

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 125 (1999)
Heft: 20

Artikel: Contrôle du voile d'étanchéité des barrages: modèle du Naret
Autor: Colombi, Alberto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79656>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Contrôle du voile d'étanchéité des barrages: modèle du Naret

Par Alberto Colombi,
Dr. ès sc.
Dr. Baumer SA,
Geologi Consulenti,
Via Locarno 60,
6612 Ascona

Les barrages hydroélectriques sont constitués de nombreux éléments dont seule la structure en béton marque la présence dans la nature. En fait, il s'agit d'ouvrages complexes, composés du mur de barrage en béton, du bassin d'accumulation des eaux (lac), d'un écran d'étanchéité de la roche sous le barrage, d'un système de drainage dans le rocher et dans le barrage, de conduites forcées, de captages de ruisseaux et de galeries d'amenée d'eau, ainsi que des centrales d'exploitation et de production d'énergie. Or l'interaction entre les eaux, le barrage et le voile d'étanchéité détermine la rapidité de dissolution de ce dernier, si bien qu'une analyse géochimique continue est nécessaire pour pallier des pertes trop importantes ou des risques menaçant la sécurité de l'ouvrage.

Le barrage, un système complexe

La construction d'un barrage commence par l'excavation des fouilles pour les fondations en rocher. Puis, au fond de la fouille, un écran d'étanchéité est injecté, afin de réduire fortement la perméabilité de la roche. Cet écran est réalisé grâce à de nombreux forages, de longueur et position définies, injectés de coulis bouchant les fissures ouvertes du rocher.

Une fois le barrage et tous les travaux annexes terminés, le remplissage du bassin commence et le lac monte jusqu'à atteindre la cote de service; celle-ci varie ensuite en fonction de l'utilisation de la centrale.

Le barrage est équipé de systèmes de mesure et de contrôle: température du béton, déformation, débits d'eau, pressions, etc. qui permettent la surveillance quasi continue. Tous les cinq ans, un rapport sur l'état de l'ouvrage est en outre présenté par un groupe d'experts. Rattaché en propre à chaque barrage, celui-ci réunit des ingénieurs et des géologues, ainsi que des représentants de l'Office fédéral de l'économie des eaux et des services de l'administration cantonale concernée.

Le système eaux-barrage-écran évolue avec le temps et détermine l'étanchéité de l'ouvrage. Le principal phénomène observé concerne l'eau du bassin, qui tend

à s'infiltrer dans le barrage et dans les fondations en rocher. C'est pourquoi un contrôle de la quantité et de la composition chimique de cette dernière est régulièrement effectué.

Contrôler la qualité des eaux d'infiltration

Les eaux de tous les lacs alpins, surtout dans les régions de roches cristallines, sont acides (pH inférieur à 7). Elles se caractérisent par un important potentiel de dissolution des composants les plus solubles de la masse rocheuse (par exemple les carbonates) et/ou de l'écran d'étanchéité, constitué de ciment injecté dans les fissures du rocher.

Lorsque trop d'eau s'infiltré sous le barrage, elle provoque des sous-pressions ce qui a tendance à «soulever» le pied aval de l'ouvrage; il s'avère alors nécessaire d'exécuter des drainages supplémentaires pour réduire ces pressions, avec l'inconvénient d'augmenter les débits d'eau d'infiltration. Or si un débit d'eau trop important circule sous le barrage, une dissolution progressive de cer-

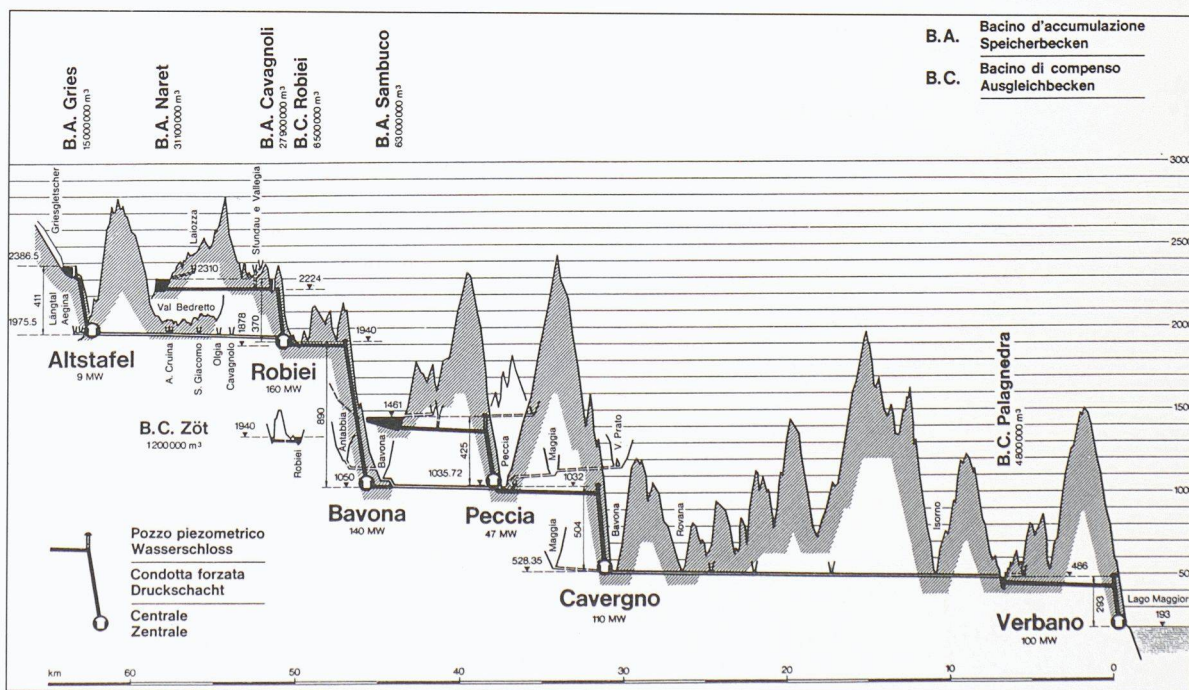


Fig. 1. - Profil longitudinal synthétique des installations des forces motrices de la Maggia (OFIMA)

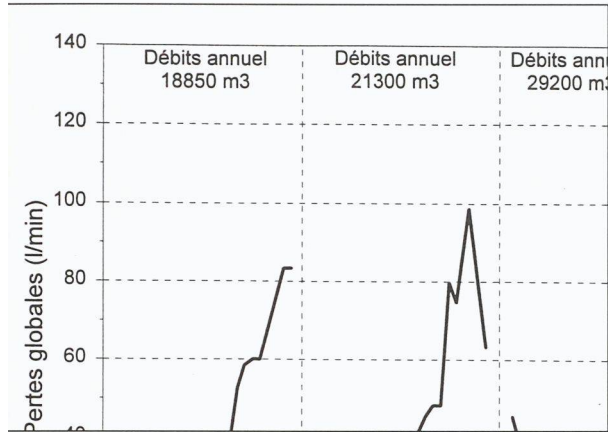


Fig. 2 - Variations des pertes globales (par les drains, par le corps du barrage et par le rocher dans les galeries d'accès) depuis 1990, année où de nouveaux drains ont été réalisés.

tains composants de la roche ou de l'écran d'étanchéité est favorisée, en fonction des caractéristiques physico-chimiques des eaux et du rocher. Les fissures peuvent se colmater par dépôts d'incrustations si les eaux sont sursaturées en carbonates; elles peuvent au contraire s'élargir de plus en plus en présence d'eaux sous-saturées ayant un potentiel de dissolution élevé.

L'analyse détaillée des caractéristiques et des équilibres chimiques des eaux permet de différencier la part de dissolution provenant des carbonates présents dans la roche, de celle du ciment constituant la voile d'étanchéité. L'appréciation de cette dernière permet de déduire l'importance de la dissolution subie par l'écran d'étanchéité, comme le montre le cas du barrage du Naret, et de rechercher les moyens d'assainissement les plus adéquats.

Le barrage du Naret

Les Forces Motrices de la Maggia - *Officine Idroelettrica della Maggia* (OFIMA) - gèrent au Tessin sept bassins d'accumulation et de compensation pour un volume total supérieur à 135 millions de m³ d'eau. Le bassin du Naret, dont la retenue s'élève à 31 millions de m³ est situé à 2300 m d'altitude dans la partie haute du val Maggia. Deux barrages assurent l'exploitation de ce bassin: le plus grand

présente une largeur maximale au couronnement d'environ 340 m et une hauteur maximale d'environ 80 m.

Caractérisée par la présence de bancs subverticaux de schistes et gneiss intercalés d'amphibolites, de calcschistes et de marbres, la situation géologique (voir photo de couverture) a appelé l'exécution, à l'intérieur du barrage, de nombreux drains à tous les niveaux et à différentes profondeurs dans le rocher sous-jacent aux fondations. En raison des sous-pressions constatées dans la partie aval du voile d'étanchéité, le nombre de drains a encore été augmenté, d'autant plus que la présence dans les fondations du barrage de roches carbonatées pouvait faire craindre leur dissolution accélérée. Pour établir l'origine des eaux d'infiltration, ainsi que leur relation avec l'évolution des sous-pressions, un programme de surveillance géochimique des eaux sortant des drains a été mis en oeuvre. Il comprend un échantillonnage des eaux à différents niveaux du lac et à diverses périodes de l'année, des analyses des ions prédominants (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, SO₄⁻, Cl⁻) ainsi que des mesures du pH, de la conductivité et de l'alcalinité. Ce programme a été réalisé en collaboration avec l'OFIMA.

Sous-pressions et pertes d'eau dans le barrage

Quelques années après la fin des travaux (1969-1970), les sous-pressions mesurées à la base de nombreux blocs n'ont cessé d'augmenter. En 1989, un cas isolé de forte infiltration a été résolu grâce à une série de nouveaux forages d'injection, ce qui n'a que

momentanément stabilisé la pression. En 1990, sept nouveaux drains ont donc été mis en place afin d'augmenter le drainage plutôt que de tenter un renforcement du voile d'étanchéité. Or s'ils ont eu pour effet de diminuer les sous-pressions - qui sont aujourd'hui stables depuis quatre ans et, à quelques exceptions près, inférieures aux valeurs d'avant les travaux de 1990 -, les débits mesurés dans les nouveaux drains se sont en revanche tout de suite avérés relativement élevés, atteignant jusqu'à 52 l/min l'année de leur mise en place et 65 l/min en 1993. Les pertes d'eau dans le barrage sont de trois types: à travers les drains, à travers le corps de l'ouvrage lui-même et à travers le rocher dans les galeries d'accès au barrage. Le diagramme de la fig. 2 reproduit l'évolution temporelle des pertes d'eau globales depuis 1990, année de l'installation des sept nouveaux drains. Ces pertes sont étroitement corrélées à la cote du lac: lorsque ce dernier est bas (mars-avril), les débits sont minimes; lorsqu'il est plein (octobre-novembre), les débits atteignent leur plafond. Intégrées sur l'année, les pertes globales varient entre un minimum de 18 850 m³, en 1990, et un maximum de 29 200 m³, en 1992.

Géochimie des eaux

Deux séries d'analyses ont été effectuées, l'une à lac « haut » (en 1992) et l'autre à lac « bas » (en 1994). Or malgré les considérables différences de débit caractérisant ces deux situations, les résultats reflètent des compositions chimiques tout à fait comparables. Le tableau 1 indique la composition chimique des eaux les plus ca-

| | Débits [l/min] | Temp. [°C] | pH | Ca ⁺⁺ [mg/l] | Mg ⁺⁺ [mg/l] | Na ⁺ [mg/l] | K ⁺ [mg/l] | HCO ₃ ⁻ [mg/l] | CO ₃ ⁻ [mg/l] | OH ⁻ [mg/l] | SO ₄ ⁻ [mg/l] | Cl ⁻ mg/l] |
|----------------------|-------------------|---------------|------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---|--|---------------------------|--|--------------------------|
| Eau du lac | | 10,0 | 6,35 | 7,3 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 8,3 | 0,0 | 0,0 | 3,5 | 1,5 |
| Eau des ruisseaux | | 10,0 | 6,35 | 7,5 | 0,9 | 0,2 | 0,5 | 10,1 | 0,0 | 0,0 | 3,0 | 1,2 |

Tabl. 1 - Compositions chimiques des eaux superficielles

| | Débits [l/min] | Temp. [°C] | pH | Ca ⁺⁺ [mg/l] | Mg ⁺⁺ [mg/l] | Na ⁺ [mg/l] | K ⁺ [mg/l] | HCO ₃ ⁻ [mg/l] | CO ₃ ⁻⁻ [mg/l] | OH ⁻ [mg/l] | SO ₄ ⁻⁻ [mg/l] | Cl ⁻ [mg/l] |
|-------------|-------------------|---------------|-------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---|---------------------------|---|---------------------------|
| drains D1 | 1,20 | 3,9 | 8,63 | 23,0 | 6,5 | 1,0 | 1,9 | 62,6 | 3,6 | 0,0 | 12,3 | 0,0 |
| drains D2 | 0,10 | 4,0 | 8,71 | 18,0 | 5,1 | 0,6 | 2,2 | 57,6 | 0,0 | 0,0 | 14,0 | 0,0 |
| drains B3 | 0,80 | 3,5 | 9,10 | 18,9 | 6,3 | 0,2 | 1,3 | 72,4 | 3,6 | 0,0 | 18,3 | 0,0 |
| drains D3 | 0,10 | 2,9 | 9,09 | 19,9 | 3,9 | 1,3 | 3,8 | 45,3 | 8,4 | 0,0 | 10,5 | 0,0 |
| drains B0 | 0,20 | 3,3 | 9,25 | 17,8 | 3,5 | 0,3 | 2,2 | 31,9 | 9,6 | 0,0 | 11,1 | 0,3 |
| drains D13 | 0,02 | 4,0 | 9,37 | 11,4 | 2,3 | 0,1 | 0,9 | 6,5 | 4,8 | 0,0 | 15,2 | 0,3 |
| drains B5 | 0,10 | 2,9 | 9,37 | 25,2 | 8,5 | 0,9 | 2,6 | 43,1 | 12,0 | 0,0 | 28,7 | 0,1 |
| drains D4 | 1,40 | 3,3 | 9,49 | 11,7 | 3,0 | 0,2 | 1,6 | 13,9 | 10,8 | 0,0 | 10,5 | 0,0 |
| drains D1 | 0,02 | 3,7 | 9,46 | 11,8 | 2,8 | 2,2 | 3,2 | 29,7 | 0,0 | 0,0 | 22,8 | 0,3 |
| drains D11 | 0,02 | 3,4 | 9,62 | 12,6 | 4,7 | 3,0 | 4,8 | 52,6 | 0,0 | 0,0 | 14,6 | 0,4 |
| drains TR12 | 0,50 | 3,0 | 9,78 | 18,8 | 3,4 | 0,1 | 0,9 | 21,1 | 9,6 | 0,0 | 17,1 | 0,3 |
| drains D5 | 0,70 | 3,1 | 9,86 | 12,3 | 3,6 | 0,3 | 1,7 | 11,4 | 13,2 | 0,0 | 13,0 | 0,2 |
| drains B1 | 4,50 | 3,2 | 10,21 | 18,3 | 2,9 | 0,2 | 1,4 | 1,9 | 18,0 | 0,0 | 13,1 | 0,4 |
| drains B2 | 1,30 | 3,0 | 10,47 | 12,8 | 2,6 | 5,4 | 1,4 | 0,0 | 9,8 | 2,0 | 22,6 | 0,0 |
| drains D10 | 0,02 | 3,2 | 10,54 | 9,9 | 2,6 | 3,8 | 5,7 | 0,0 | 14,8 | 0,2 | 15,8 | 0,5 |
| drains D15 | 0,60 | 2,7 | 11,29 | 14,6 | 5,9 | 0,9 | 2,7 | 0,0 | 8,0 | 10,6 | 12,1 | 0,2 |
| drains D16 | 0,10 | 3,0 | 11,57 | 31,0 | 1,4 | 1,0 | 2,1 | 0,0 | 8,1 | 12,3 | 27,6 | 0,4 |
| drains D14 | 0,20 | 3,5 | 11,76 | 26,5 | 1,2 | 3,1 | 14,0 | 0,0 | 12,7 | 18,8 | 21,0 | 0,4 |
| drains B4 | 0,60 | 3,7 | 12,10 | 77,8 | 2,9 | | | 0,0 | 20,4 | 55,4 | 23,9 | |
| drains D9 | 0,20 | 2,6 | 12,23 | 72,6 | 3,5 | 8,0 | 3,1 | 0,0 | 34,8 | 42,1 | 11,6 | 0,3 |

Tabl. 2. - Compositions chimiques des eaux sortant des drains

ractéristiques du lac et des affluents du bassin. Se distinguant par un pH acide, typique de tous les lacs des alpes tessinoises au-dessus de 2000 m d'altitude, ces eaux très peu minéralisées (entre 25 et 30 mg/l) contiennent principalement du bicarbonate de calcium.

Les eaux récoltées à l'intérieur du barrage (tableau 2) présentent en revanche un chimisme tout à fait particulier: leur pH étant fortement basique (jusqu'à 10 voire supérieur à 11), elles possèdent des anions carbonates (CO₃⁻⁻) et hydroxydes (OH⁻) et sont nettement plus minéralisées que les eaux du lac (entre 40 et 180 mg/l), avec surtout des bicarbonates et des sulfates de calcium. Le trait caractéristique de ces eaux est sans doute leur pH basique élevé, typique d'une circulation dans du béton. Dans la nature, on ne rencontre en effet des pH semblables que dans des eaux circulant dans des roches ultrabasiques, sans quartz, essentiellement composées de silicates de fer et de manganèse et se distinguant par une absence totale de carbonates.

Modèles de dissolution

Dans l'hypothèse que les eaux captées par les drains à l'intérieur du barrage proviennent du lac - ce qui est en fait soutenu par l'étroite corrélation entre les débits et le ni-

veau du lac -, on constate que ces eaux sont enrichies en Ca⁺⁺, HCO₃⁻, CO₃⁻⁻, OH⁻ et SO₄⁻⁻. Sur la base de cette observation, on a donc examiné la dissolution de trois composants dans l'eau du lac: la portlandite (Ca(OH)₂), la calcite (CaCO₃) et le gypse (CaSO₄). Ces composants se retrouvent respectivement dans les produits d'hydratation du ciment, dans les roches carbonatées (calcschistes et marbres), et dans les roches carbonatées sulfatées (évaporites).

Grâce aux lois de la thermodynamique, il est possible de calculer la composition finale d'une solution dans laquelle on simule la dissolution, par étapes, d'un composant: la distribution de toutes les espèces chimiques participant à l'équilibre, ainsi que l'état de sur- ou de sous-saturation se calculent par rapport à la substance dissoute. Les constantes d'équilibre des dissociations de ces trois composants, à 3,5 °C et à 1 bar de pression totale, sont de:

$Keq = 10^{+8,7}$, pour la portlandite,

$Keq = 10^{-8,3}$, pour la calcite, et

$Keq = 10^{-7,5}$, pour le gypse.

On peut déjà constater que, à pression constante de CO₂, la portlandite s'avère nettement plus soluble que la calcite et le gypse. Les hypothèses retenues pour calculer les modèles de dissolution admettent une température, une pression partielle de CO₂ et un

état d'oxydation constants durant la réaction, ce qui correspond aussi bien aux températures mesurées (qui ne varient que de quelques dixièmes de degré), qu'au fait qu'aucune réaction faisant intervenir une oxydation ou une réduction des composants en jeu n'a été observée.

Trois modélisations ont été effectuées: on a simulé la dissolution de 1 à 100 mg/l de gypse, respectivement de portlandite et de carbonate dans l'eau du lac. Les résultats obtenus montrent que l'adjonction de gypse ne suffit pas à expliquer l'augmentation du pH et de la quantité des carbonates dans l'eau récoltée à l'intérieur du barrage.

L'évolution du chimisme de l'eau du lac en fonction de la dissolution de calcite permet de distinguer deux principaux domaines réactionnels: jusqu'à l'adjonction d'environ 30 mg/l de calcite, le HCO₃⁻ et le calcium dissous augmentent fortement, accompagnés d'un léger accroissement du pH, tandis que la quantité de CO₂ libre diminue; ensuite, de 30 à 100 mg/l de calcite, le CO₃⁻⁻, le calcium ainsi que la sursaturation en carbonate augmentent (ce qui provoque la précipitation de calcite), tandis que le HCO₃⁻ et le pH se stabilisent, ce dernier approchant une valeur de 10,5.

Quant à la dissolution de portlandite, elle définit plusieurs do-

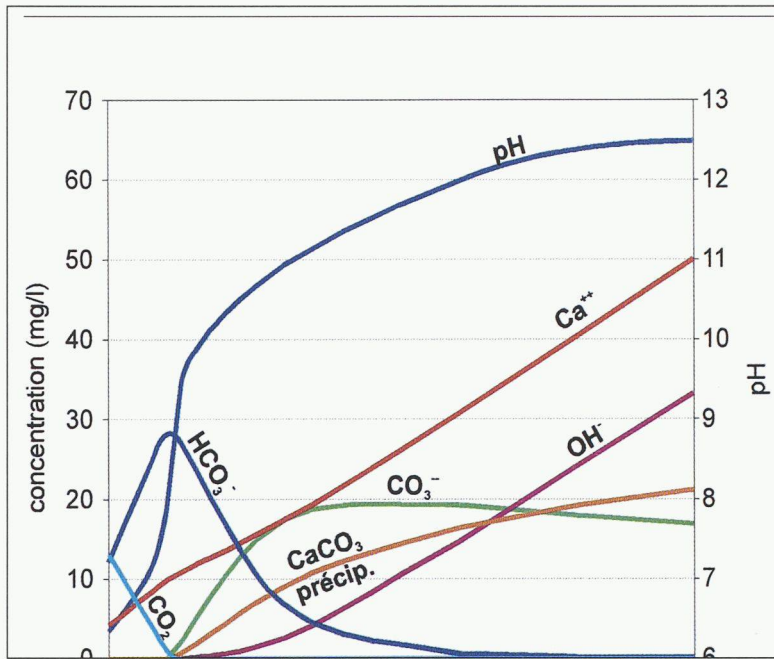


Fig. 3: Modèle de dissolution de la portlandite dans une solution aqueuse au chimisme du lac du Naret (pH = 6,4; Ca⁺⁺ = 4 mg/l; HCO₃⁻ = 12 mg/l)

maines réactionnels (fig. 3): jusqu'à la consommation totale du CO₂ libre, le HCO₃⁻, le Ca⁺⁺ et le pH augmentent. Ensuite, au fur et à mesure de l'adjonction de portlandite, le HCO₃⁻ diminue jusqu'à disparaître, accompagné par une nette augmentation du pH et du CO₃⁻. À ce stade, la solution devient sursaturée en carbonate. À haute concentration de portlandite, le pH se stabilise vers 12,5.

Différences géochimiques de dissolution

Les caractéristiques de l'eau du lac évoluent de manière tout à fait distincte selon qu'on dissout de la portlandite ou de la calcite. Cette différence ne se manifeste toutefois que lorsque tout le CO₂ libre a passé dans la formation de HCO₃⁻. Le tableau 3 résume l'essentiel de ces différences: par rapport à la dissolution de calcite, celle de portlandite provoque une concentration élevée en hydroxyde (OH⁻) ce qui fait fortement augmenter le pH.

Rôle de la composition initiale de l'eau du lac

Plusieurs simulations ont été effectuées en variant la composition initiale de l'eau du lac à partir d'une composition moyenne évaluée à 4 mg/l de Ca⁺⁺ et de 12 mg/l de HCO₃⁻. Les résultats montrent que la composition initiale de l'eau ne fait pas intervenir de

changements substantiels. Avec une minéralisation croissante de l'eau du lac, l'effet de la dissolution de portlandite se manifeste par une limitation de l'augmentation du pH et du OH⁻ alors que le HCO₃⁻ et le CO₃⁻ augmentent proportionnellement à la minéralisation initiale. De manière semblable, la dissolution de calcite, avec une minéralisation croissante de l'eau du lac, fait augmenter le pH et le CO₃⁻, mais de manière moins sensible.

Diagrammes décisionnels

Pour mettre en évidence et faciliter en même temps l'évaluation du degré de dissolution de portlandite et/ou de calcite directement d'après les résultats des analyses chimiques, quelques diagrammes (ou abaques) ont été mis au point, qui délimitent les

champs caractéristiques de la dissolution de portlandite et de calcite.

Parmi les nombreuses relations qu'il est possible d'établir entre les divers composants de l'eau, deux diagrammes sont utilisés: le premier met en relation le pH et la concentration en Ca⁺⁺ et HCO₃⁻; le deuxième corrèle le CO₃⁻ avec OH⁻. A titre d'exemple, la figure 5 reproduit le diagramme décisionnel pH-CO₃⁻.

Interprétations des données

L'interprétation de ces diagrammes montre que la dissolution de portlandite entraîne une augmentation du pH plus élevée que ce n'est le cas pour la calcite. Le domaine de réaction affichant un pH au-dessus de 10,5 définit donc un champ de réaction attribuable de façon univoque à la dissolution de portlandite.

Ainsi, l'analyse des drains du Naret 1 permet de classer ceux-ci dans deux catégories: quelques-uns se trouvent dans le champ de la dissolution de portlandite (B2, B4, D9, D10, D14, D15 et D16), alors que les autres se trouvent dans une zone qui recoupe les champs de dissolution de portlandite et de calcite.

De même, la corrélation CO₂ et OH⁻ définit des champs pour la dissolution de portlandite ou de calcite. Elle montre que la présence de OH⁻ n'est attribuable

| Composant | Diss. de portlandite Ca(OH) ₂ | Dissolution de calcite CaCO ₃ |
|----------------------------------|---|---|
| pH | tend à 12,5 | tend à 10,5 |
| OH ⁻ | augmente linéairement (pente 0,5) | négligeable |
| CO ₃ ⁻ | diminue | augmente linéairement |
| HCO ₃ ⁻ | diminue exponentiellement | fonction de la concentration initiale |
| Ca ⁺⁺ | augmente linéairement (pente 0,5) | augmente linéairement (pente 0,3) |
| CaCO ₃ (précipité) | augmente linéairement (pente 0,2) | augmente linéairement (pente 0,4) |

Tabl. 3. - Différences principales entre la dissolution de portlandite et de calcite dans une solution aqueuse. Les tendances linéaires sont estimées par la pente (rapport entre le composant et le taux de portlandite respectivement calcite) de la droite.

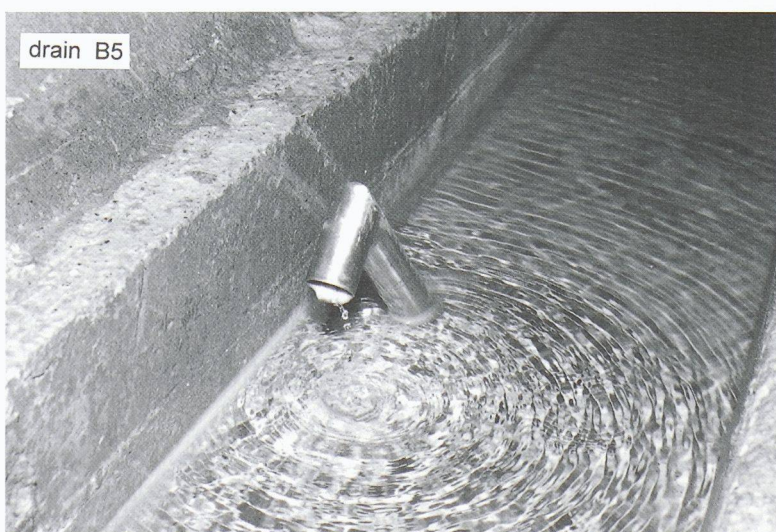
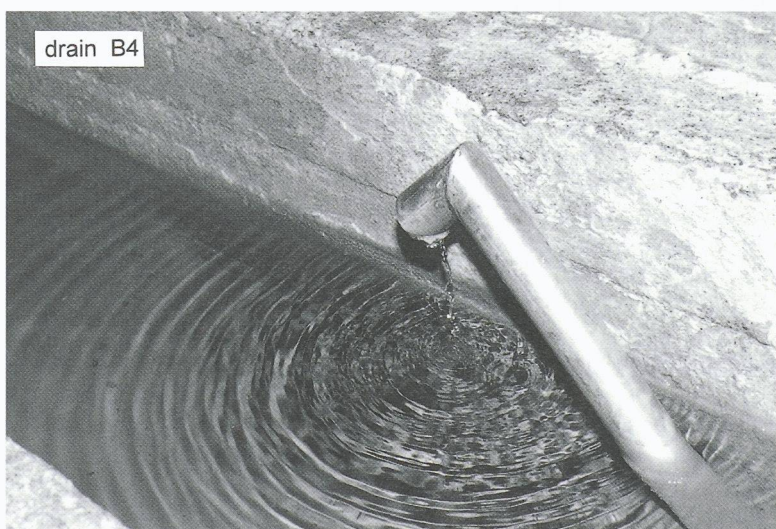
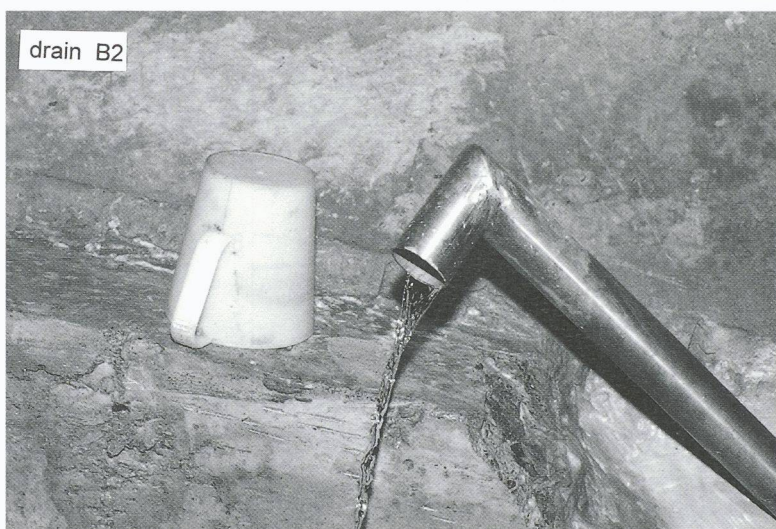


Fig. 4. - Vue de quelques drains à l'intérieur du barrage du Naret 1. Sur les drains B4 et B5, mis en service en 1990, on note déjà un dépôt de carbonate.

qu'à la dissolution de portlandite. Les échantillons B2, B4, D9, D10, D14, D15 et D16 sont à nouveau classés dans le champ de la portlandite.

Quantification de la dissolution

A l'aide des corrélations établies précédemment, il est non seulement possible d'attribuer chaque échantillon d'eau à l'un ou l'autre des types de dissolution, mais encore de quantifier celles-ci.

Pour les échantillons qui sont toujours à l'intérieur du même champ, dans chaque diagramme, la quantité dissoute peut aisément être déduite, vu qu'il n'y a qu'un seul type de dissolution. Pour ceux qui sont toujours dans des champs communs aux deux dissolutions, la double influence de la portlandite et de la calcite doit être prise en compte. Quant aux échantillons qui se trouvent alternativement dans l'un ou l'autre des champs, ils se voient attribuer un certain pourcentage d'influence dû à l'une et l'autre dissolution.

Les quantités annuelles de portlandite et de calcite dissoutes sont déduites des mesures ponctuelles, multipliées par les débits intégrés sur l'année.

Sur trois ans, pour les drains observés, la dissolution moyenne annuelle obtenue est de 160 kg de portlandite et de 70 kg de calcite. Le voile d'étanchéité consistant en plus de 6000 m de forages avec une quantité de ciment injecté de plus de 200 tonnes (soit environ 33 kg/m³), l'ordre de grandeur de la dissolution de portlandite - en supposant constante la vitesse de dissolution - s'élève à 3080 kg en vingt-quatre ans ce qui, rapporté à la quantité initiale de ciment injecté, représente 1,5%.

Impact sur le voile d'étanchéité

Les études géochimiques effectuées sur les eaux sortant des drains du barrage du Naret 1 ont permis de mettre en évidence une dissolution du ciment constituant le voile d'étanchéité et les dia-

| Drains | Ca(OH) ₂ | CaCO ₃ | Débits annuels (m ³) | | | Dissolution annuelle de Ca(OH) ₂ (kg) | | | Dissolution annuelle de CaCO ₃ (kg) | | |
|--------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|------|------|--|------------|------------|--|-----------|-----------|
| | mg/l | mg/l | 1993 | 1992 | 1991 | 1993 | 1992 | 1991 | 1993 | 1992 | 1991 |
| B2 | 15 | | 1856 | 2920 | 4510 | 27,8 | 43,8 | 67,7 | | | |
| B3 | | 30 | 1767 | 1960 | 946 | | | | 53,0 | 58,8 | 28,4 |
| B4 | 90 | | 310 | 640 | 945 | 27,9 | 57,6 | 85,1 | | | |
| D2 | 5 | 20 | 52 | 53 | 40 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 1,0 | 1,1 | 0,8 |
| D5 | 15 | 10 | 1245 | 1487 | 781 | 18,7 | 22,3 | 11,7 | 12,5 | 14,9 | 7,8 |
| D9 | 95 | | 45 | 20 | 11 | 4,3 | 1,9 | 1,0 | | | |
| D13 | 10 | 5 | 3,5 | 4,8 | 8,3 | 0,04 | 0,05 | 0,1 | 0,02 | 0,02 | 0,04 |
| D14 | 45 | | 71 | 136 | 93 | 3,2 | 6,1 | 4,2 | | | |
| D15 | 25 | | 407 | 459 | 366 | 10,2 | 11,5 | 9,2 | | | |
| D16 | 30 | | 61 | 152 | 117 | 1,8 | 4,6 | 3,5 | | | |
| TR12 | 10 | 5 | 895 | 2073 | 2230 | 9,0 | 20,7 | 22,3 | 4,5 | 10,4 | 11,2 |
| TOTAL | | | | | | 103 | 169 | 205 | 71 | 85 | 48 |

Tabl. 4. - Quantification du taux de dissolution de portlandite et de calcite dans les drains du barrage Naret 1

grammes élaborés simplifient la caractérisation de cette dissolution, soit l'identification de la substance dissoute et sa quantité.

Encore partiels, les résultats obtenus montrent qu'une certaine quantité du ciment du voile d'étanchéité s'hydrate au contact de l'eau et passe en solution. Les conclusions préliminaires qu'on peut en tirer se résument aux cinq points suivants.

- La quantité de ciment dissout depuis la fin des travaux de construction, grossièrement estimée en supposant constant le taux de dissolution au long des années, représente moins de 2% du voile d'étanchéité.

- L'interprétation géochimique de ces eaux de même que les données relatives aux mesures des débits permettent en outre d'estimer l'efficacité d'éventuels drains ultérieurs: constatée dans toutes ces eaux, la sursaturation en carbonates finit en effet par entraîner une précipitation de calcite susceptible de boucher les drains, ce qui se traduit par une diminution des débits et donc l'augmentation des sous-pressions.

- Les drains devront à moyen terme être refaits.

- L'efficacité du voile d'étanchéité peut se trouver locale-

ment diminuée à moyen ou long terme; si cela coïncide avec un banc de roche carbonatée, il pourrait se former une voie de dissolution préférentielle (de type karst), qui se manifestera par une augmentation des sous-pressions et/ou l'augmentation du débit des drains.

- Enfin, sur le plan scientifique, une surveillance géochimique des pertes d'eau à travers les barrages peut livrer d'intéressantes informations et contribuer à la compréhension des mécanismes de percolation. □

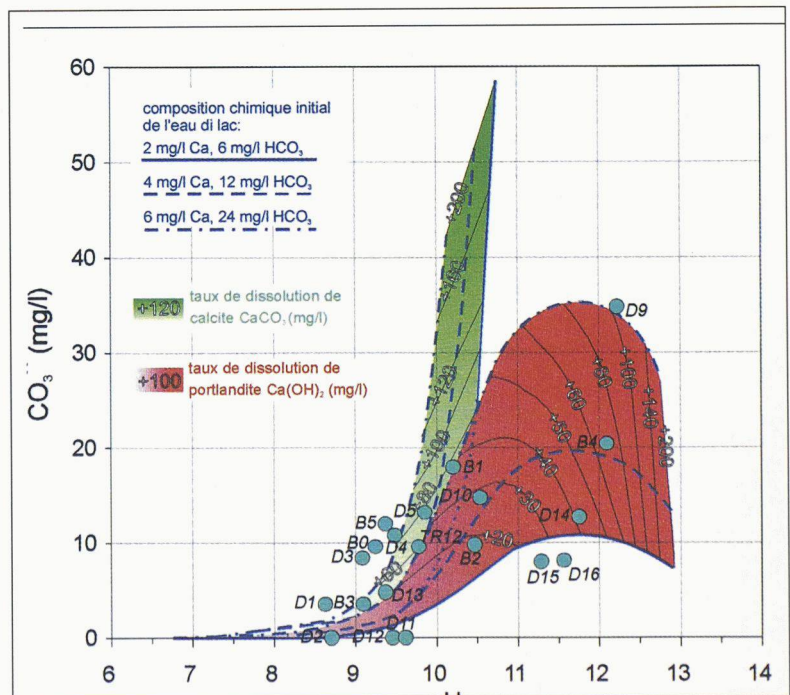


Fig. 5. - Diagramme pH-CO₃²⁻ avec les domaines de dissolution de portlandite (en rouge) et de calcite (en vert) par rapport au chimisme de l'eau du lac, avec pH et concentration en CO₃²⁻ des eaux sortant des drains. Les drains dans le domaine de la portlandite témoignent d'une dissolution de l'écran d'étanchéité