C.3 Traitement de surface des radiers Suppression des fers en attente des piliers Emploi de connecteurs Moyens performants de talochage (hélicoptère) Protection de la surface Traitement de lissage</p>	<p>Essais en vraie grandeur sur murs de la galerie N° 1 Système porteur et appuis Examen des panneaux, renouvellement Etat des joints</p> <p>Essais préliminaires sur les murs de la galerie N° 2 Essais préliminaires à la meule Suivi du traitement</p> <p>Contrôle visuel</p>	<p>Aspect général Verticalité, alignement Etat de la surface Pas de fuite de laitance</p> <p>Eclatement des pores Colmatage des pores Surface arrondie lisse</p> <p>Élimination des fissures des surfaces Aspect général aussi lisse que possible</p>

Assurance de la qualité

La gestion de la qualité d'un grand chantier de béton apparent étanche porte essentiellement sur trois aspects: le béton en tant que matériau de base, les éléments et détails de construction ainsi que les surfaces en contact avec l'eau potable.

Le tableau 4 montre les mesures destinées à obtenir la qualité désirée d'une part (AQ) et les opérations permettant de certifier que ces mesures ont été exécutées (CQ) d'autre part. Le critère global de qualité en ce qui concerne l'étanchéité a été fixé à une variation de niveau de l'eau de quelques millimètres (environ 5 mm) en 48 heures. Cet objectif a été atteint, puisque cette variation est demeurée imperceptible, soit en deçà de 1 mm dans ce délai.

Bétons

La qualité des bétons employés est, naturellement, déterminante pour l'aptitude des éléments à remplir leur fonction et elle doit être adaptée à celle-ci. Ainsi, un type de béton a été utilisé pour le sous-radier et un autre pour le radier, les parois et les colonnes des cuves.

Le béton du sous-radier porteur – en contact avec la terre sous-jacente contenant du gypse, mais pas avec l'eau contenue dans les réservoirs, et non soumis aux exigences d'étanchéité – présente les caractéristiques suivantes:

- ciment «Sulfix»: 325 kg/m³
- granulométrie: 0-30 mm
- rapport $E/C < 0,5$
- adjuvant: aucun
- résistance: $\beta_{w28 \text{ moyen}} = 32 \text{ MPa}$ (moyenne de 70 essais environ).

Quant au béton étanche des cuves, en voici la composition initialement prévue, à base de ciment Portland:

- BS ciment CP < 350 kg/m³
- $E/C < 0,5$
- béton de qualité BS selon la norme SIA 162, édition 1968, en vigueur au moment de l'établissement de l'offre, essais préliminaires compris dans l'offre
- maniabilité devant être augmentée à l'aide d'adjuvants.

Ce béton devait répondre aux exigences de laboratoire suivantes:

- résistance: $\beta_{w28} \geq 35 \text{ MPa}$
- étanchéité: pénétration maximale 5 cm en 48 h sous 10 atm.

Après l'adjudication, la campagne des essais préliminaires a débuté au Laboratoire du Département des matériaux (DMX) de l'EPFL. Les essais systématiques suivants ont eu lieu sur des bétons confectionnés avec les agrégats provenant de la gravière choisie par l'entreprise:

- analyse granulométrique
- recherche de la composition granulométrique dite «optimale», c'est-à-dire pouvant être atteinte avec une grande probabilité
- confection de six sortes de bétons à base de ciment d'Eclépens et d'une sorte à base de ciment «Sulfix»
- établissement des courbes de corrélation d'une part entre le coefficient de serrage et la teneur en eau, d'autre part entre le coefficient de serrage et la masse volumique apparente du béton frais
- essais de pénétration à 48 h sous 10 atm.

Les essais en vraie grandeur, réalisés au début des travaux sur les murs d'une galerie, ne furent cependant pas entièrement satisfaisants, car ces murs présentaient des «marbrures» de surface. Pour optimiser la qualité de la surface intérieure des parois et piliers des cuves ainsi que pour maintenir la maniabilité du béton frais, la composition du béton obtenu en laboratoire a été ajustée comme suit:

- ciment d'Eclépens CPN 325 kg/m³
- chaux 30 kg/m³
- E/C' ($C' = \text{ciment} + \text{chaux}$) = environ 0,41
- adjuvants superfluidifiants et réducteurs d'eau: 1,2% de Rhéobuild 716 (utilisé en hiver) et Rhéobuild 561 (utilisé en été).

Le béton fut fabriqué par une centrale installée sur place et les agrégats, d'une granulométrie de 0 à 30 mm, devaient provenir d'une source identique pendant toute la durée du chantier, étendue sur environ trois ans. Grâce à ces précautions, la production de béton frais et la qualité du béton coulé après décoffrage s'avèrent d'une grande uniformité. Les essais effectués pendant la construction

donnèrent les résultats suivants:

- résistance sur cubes:
 $\beta_{w7 \text{ moyen}} = 38 \text{ MPa}$
 $\beta_{w28 \text{ moyen}} = 46,8 \text{ MPa}$ (moyenne de 43x3=129 essais)
moyennes par réservoir [MPa]:
D: 45,9; E: 46,6; F: 48
- essai d'étanchéité: pénétration à 48 h sous 10 atm:
moyenne de 57 (19 x 3) mesures:
2,7 cm
valeurs isolées: minimum 0,8 cm, maximum 7,5 cm.

Toutefois, malgré les panneaux de coffrage bakélisés, réutilisés au maximum trois fois sur les parois intérieures des cuves, un traitement des surfaces, comprenant les opérations suivantes, fut encore nécessaire:

- lavage à haute pression (180 bar) pour ouvrir les bulles d'air non visibles ou couvertes par la laitance de ciment
- ponçage des aspérités des panneaux de coffrages
- application manuelle d'un bouche-pores à base de ciment avec adjuvant à deux composants
- égalisation de la surface par ponçage manuel (passage de la pierre).

D'autres mesures ont encore dû être prises pour l'obtention d'une structure étanche et durable:

- enrobage minimal des armatures: 40 mm
- utilisation de taquets d'écartement en ciment à haute résistance
- renoncement aux tubes d'écartement de coffrage traversant les murs
- bétonnage à la goulotte
- limitation de la hauteur des étapes de bétonnage à 5 m
- temps de cure du béton 7 à 15 jours selon conditions atmosphériques
- bandes d'étanchéité auto-stables dans les joints de travail
- fermeture des joints de clavage après trois mois.

Etanchéité

Avant la mise en service, le recouvrement et le remblayage des parois des cuves, des essais d'étanchéité ont été réalisés. Ils permirent, outre un contrôle du niveau d'eau dans la cuve,

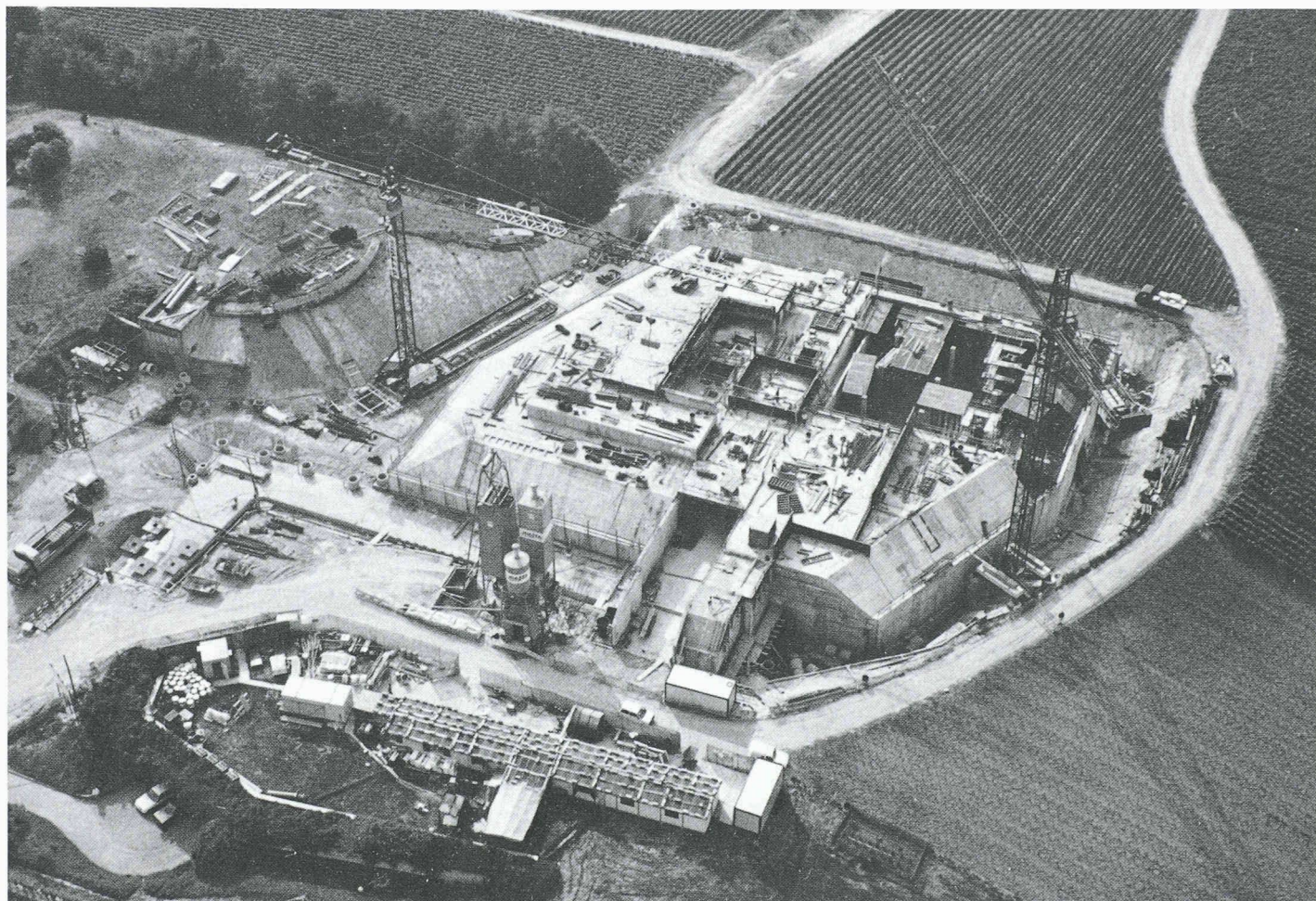


Fig. 6. – Réservoirs de Bernex: cuves E et F en construction

un contrôle complet des surfaces extérieures des murs.

Après le premier remplissage, une période d'une semaine a permis la saturation des parties mouillées du béton. La lecture du niveau d'eau dans les sept jours suivants ne montra pas de baisse mesurable pour les cuves D et F. Pour la cuve E, une baisse de 1 mm fut mesurée, le critère des pertes rapportées à la surface mouillée (pertes < 0,3 l/m²/jour), préconisé par la directive W6 de la SSIGE [1], étant ainsi rempli. Aucune apparition d'eau dans le système de drainage n'a pu être détectée pendant ces périodes d'essai. Seuls sont apparus quelques suintements dans la partie basse des murs à l'endroit de la reprise du bétonnage (radier-mur) correspondant probablement à des nids de gravier. Quelques fissures locales ont été constatées autour des pièces incorporées (hublots) où l'épaisseur du mur était localement diminuée. Tous ces endroits humides ont été repérés et injectés avec un produit à base de polyuréthane et ont disparu par la suite. On peut donc affirmer que les trois nouveaux réservoirs de Bernex sont parfaitement étanches.

Dimensionnement et étude de la fissuration

Modèles statiques

Le dimensionnement de la structure devait nécessairement aboutir à l'étude de la fissuration. De ce fait, les zones les plus sollicitées ont fait l'objet d'analyses détaillées. Les systèmes statiques vérifiés comprennent:

- la structure dans son ensemble: cadres plans (fig. 7),
- les dalles: pour le dimensionnement du radier et du sous-radier sur pieux, un système dalle sur dalle a été analysé,

- les parois porteuses, qui ont été traitées comme parois sur pieux comportant des portes et hublots,
- les interactions entre pieux, sous-radier, radier et murs: système 3D.

Cas de charge

Au moment de l'établissement du projet, en 1987, les normes SIA 160 et 162 étaient en révision. Le dimensionnement d'exécution a tenu compte, à cette époque, de l'évolution de ces normes.

Trois plans d'utilisation ont été pris en compte dans les calculs.

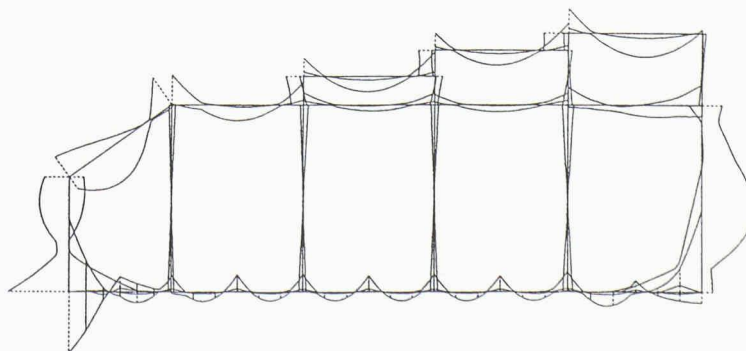


Fig. 7. – Examen de la structure dans son ensemble: diagramme des moments de flexion

Plan d'utilisation N° 1: essai d'étanchéité et enveloppe des efforts:

- poids propre
- poids et poussée de l'eau
- retrait (propre à chaque étape)
- gradient de température 12 à 35 °C
- température uniforme
- tassements différentiels sur pieux (tassements rapides).

Plan d'utilisation N° 2: état de service et enveloppe des efforts (stade de construction et état définitif), en plus des cas du plan d'utilisation N° 1:

- poids et poussées des terres
- tassements différentiels lents.

Plan d'utilisation N° 3: cas de charge exceptionnel, en plus des charges permanentes:

- pression dynamique des terres
- pression dynamique de l'eau: séisme selon projet de norme SIA 160, édition d'avril 1987. Les réservoirs ont été considérés comme appartenant à la classe III, soit comme des installations d'approvisionnement.

Fissuration

Les causes de la fissuration et les mesures pour la prévenir sont bien connues. Si toutefois ces mesures sont mal gérées, elles peuvent occasionner des défauts plus nuisibles que les fissures elles-mêmes. Ainsi par exemple, une armature trop dense peut être à l'origine de nids de gravier ou bien la multiplication de brèches peut entraîner le phénomène bien connu d'écartèlement (fissuration concentrée sur les joints de bétonnage).

Dans le cas des réservoirs de Bernex, la forme très irrégulière des cuves a nécessité une étude de la fissuration un peu plus poussée que d'habitude et les parois des cuves ont fait l'objet d'un contrôle de la fissuration horizontale et verticale.

Le manuel du CEB *Fissuration et déformations* [6] propose trois méthodes de contrôle de la fissuration: par limitation du diamètre des barres, par limitation de leur espacement ou par calcul direct. C'est cette dernière qui a été retenue pour la détermination

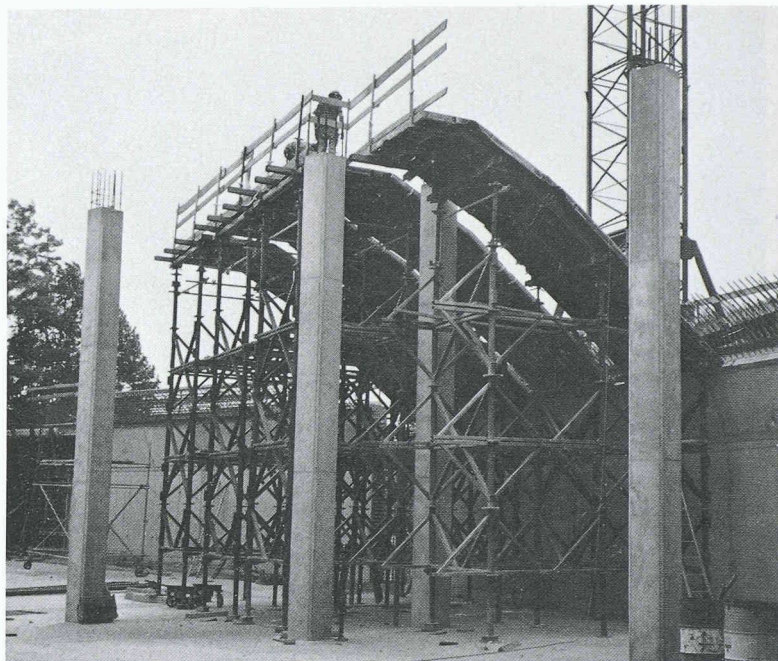


Fig. 8. - Réservoirs de Bernex: coffrage d'une dalle inclinée

de l'armature de fissuration des réservoirs.

Le contrôle de la fissuration a passé par les étapes caractéristiques de la gestion de la qualité, à savoir:

- inventaire et analyse des causes de fissuration: charges, retrait, variations de la température, tassements différentiels, étapes d'exécution, etc.;
- inventaire et analyse des mesures adéquates: armatures de fissuration, limitation du facteur E/C à moins 0,5, cure du béton, joints de clavage, emploi de ciments «expansifs» et d'adjuvants, dimensions et rapport de forme des étapes d'exécution, ordre de bétonnage, précontrainte pour le radier;
- détermination de l'objectif: le critère appelé «ouverture de fissure maximale» a été choisi; l'objectif visé était $W_{95\%} < 0,2$ mm, soit le critère statistique très fiable exigeant que 95% des fissures présentent une largeur inférieure à 0,2 mm, largeur favorable à l'auto-colmatage (il s'agit d'un critère qui n'est, en fin de compte, influencé que par un seul aspect du contrôle de la fissuration: l'armature) et il est évident que l'ensemble des mesures d'assurance qualité, prises à l'encontre du béton en tant que matériau de base et des éléments et détails de construction, ont influencé autant la fissuration que le seul taux d'armature;

- enfin, l'ensemble des mesures d'assurance de qualité, prises pour la fabrication et la mise en service du béton ainsi que les détails d'exécution, ont aussi agi de manière positive sur la fissuration.

Conclusion

La construction des trois réservoirs de grande capacité, en béton apparent étanche a respecté les exigences de coût, de délais et de qualité, tant grâce à l'option de départ du maître de l'ouvrage, qu'à une planification pragmatique et à un excellent esprit de collaboration du personnel de l'entreprise et du contremaître en particulier. L'étanchéité des structures a été obtenue grâce aussi à l'engagement du Laboratoire du Département des matériaux (DMX) de l'EPFL pour l'obtention de la courbe granulométrique idéale, les essais préliminaires de béton demandés par le mandataire et le suivi des essais de perméabilité, ainsi qu'aux bons soins de l'entreprise Dibeco à Lyssach (BE) pour l'exécution des joints d'étanchéité et le compactage systématique du béton.

Références bibliographiques

- [4] SKARDA, B.C.: «Béton apparent étanche», in Bulletin du ciment, 1982, N° 7
- [5] LINDER, R.: «Baukörper aus wasserundurchlässigem Beton», in Beton-Kalender 1986
- [6] CEB: «Manuel du CEB: fissuration et déformations», Lausanne, EPFL, 1983



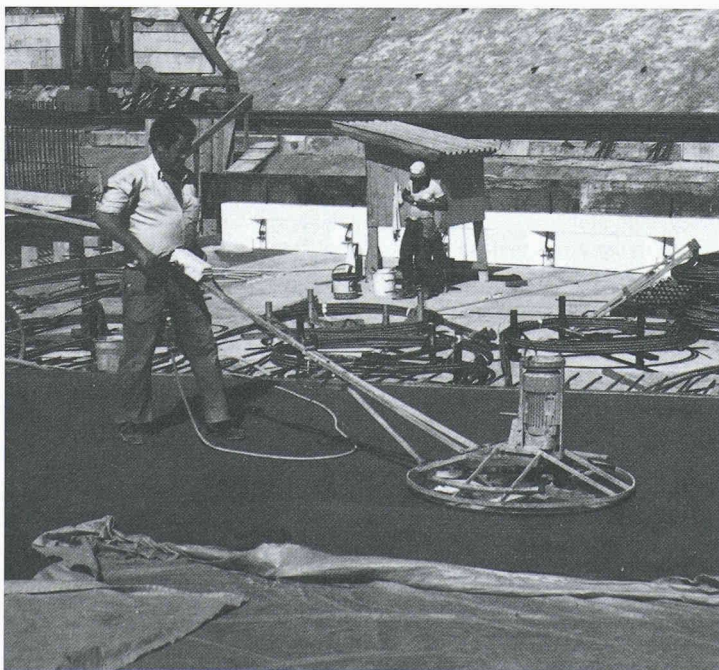
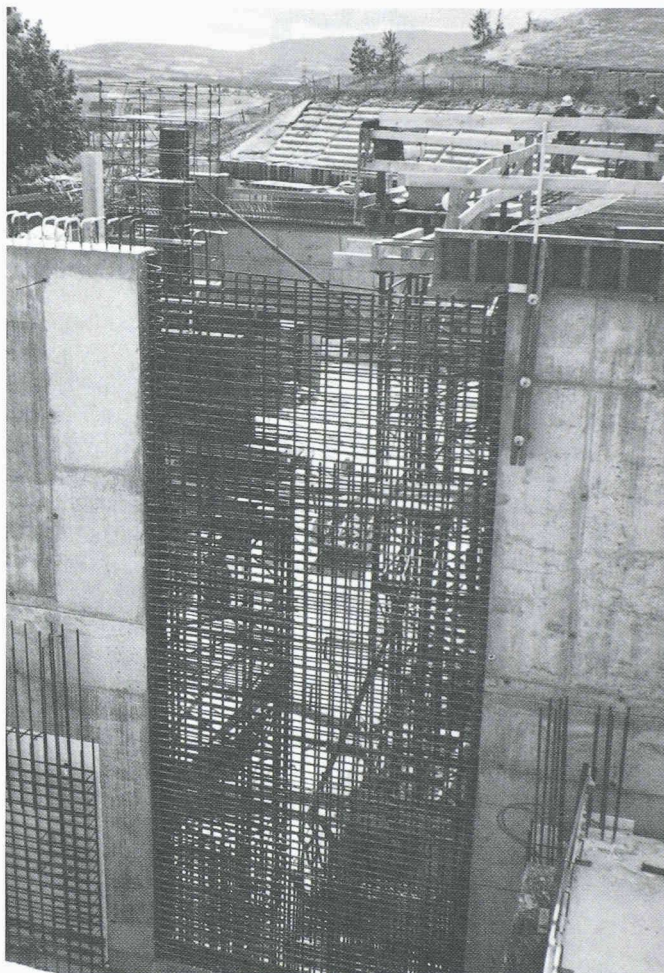
Instantanés de la réalisation

Ci-dessus: démolition du réservoir A

A droite en haut: joint de clavage d'un mur du réservoir D

A droite en bas: bétonnage des murs du réservoir avec des goulottes

Ci-dessous: talochage du radier «à l'hélicoptère»



Intervenants

Maître de l'ouvrage: Service des eaux des Services industriels de Genève

Architectes: Mentha & Rosset, Genève

Ingénieurs civils, projet et direction locale des travaux de béton armé et génie civil: Tremblet SA, ingénieurs civils EPF-SIA-ASIC, Genève

Géotechnique et fondations: GEOS ingénieurs conseils SA, Genève

Entreprises de construction: C. Zschokke, Miazza frères, Jacquet & Cie SA