

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria                              |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  |
| <b>Band:</b>        | 93 (2001)   |
| <b>Heft:</b>        | 3-4   |
| <b>Artikel:</b>     | Travaux de réhabilitation de l'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge, Fribourg             |
| <b>Autor:</b>       | Golliard, Daniel / Lazaro, Philippe / Demont, Jean-Bernard                              |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-939876">https://doi.org/10.5169/seals-939876</a> |

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.02.2026

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

# Travaux de réhabilitation de l'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge, Fribourg

■ Daniel Golliard, Philippe Lazaro, Jean-Bernard Demont, Bertrand Favez

## 1. Introduction

L'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge, érigé sur la Sarine en amont de la basse ville de Fribourg et propriété des Entreprises Électriques Fribourgeoises (EEF), fait actuellement l'objet d'importants travaux de réhabilitation. Ces derniers visent à conférer aux différents ouvrages de l'aménagement des conditions de sécurité et d'exploitation conformes aux exigences et aux normes actuelles. En effet, pendant près de 50 ans, le barrage de la Maigrauge n'a été l'objet d'aucune intervention majeure. Cet état de fait a rendu nécessaire, vers le milieu des années 80, l'évaluation approfondie des conditions d'exploitation et de sécurité des ouvrages.

L'analyse du comportement du barrage poids pour des conditions normales d'exploitation comme lors de situations exceptionnelles a mis en évidence la nécessité de mesures constructives pour accroître sa stabilité. La solution retenue consiste à majorer les forces stabilisantes du barrage au moyen de tirants précontraints ancrés dans la fondation et tendus avec une force de 1600 kN chacun.

L'évolution des critères de sécurité liés à l'évacuation des crues associée à la vétusté des organes mobiles ont conduit à proposer la reconstruction de l'ouvrage de décharge de l'aménagement. Ce nouvel ouvrage, muni de 3 vannes segment équipées de clapets, sera en mesure d'évacuer un débit de dimensionnement de 850 m<sup>3</sup>/s.

Les difficultés d'exploitation et de fonctionnement des prises d'eau, imputables à la vétusté des équipements hydromécaniques ainsi que la détérioration des bétons inhérente aux effets du vieillissement et à des tassements différentiels des fondations ont amené à prévoir la démolition partielle des deux prises d'eau actuelles qui seront remplacées par un ouvrage unique qui alimentera les deux galeries d'aménée.

Enfin, le franchissement du barrage par la faune piscicole sera assuré par l'intermédiaire d'un ascenseur à poissons, qui sera installé dans l'ancienne usine attenante au barrage sur rive droite, et par un ouvrage de dévalaison également implanté sur rive droite.

Les travaux ont débuté en été 2000 et s'étendent jusqu'au printemps 2003. Le coût des travaux, qui comprend les ouvrages de génie civil ainsi que les fournitures hydromécaniques et électriques, est estimé à environ CHF 25 mio. A relever que ces travaux ne vont entraîner aucune augmentation de la production d'énergie.

## 2. Historique de l'aménagement

C'est en 1870, que l'ingénieur Guillaume Ritter mit à exécution son projet d'aménagement de la Maigrauge, proche du couvent du même nom en basse ville de Fribourg. Cette réalisation constitua alors le pilier central d'un vaste programme de développement industriel de la ville.

Le barrage, de type poids, a été réalisé, pour la première fois en Europe, en béton avec des agrégats extraits de la Sarine. La réalisation, telle qu'illustrée à la figure 1, a nécessité la mise en œuvre de quelque 32000 m<sup>3</sup> de matériaux. La longueur totale du couronnement après l'achèvement de l'ouvrage s'élevait à environ 120 m et la hauteur sur la fondation se situait entre 13 m et 21 m. Au pied du barrage l'épaisseur minimale du monolithe atteint 14 m pour croître progressivement jusqu'à 26 m en correspondance de la

section la plus haute. Le barrage ne comporte ni joints de contraction, ni drainages, ni galeries de visite.

L'aménagement, tel qu'il se présentait avant les travaux de réhabilitation, est illustré à la figure 2.

L'usine, implantée sur la rive droite, était équipée à l'origine de 2 turbines, l'une destinée à actionner une pompe pour l'alimentation en eau potable du réservoir du Quintzett, situé quelque 160 m plus haut, l'autre pour transmettre la force motrice aux industries du plateau de Pérolle au moyen d'un système de câbles télédynamiques.

Pour assurer l'évacuation des crues, un seuil déversant a été excavé dans la molasse sur rive gauche à l'emplacement de l'ouvrage de décharge actuel. Le barrage était également équipé d'une vidange de fond d'une capacité de 100 m<sup>3</sup>/s. Cet organe a cependant été rapidement mis hors service, obstrué par les matériaux et autres débris transportés par le courant. Son pertuis est aujourd'hui masqué par un revêtement de béton projeté, mis en œuvre en 1959 et étendu à tout le parement aval du barrage.

En 1895, l'usine a subi une première transformation en vue de produire de l'énergie électrique. En 1909, le couronnement du



Fig. 1. Vue du barrage de la Maigrauge durant sa construction en 1870.

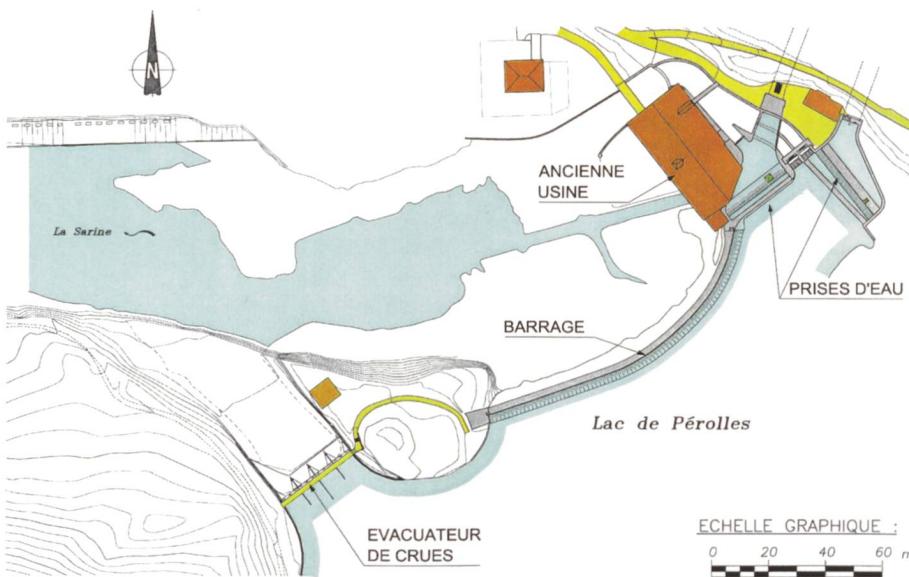


Fig. 2. L'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge avant les travaux de réhabilitation.

barrage a été surélevé de quelque 2,75 m jusqu'à sa cote actuelle, soit 552,90 m s.m. et prolongé du côté amont par un muret de quelque 40 cm de haut; cette surélévation a été probablement motivée par l'ensablement rapide de la retenue. Une prise d'eau sur rive droite, réalisée en 6 1/2 mois, achemine par une galerie d'environ 280 m de long creusée sous la crête de Lorette, un débit de 33 m<sup>3</sup>/s vers la nouvelle usine de l'Oelberg. Cette dernière a été équipée de 3 turbines de type Francis d'une puissance de 1,85 MW chacune. La chute brute de l'aménagement, inchangée depuis lors, atteint 20 m. Dans le cadre de ces transformations, le seuil de l'évacuateur de crues a été conforté et équipé des 4 vannes actuelles de type segment d'une hauteur de 4,55 m et d'une largeur de 7,25 m chacune. La capacité de décharge de l'ouvrage s'élève à 465 m<sup>3</sup>/s pour un niveau de retenue situé à la cote maximale d'exploitation, soit 553,20 m s.m. Pour les travaux de surélévation du barrage, les agrégats ont été amenés au moyen de chalands depuis les gravières de la Sarine situées 1 km en amont et le ciment acheminé par téléférage à partir du plateau de Pérrolles.

En 1941, l'aménagement a été complété par une seconde prise d'eau et une nouvelle galerie d'aménée à l'usine de l'Oelberg, elle-même agrandie et équipée d'une turbine supplémentaire de type Kaplan d'une capacité de 33 m<sup>3</sup>/s pour une puissance de 5,5 MW. Le débit d'équipement de la centrale a été ainsi porté de 33 m<sup>3</sup>/s à 66 m<sup>3</sup>/s. La capacité de décharge de l'aménagement a été également accrue de 180 m<sup>3</sup>/s par l'installation de 3 vannes planes en rive droite en vue de faciliter les conditions d'exploitation des prises d'eau. Les débits évacués sur rive droite sont restitués à la Sarine au pied du barrage par un canal de chasse qui contourne l'ancienne usine.

En 1956, l'usine de l'Oelberg a été équipée d'une turbine supplémentaire de type Kaplan d'une capacité de 33 m<sup>3</sup>/s pour une puissance de 5,5 MW, augmentant ainsi le débit équipé de l'usine de 66 m<sup>3</sup>/s à 99 m<sup>3</sup>/s. Enfin en 1980, l'usine de l'Oelberg a été modernisée avec entre autre le remplacement des 3 turbines Francis par de nouveaux groupes du même type.

Aujourd'hui, l'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge constitue un maillon de la chaîne des aménagements hydroélectriques érigés sur la Sarine avec à l'amont et à l'aval les barrages de Rossens et de Schiffenen. La production annuelle moyenne, y compris le turbinage au barrage du débit de dotation de 4 m<sup>3</sup>/s, s'élève à 52 millions de kWh.

La retenue de Pérrolles s'étend sur une distance de quelque 3,3 km et occupe une superficie proche de 0,35 km<sup>2</sup>. Elle est alimentée par un réseau hydrographique qui couvre une surface de 1250 km<sup>2</sup>, dont 954 km<sup>2</sup> jusqu'au barrage de Rossens, et draine les eaux des glaciers du Sanetsch et du Wildhorn ainsi que des rivières des Préalpes vaudoises, fribourgeoises et bernoises.

Il faut encore relever la présence de roselières dont la formation résulte du processus de dépôt des sédiments dans la retenue. La conséquence en est essentiellement la réduction progressive jusqu'à une valeur de 620 000 m<sup>3</sup> de la capacité de stockage de la retenue et, par suite, une exploitation qui se fait au fil de l'eau avec un marnage se situant entre les cotes 552,70 m s.m. et 553,20 m s.m. seulement. Le volume utile de la retenue n'est plus que d'environ 133 000 m<sup>3</sup>.

La vue aérienne (figure 3) de l'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge permet de situer les différents ouvrages et rend parfaitement compte de l'étendue ainsi que de l'importance d'une des roselières.

### 3. Objectifs du projet de réhabilitation

#### 3.1 Sécurité en cas de crues

L'évolution des critères de sécurité pour l'évacuation des crues associée à une meilleure connaissance des débits de la Sarine à Fribourg après la construction du barrage de Rossens, en 1949, ont justifié la vérification des caractéristiques hydrologiques et hydrauliques de l'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge.

Le régime hydrologique de la Sarine à Fribourg est influencé dans une très large mesure par l'exploitation de l'aménagement de Hauterive-Rossens en amont. De fait, les données de débits pour la retenue de Pérrolles ont été mises à jour en intégrant le laminage important opéré par la retenue de Rossens sur les crues incidentes.

Pour la crue millénaire, définie comme crue de projet, le débit de pointe de la Sarine à Fribourg a ainsi été fixé à 850 m<sup>3</sup>/s. Il comprend un débit de 315 m<sup>3</sup>/s évacué au barrage de Rossens, auquel s'ajoute un débit de 535 m<sup>3</sup>/s sur le tronçon de la Sarine entre le barrage de Rossens et la retenue de Pérrolles.

Pour la crue de sécurité, le débit de pointe a été fixé à 1190 m<sup>3</sup>/s. Il résulte d'une vidange rapide de la retenue de Rossens, soit 930 m<sup>3</sup>/s, associée à un débit de 260 m<sup>3</sup>/s sur le tronçon aval.

Dans sa configuration actuelle, l'aménagement n'est pas en mesure de décharger en sécurité les débits de crues précédents, ce qui a amené à considérer une augmentation sensible de la capacité des organes de décharge du barrage.

Dans la configuration de l'aménagement réhabilité, le débit millénal est déchargé à l'aval du barrage en admettant que l'organe de plus grande capacité est hors service (condition n-1). Pour des raisons de sécurité, il n'est toléré lors des crues aucun débordement par-dessus le couronnement du barrage. Un tel débordement est cependant envisagé durant les travaux de réhabilitation de l'évacuateur de crues sur rive gauche afin d'assurer, en complément de la capacité de décharge de l'organe installé en rive droite, le transit de la crue de chantier, fixée à 450 m<sup>3</sup>/s. Le barrage aura été préalablement renforcé par les ancrages.

#### 3.2 Sécurité structurale des ouvrages

Les ouvrages réhabilités doivent satisfaire aux critères de stabilité et de sécurité actuels en tenant compte des conditions d'exploitation normales et exceptionnelles. La vérification de ces exigences a nécessité au préalable la connaissance détaillée des

ouvrages, de leur fondation ainsi que des matériaux constitutifs.

La connaissance des matériaux et des conditions de sous-pressions sous le barrage a demandé la réalisation de sondages, d'essais in situ et d'essais en laboratoire sur des échantillons prélevés sur les ouvrages. Le diagnostic général des ouvrages a été dressé par l'intermédiaire des inspections visuelles et, si nécessaire, conforté par des mesures qualitatives permettant une meilleure appréciation des défauts et des détériorations affectant les différents matériaux.

Sur la base des résultats des investigations ainsi que ceux des différentes analyses, la stabilité des ouvrages existants a été jugée critique, justifiant de fait la mise en œuvre de mesures de confortement. Dans la configuration de l'aménagement réhabilité, la stabilité des ouvrages est assurée avec une marge suffisant à compenser les incertitudes liées notamment à la connaissance des ouvrages et des matériaux constitutifs.

### 3.3 Amélioration des conditions d'exploitation de l'aménagement

Outre la sécurité et la pérennité des ouvrages, le projet de réhabilitation améliore les conditions d'exploitation de la retenue. En effet, à la Maigrauge, un problème majeur est posé par les corps flottants et notamment les troncs d'arbres transportés par la Sarine lors des crues et qui s'accumulent devant les ouvrages de prise.

Pour la prise d'eau, la conception de l'ouvrage et le choix de ses équipements ont résulté de considérations liées à la gestion des corps flottants.

Pour l'évacuateur de crues, chaque vanne segment sera équipée d'un clapet possédant une hauteur suffisante pour assurer le transit des corps flottants lors des crues. La forme des piles de l'évacuateur a été également projetée de manière à favoriser le passage des troncs d'arbres.

Enfin, et cela malgré le fait que le barrage ait été progressivement muni d'une instrumentation de surveillance toujours plus complète, le projet de réhabilitation permettra d'optimiser le dispositif d'auscultation.

### 4. Aspects environnementaux

La zone du lac de Pérrolles constitue une réserve naturelle protégée. Cet aspect particulier a contraint les concepteurs à développer un projet d'intervention respectueux de l'environnement et du site et parfaitement adapté aux exigences actuelles. Des mesures particulières vis-à-vis des nuisances liées au déroulement du chantier font notamment partie



Fig. 3. Vue aérienne de l'aménagement de l'Oelberg-Mraigauge à Fribourg.

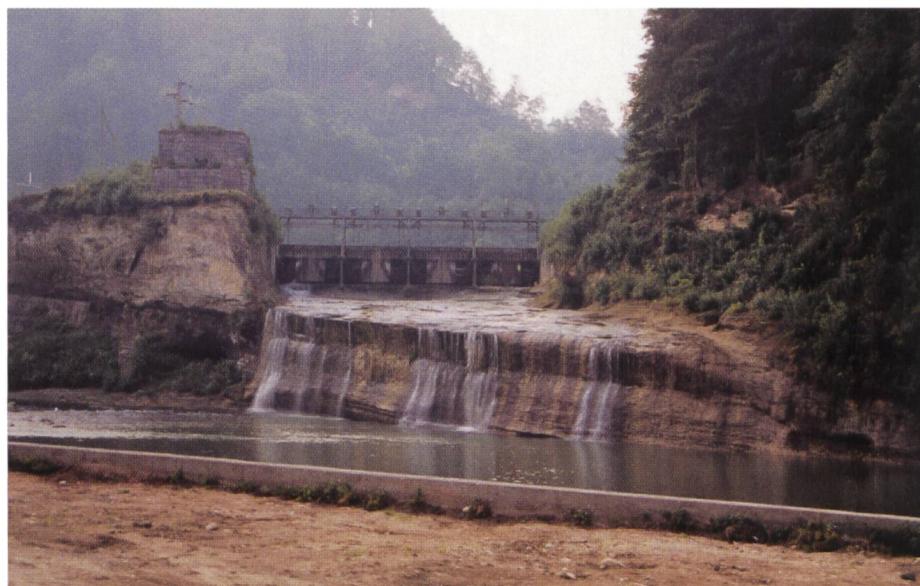


Fig. 4. Vue aval de l'évacuateur de crues actuel du barrage de la Maigrauge.

des cahiers des charges des entreprises et fournisseurs. Un bureau spécialisé a été mandaté pour le suivi écologique pendant toute la phase de réalisation. Les travaux sont programmés de manière à ne pas devoir vider la retenue, évitant ainsi une mise en péril des roselières. Seules quelques opérations indispensables nécessiteront un abaissement temporaire du plan d'eau, non dommageable pour la réserve naturelle.

Une répartition des crues exceptionnelles entre rive gauche et rive droite permet de maintenir le nouvel évacuateur de crues dans le chenal existant sur rive gauche. Le coursier aval et les parois latérales de cet ouvrage ne seront pas bétonnés. Le lit de la Sarine ne sera pas modifié et la fosse naturelle existant au pied du coursier sera conservée dans son état actuel. Une revitalisation partielle de la rive droite est même prévue.

L'ancienne usine sera maintenue dans l'état avec un remplacement de sa charpente et une réfection de ses façades.

Un dispositif assurant la libre migration des poissons viendra finalement compléter l'aménagement. Le barrage de la Maigrauge sera équipé d'un ascenseur à poissons installé dans l'ancienne usine.

## 5. Descriptif des travaux de réhabilitation

### 5.1 Renouvellement de l'évacuateur de crues

#### 5.1.1 Caractéristiques de l'ouvrage actuel

L'évacuateur de crues actuel situé sur rive gauche se compose d'une structure principale en béton armé ancrée et constituée de quatre passes déversantes de 7,25 m de lar-

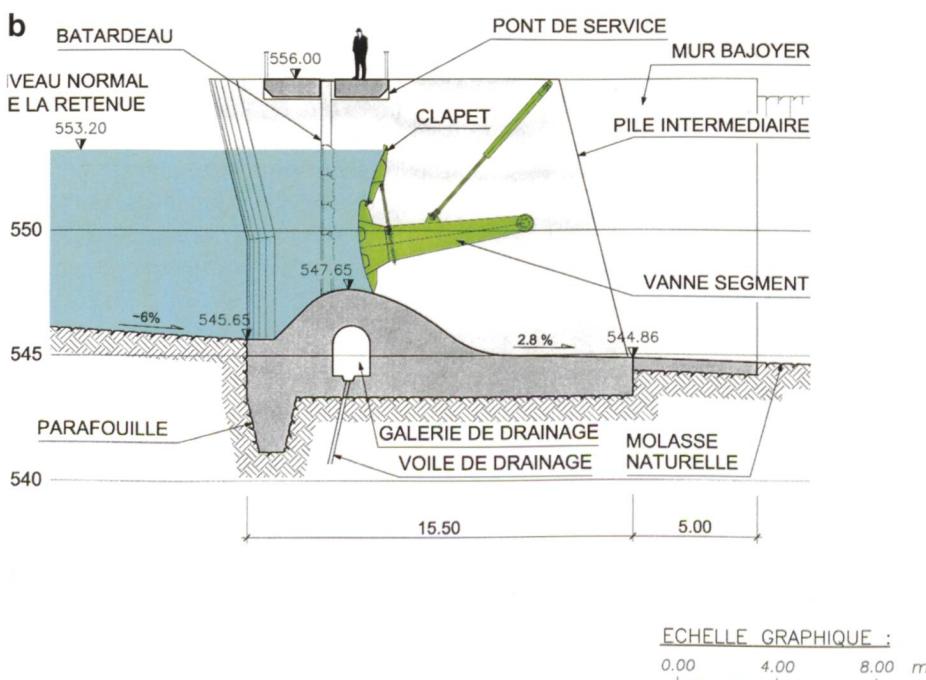
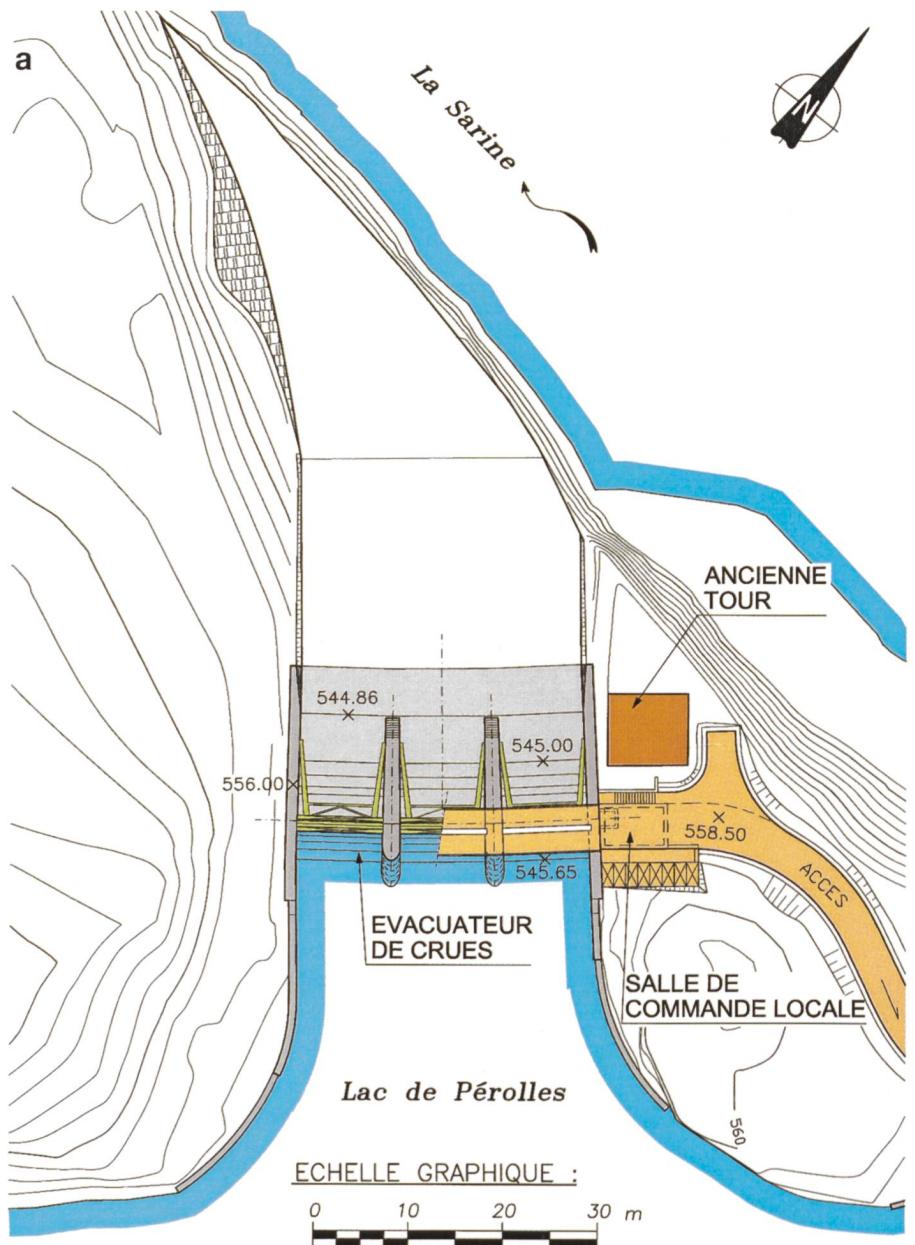


Fig. 5. Evacuateur de crues du barrage de la Maigrauge après les travaux de réhabilitation – a) situation, b) coupe.

geur équipées de vannes de type segment d'une hauteur de 4,55 m. Les vannes sont manœuvrées électriquement par un treuil et ne peuvent être batardées. Une passerelle métallique de service, dont la largeur est de 1,50 m, est posée sur une structure métallique triangulée.

Le seuil déversant est prolongé à l'aval sur une longueur de 65 m par un coursier excavé dans la molasse, tel qu'illustré à la figure 4. La restitution du canal surplombe le lit de la Sarine d'une hauteur d'environ 10 m. Le coursier n'étant pas revêtu, l'érosion peut atteindre, par endroits, 2 m de profondeur.

L'équipement hydromécanique, outre son état général vétuste, est fortement corrodé. Quant aux ouvrages en béton, ils sont affaiblis autant par le vieillissement des structures que par la détérioration des conditions de stabilité imputable à l'érosion de la molasse. Associés à la capacité de décharge insuffisante, les phénomènes de vieillissement des structures ne permettent pas le maintien de l'évacuateur existant; ce dernier sera donc remplacé par une nouvelle structure.

### 5.1.2 Conception du nouvel évacuateur de crues

Suite à l'étude de variantes de l'avant-projet, le concept retenu préconise la réalisation d'un nouvel ouvrage sur la base de trois principes fondamentaux. Le premier principe consiste à conserver l'emplacement en rive gauche de l'ouvrage existant pour la construction du nouvel évacuateur. L'axe actuel du coursier est donc maintenu, ce qui par ailleurs limite les terrassements pour le nouvel ouvrage.

Le second principe retenu associe la capacité d'évacuation de l'ouvrage de sécurité situé en rive droite (environ  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ ) à celle du futur évacuateur. Enfin, une surélevation du plan d'eau limitée à 1 m lors d'une crue exceptionnelle, ceci sans déversement par-dessus le barrage, constitue le troisième principe adopté. Ce dernier concept garantit la sécurité vis-à-vis des crues extrêmes tout en minimisant les coûts de réalisation, les atteintes à l'environnement et la protection des zones bâties en queue de retenue.

Afin de satisfaire aux exigences de l'évacuation des crues et de la stabilité de l'ouvrage, le nouvel évacuateur en rive gauche, illustré à la figure 5, est implanté légèrement à l'aval de l'ouvrage existant dans l'axe du coursier actuel. Il est fondé entièrement sur la molasse.

L'ouvrage principal se compose de trois passes vannées de 9 m de largeur avec un seuil fixe situé à la cote 547,65 m s.m., soit 1,05 m plus bas que le seuil actuel. L'ouvrage

d'entonnement est légèrement incurvé afin de réduire la largeur du coursier à l'aval, ce qui conduit à des piles d'épaisseur variant de 2 m à 1,45 m.

Pour obtenir une sécurité suffisante au glissement, le radier est prolongé verticalement à l'amont par un parafouille de 2,2 m de profondeur. Vu la section disponible dans le seuil de l'évacuateur, une galerie de visite de  $1,5 \times 2$  m permettra d'améliorer ultérieurement les conditions de stabilité par la réalisation d'un voile de drainage visant à limiter les sous-pressions dans la fondation.

Le coursier aval, d'une largeur de 30 m, présente une pente longitudinale de 3%. Taillés dans la molasse, le radier et les talus ne sont protégés de l'érosion par aucun revêtement.

La construction d'un ouvrage particulier de déflexion ou de dissipation d'énergie n'a pas été jugée nécessaire pour restituer les eaux à la Sarine.

Les vannes de type segment, d'une hauteur totale de 5,91 m et d'une longueur de 9,0 m, sont munies chacune d'un clapet d'une largeur de 7,4 m pour une hauteur de 2,2 m. Le point d'appui de la vanne sur le seuil est reporté 1 m en aval de la crête du seuil de manière à garantir des conditions d'écoulement satisfaisantes lors des ouvertures partielles. Chaque vanne segment est actionnée par deux vérins hydrauliques prenant appui latéralement sur les piles. Quant aux clapets, un vérin central reposant sur la poutre maîtresse de la vanne segment permet de les manœuvrer indépendamment.

Lors de l'entretien ou d'une révision des vannes, chaque passe peut être successivement batardée. Le batardeau coulissant est constitué de cinq éléments d'une hauteur de 1,2 m chacun; leur mise en place est assurée par une grue mobile à partir du pont qui surplombe l'évacuateur.

Les caractéristiques hydrauliques des différents ouvrages ont été vérifiées au Laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'EPFL (LCH) au moyen d'essais sur modèle réduit. Le modèle, illustré à la figure 6, a également permis de simuler le comportement de la retenue pour différents débits, notamment ceux correspondant à l'événement millénal et à la crue de sécurité et, partant, de s'assurer de la stabilité du lit de la Sarine et de la roselière au droit du site. Ce dernier résultat est notamment important en raison de la valeur écologique de la retenue.

La régulation du plan d'eau en conditions normales est accomplie par un automate de commande qui, sur la base de la lecture du niveau de la retenue, actionne les clapets de manière à maintenir le plan d'eau au niveau maximal d'exploitation.

Le passage des crues est assuré par l'évacuateur en rive gauche et dans les cas extrêmes par la vanne de sécurité en rive droite. L'ensemble des équipements hydromécaniques peut être commandé soit à partir de la salle de commande locale située à proximité de l'ouvrage, soit à partir de la salle de commande principale localisée dans l'ancienne usine. Enfin, les segments et les clapets peuvent être commandés individuellement ou manœuvrés en parallèle.

## 5.2 Confortement du barrage

Les archives du barrage ne font que peu état des choix techniques et des procédures liées à sa réalisation. Les informations disponibles proviennent pour l'essentiel de l'analyse et de l'interprétation des résultats des deux campagnes de reconnaissance effectuées pendant les années 1984–1985 puis 1994–1995 dans le cadre d'une étude qui visait à définir les caractéristiques essentielles du barrage et d'en évaluer la sécurité. Le barrage décrit en plan un segment d'arc de cercle sur la rive droite qui se raccorde à la rive gauche par l'intermédiaire d'un tronçon rectiligne. La configuration du site et en particulier celle des appuis semble avoir dicté le choix de cette géométrie. En coupe en travers, le barrage présente une section trapézoïdale d'une largeur de 26 m à la base de la console la plus haute. Les bétons du barrage sont de qualité médiocre; ils sont notamment caractérisés par une porosité élevée et un module d'élasticité relativement faible. Cette qualité médiocre est imputable aux procédés de fabrication et de mise en œuvre des bétons qui prévalaient au moment de la construction du barrage. Le massif de fondation est constitué de molasse gréuseuse de bonne qualité.

L'analyse et l'interprétation des mesures d'auscultation disponibles depuis le début des années 80, c'est-à-dire peu après la soumission en 1977 du barrage de la Maigrauge à la haute surveillance de la Confédération, permettent de conclure à un comportement entièrement satisfaisant. Cependant, la vérification des conditions de stabilité du barrage existant selon les critères actuels a révélé une déficience de la sécurité structurale. Il s'agit notamment du développement de contraintes de traction relativement importantes dans le béton sur le parement amont du barrage, et en particulier en son pied, pour les configurations exceptionnelles d'exploitation, telles que la crue de sécurité et le séisme. Cette vérification, effectuée à l'aide d'un modèle numérique, a également permis de mettre en évidence l'influence déterminante des effets thermiques sur le comportement statique du barrage de la Maigrauge.

Fort de ces conclusions, il s'est avéré nécessaire de projeter des travaux confortatifs pour améliorer les conditions de stabilité de l'ouvrage. Pour l'élaboration du projet de confortement deux variantes ont été esquissées puis comparées entre elles sur la base de critères techniques, économiques et d'impact sur l'environnement. La première variante prévoyait la réalisation d'un épaulement aval au moyen d'un remblai alors que la seconde préconisait la mise en œuvre d'ancrages précontraints. Cette dernière variante a été retenue pour les avantages qu'elle offre, notamment le maintien de l'aspect actuel du barrage et le contrôle permanent des forces stabilisantes appliquées à l'ouvrage.

Sur la base d'une analyse structurale, une précontrainte de 800 kN par mètre linéaire de couronnement s'avère suffisante

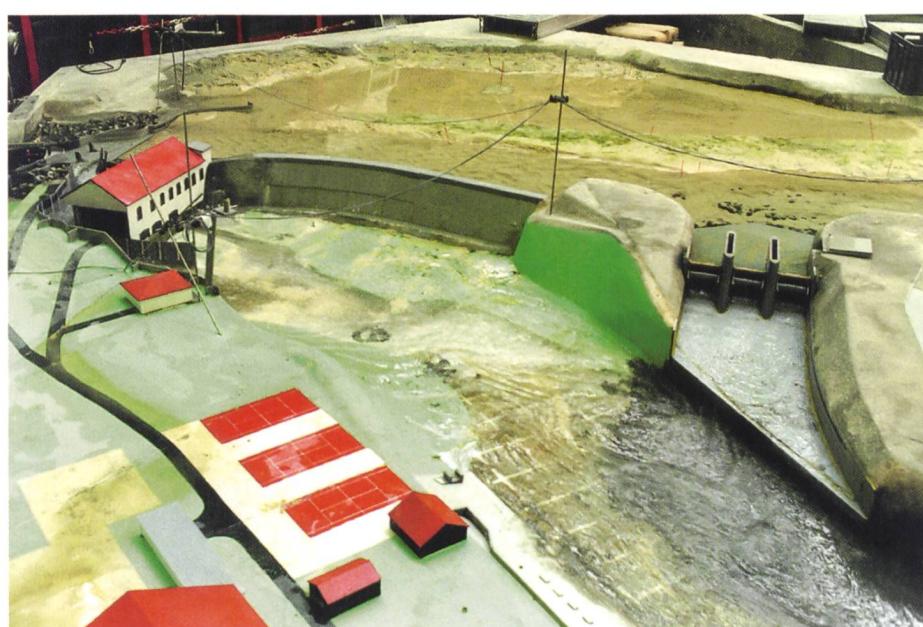


Fig. 6. Modèle hydraulique de l'aménagement de l'Oelberg-Maigrauge réalisé au Laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'EPFL (échelle géométrique 1:50).

pour garantir des conditions de stabilité satisfaisantes de l'ouvrage. Du point de vue constructif, les forces stabilisantes sont introduites dans le corps du barrage par 53 tirants d'ancrements permanents de type non adhérent ancrés en profondeur dans le massif de fondation, comme l'illustre la figure 7, et exerçant une force de 1600 kN. La distance entre deux ancrages est égale à 2 m – à l'exception des deux rives. Une distribution satisfaisante des forces stabilisantes dans le corps de l'ouvrage est obtenue au moyen d'un nouveau couronnement en béton armé qui assure le rôle de poutre de répartition. Ce couronnement, élargi à 4,5 m pour permettre l'accès des véhicules à l'évacuateur de crues, sera réalisé en deux étapes distinctes pour permettre l'évacuation des crues par-dessus le couronnement du barrage pendant les travaux. Les conditions de mise en œuvre des ti-

rants d'ancrements seront vérifiées à l'aide de 4 tirants d'essai exécutés au pied aval du barrage.

Enfin, il est prévu d'équiper 6 tirants de cellules de pression permanentes de manière à permettre l'enregistrement puis l'interprétation de l'évolution des forces de blocage. En cas de nécessité, chaque tirant pourra être retenu.

### 5.3 Renouvellement des prises d'eau

L'aménagement actuel comporte deux prises d'eau situées en rive droite à proximité de l'ancienne usine. La prise de droite a été réalisée en 1908 alors que celle de gauche date de 1941. Le décalage dans le temps de leur construction explique l'implantation particulière du second ouvrage et en particulier son orientation hydrauliquement défavorable par

rapport à la direction principale de l'écoulement, comme l'illustre la figure 8.

Le nettoyage de la grille de droite est actuellement assuré par un dégrilleur mécanique à commande manuelle tandis que l'ouvrage de gauche est muni d'un dégrilleur entièrement automatique. A relever que les deux prises sont protégées des corps flottants par une grille grossière installée légèrement en amont pour ce qui concerne la prise de droite, et par des caissons plongeants pour la seconde. Ces protections sont justifiées par le transport important de corps flottants lors des crues de la Sarine.

La prise de gauche, d'une longueur totale de 26 m, est fondée pour une grande partie sur le mur de fermeture du barrage. L'ouvrage de droite, d'une longueur totale de l'ordre de 30 m, repose pour sa part essentiellement sur des terrains meubles constitués d'éboulis et de remblais. Les quelques plans d'exécution retrouvés dans les archives du barrage révèlent l'existence de pieux en bois mis en œuvre pour conférer aux fondations une capacité portante suffisante. La présence de ces pieux a été confirmée par les inspections subaquatiques de l'ouvrage.

Seule l'une des trois vannes planes sert encore à la régulation de la retenue. Elle est manœuvrée aussi lors des mises hors service des groupes hydrauliques à la centrale de l'Oelberg.

Le manque d'efficacité des dégrilleurs, imputable à une conception aujourd'hui dépassée, associé à la vétusté de l'ensemble des installations rendent l'exploitation des prises difficile, en particulier lors des crues. Cet état de fait est aggravé par l'absence d'un grappin nécessaire aux travaux d'évacuation des troncs d'arbres et autres objets encombrants accumulés dans la retenue à proximité des ouvrages de prise. Au surplus, les inspections visuelles et subaquatiques de la prise de droite ont mis en évidence des fissures, parfois importantes, dans les ouvrages, fissures dont le développement pourrait à long terme affecter les conditions d'exploitation de l'aménagement.

Fort de ces conclusions, le Maître de l'ouvrage a jugé opportun d'inclure l'assainissement des prises d'eau dans les travaux de réhabilitation. Le projet entend améliorer le fonctionnement des prises et en faciliter l'exploitation. La solution retenue comporte l'abandon des deux prises actuelles au profit d'un ouvrage unique qui alimente les deux galeries d'amenée. Ce choix résulte de considérations hydrauliques et de la possibilité de n'avoir qu'un seul dégrilleur mobile pour le nettoyage de toute la grille.

Le nouvel ouvrage, équipé d'une grille fine d'une longueur totale de 32 m et

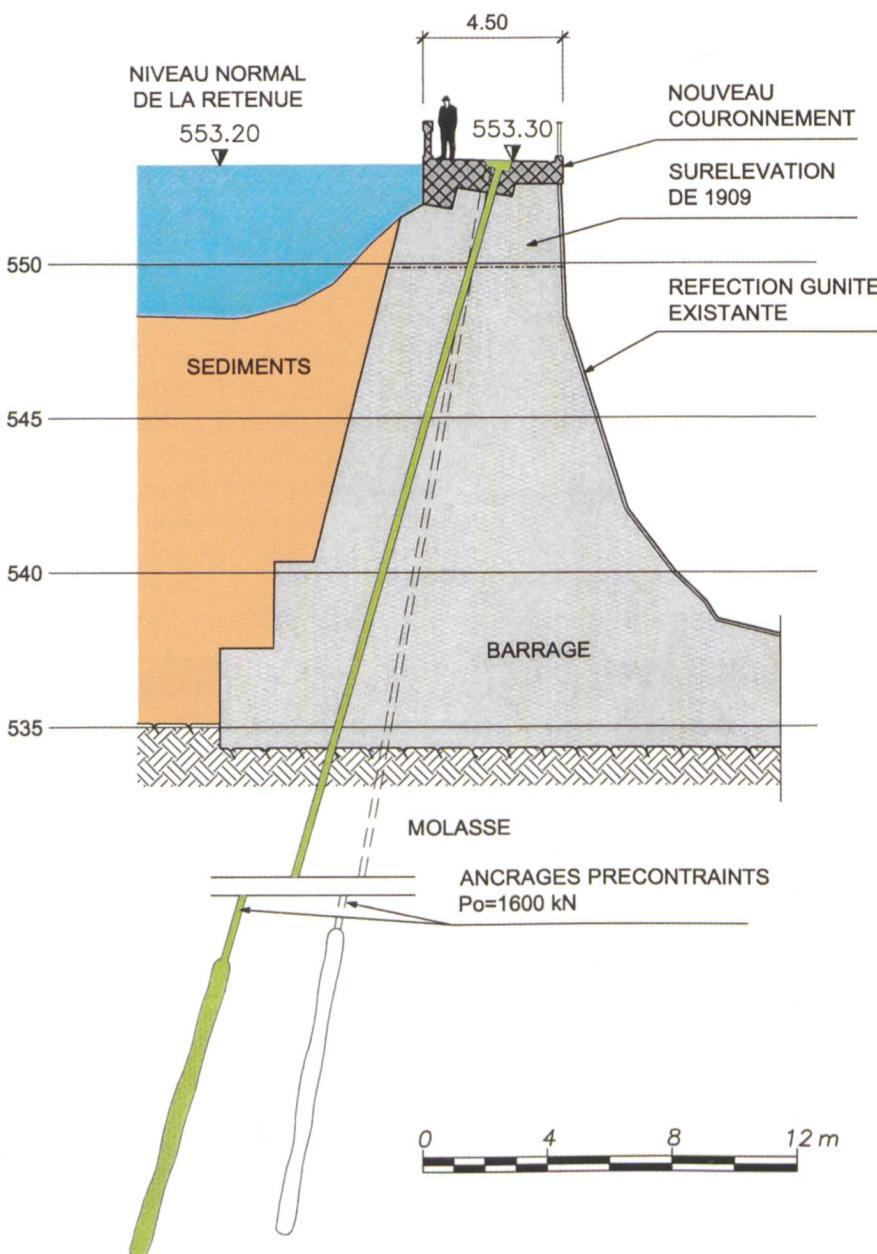


Fig. 7. Section type du barrage de la Maigrauge et confortement au moyen d'ancrages précontraints.

d'une hauteur de 3,65 m, est situé au droit de la prise droite existante. Il est prolongé en direction de la galerie d'amenée gauche, comme l'illustre la figure 9, de manière à assurer des conditions d'entonnement satisfaisantes. La prise de gauche actuelle sera démolie pour permettre la réalisation de l'accès au nouveau couronnement du barrage et celle de la prise de dotation.

L'efficacité hydraulique de la nouvelle prise d'eau a été vérifiée sur modèle réduit hydraulique de l'aménagement. Ces essais ont permis notamment de s'assurer de la répartition satisfaisante des vitesses de l'écoulement à l'approche de la grille. Certains détails constructifs, tels que la géométrie des entonnoirs, ont été également optimisés à l'aide de ce modèle.

La nouvelle prise sera équipée d'une vanne de sécurité qui remplacera les trois organes actuels. Cette vanne présente les mêmes caractéristiques géométriques que celles qui seront installées sur l'évacuateur de crues en rive gauche. Bien que du point de vue hydraulique son orientation par rapport au courant principal dans la retenue ne soit pas des plus favorables, elle permet néanmoins d'exploiter au mieux les ouvrages existants.

En aval, le canal de chasse fera l'objet de travaux de réfection et le mur bajoyer droit sera quelque peu surélevé dans la partie courbe afin de contenir les eaux à l'intérieur de l'ouvrage lors de l'ouverture complète de l'organe de sécurité. A relever que cet organe, qui assurera le maintien de l'efficacité de la prise en conditions normales d'exploitation, sera également utilisé pendant toute la durée des travaux sur la rive gauche pour évacuer les eaux en cas de crue.

Enfin, pour assurer des conditions d'exploitation et de fonctionnement satisfaisantes, la grille fine sera équipée d'un dégrilleur mobile muni d'un grappin de manière à permettre le nettoyage efficace de la grille et l'évacuation convenable des troncs d'arbres et autres débris ne pouvant être relevés par le dégrilleur.

#### 5.4 Assainissement de l'ancienne usine

Le bâtiment attenant au barrage date de la construction du barrage. Il abritait à son origine les groupes de pompage et de production d'énergie mécanique nécessaires au développement industriel de la ville de Fribourg. Transformé en 1895 pour permettre la production d'énergie hydroélectrique, le bâtiment a été finalement converti en dépôt après la construction de l'usine de l'Oelberg en 1908. La façade Nord-Est du bâtiment a fait l'objet de modifications en 1941 dans le cadre

des travaux de construction de la seconde prise d'eau. Symbole de l'essor industriel de la ville de Fribourg à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, ce bâtiment abrite actuellement le groupe de dotation, qui restitue à la Sarine un débit constant de 4 m<sup>3</sup>/s. Il loge aussi certains équipements électriques. Le projet de réhabilitation de l'aménagement intègre de fait les travaux pour la reconstruction de la toiture de l'ancienne usine, dont l'état de vétusté est jugé critique, et ceux pour l'assainissement des façades. Dans la configuration future de l'aménagement, le bâtiment abritera la nouvelle salle de commande principale du barrage, le groupe de secours pour l'alimentation électrique des équipements hydroméca-

niques et de commande ainsi que le dispositif de franchissement du barrage par les poissons migrateurs de la Sarine. L'ascenseur à poissons, situé à l'intérieur de l'ancienne usine, assurera la montaison des poissons. Dans ce dispositif, le poisson est attiré puis piégé dans une cuve au pied du barrage pour être élevé au niveau du couronnement. La dévalaison des poissons se fera quant à elle en rive droite à proximité de la prise d'eau.

#### 5.5 Mise à jour du dispositif d'auscultation du barrage

Outre les mesures géodésiques, l'auscultation actuelle du barrage comprend pour l'essentiel la mesure des déformations à l'aide de

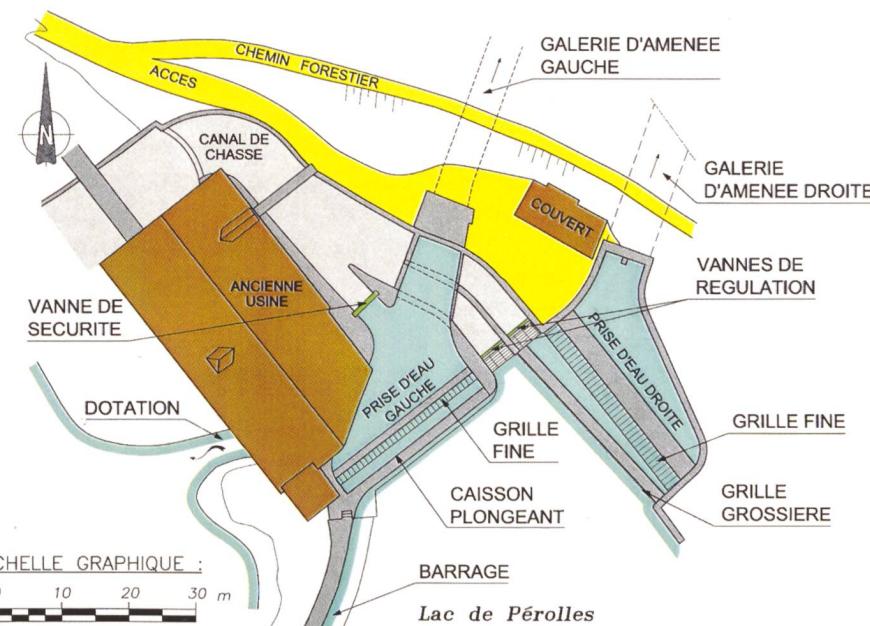


Fig. 8. Situation des prises d'eau existantes de l'aménagement de l'Oelberg Maigrauge.

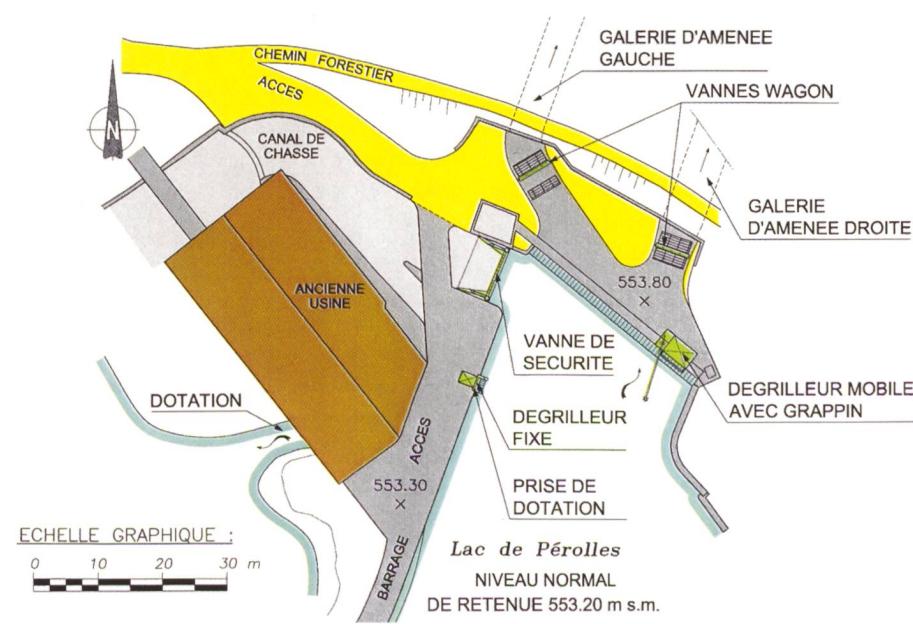


Fig. 9. Situation de la prise d'eau réhabilitée de l'aménagement de l'Oelberg Maigrauge.

4 micromètres coulissants répartis le long du couronnement ainsi que celle des sous-pressions au contact béton-rocher par le biais de 7 cellules piézométriques. Le niveau de la nappe dans la zone des prises d'eau est relevé quant à lui dans 7 piézomètres. Enfin, la mesure de la température du béton à l'aide de 6 thermomètres électriques s'effectue en vue d'une meilleure interprétation des déformations de l'ouvrage.

Dans la configuration réhabilitée, ce dispositif sera adapté pour garantir sa parfaite adéquation avec les objectifs de surveillance. Les cellules de pressions ainsi que les thermomètres seront remplacés par de nouveaux instruments permettant la mesure automatique des paramètres principaux et la télétransmission immédiate des résultats. Le dispositif d'auscultation sera également complété à l'aide d'un pendule inversé, de type «Hydro-Québec», installé dans la partie courbe du barrage avec un point fixe qui se situe à environ 30 m de profondeur.

## 6. Organisation et déroulement des travaux

Les travaux de réhabilitation du barrage de la Maigrauge sont conditionnés par plusieurs contraintes liées à la situation particulière du site. Pour satisfaire à l'ensemble des conditions, les travaux sont planifiés selon différentes phases bien distinctes pour lesquelles il y a lieu de prévoir la construction d'ouvrages provisoires de dérivation. Ceux-ci doivent garantir la protection des ouvrages permanents pour une crue de chantier fixée à 450 m<sup>3</sup>/s.

La première phase des travaux, d'une durée d'environ 11 mois, comprend, outre les travaux de mise en service des installations de chantier et de réalisation des pistes d'accès, la démolition du couronnement du barrage suivie de sa reconstruction avec une mise sous tension des ancrages, la réfection du parement aval au moyen d'un béton projeté, ainsi que la réhabilitation de la prise d'eau.

Les travaux en rive droite sont réalisés à l'abri d'un batardeau provisoire; ce dernier est constitué d'une paroi de palplanches érigée à l'amont de la prise d'eau droite existante. Durant cette phase, les débits de crues sont dérivés par l'évacuateur de crues actuel alors que la prise d'eau existante gauche est maintenue en service.

La deuxième phase des travaux, d'une durée égale à 7 mois, permet le démantèlement de la prise d'eau gauche et la mise en service de la vanne de sécurité. Ces travaux sont exécutés sous la protection d'un second batardeau provisoire, également constitué d'une paroi de palplanches fichée devant la prise gauche actuelle. Pendant

cette phase, l'évacuateur de crues existant garantit l'évacuation des crues. La demi-prise d'eau réhabilitée alimente la galerie d'amenée droite de façon à permettre une certaine production d'énergie.

La troisième phase des travaux, d'une durée s'élevant à 14 mois, inclut la construction du nouvel évacuateur de crues ainsi que le montage de ses vannes. L'ensemble des travaux est réalisé à l'abri d'un imposant batardeau provisoire de 6,50 m de haut et de 45 m de long installé à l'entrée du chenal de l'évacuateur. Les débits de crues sont évacués par la vanne de sécurité en rive droite et, si nécessaire, par le couronnement du barrage. La prise d'eau est entièrement opérationnelle garantissant une production en électricité normale durant cette phase des travaux.

Au cours de la quatrième et dernière phase dont la durée est égale à 3 mois, il est prévu d'exécuter l'ensemble des travaux de finition et en particulier la réalisation du parapet sur le couronnement du barrage. Les travaux à la Maigrauge s'achèveront par la mise en place du dispositif d'auscultation du barrage.

Ainsi, la durée totale des travaux nécessaires à la réhabilitation de l'aménagement de l'Oelberg-Mraigrauge s'élèvera à environ 32 mois, y compris le montage et la mise en service des équipements hydromécaniques. Les travaux, qui ont débutés en été 2000, s'achèveront au printemps 2003.

## 7. Conclusions

Les travaux projetés à la Maigrauge ont pour but d'améliorer les conditions de sécurité du plus vieux barrage en béton d'Europe.

Les solutions techniques choisies permettent de garantir la sécurité des ouvrages et leur fonctionnement normal dans le respect de l'environnement. L'exploitation de la retenue reste inchangée et le caractère actuel du site sera conservé. En outre, les décisions prises pour l'assainissement du barrage tiennent compte de la nécessité de maintenir pendant les travaux la retenue autant que possible dans sa plage habituelle d'exploitation.

Les nouveaux ouvrages d'évacuation des crues sont dimensionnés selon des critères actuels. En rive gauche, l'abaissement du radier de l'évacuateur existant et l'optimisation des formes hydrauliques du nouveau seuil permettent de doubler la capacité de décharge actuelle. En rive droite, l'installation d'un nouvel organe mobile facilite la gestion des prises d'eau et complète la capacité de décharge du barrage.

Les progrès techniques réalisés ces dernières années dans le domaine des tirants

précontraints et en particulier la bonne maîtrise des problèmes de corrosion rendent ce procédé opérationnel et parfaitement adapté au confortement du barrage de la Maigrauge.

L'assainissement des prises d'eau et la modernisation des équipements hydromécaniques visent à améliorer les conditions d'exploitation de l'aménagement.

L'installation d'un ascenseur à poissons dans l'ancienne usine et la mise en œuvre d'un ouvrage de dévalaison en rive droite rendent le barrage franchissable par la faune piscicole.

Enfin, la mise à jour du système d'auscultation du barrage et de ses ouvrages annexes s'inscrit dans le cadre de l'amélioration de la surveillance et, partant, de la sécurité de l'aménagement.

## Bibliographie

- [1] R. Bischof; B. Hagin; W. Hauenstein; R. Lafitte; L. Mouvet: «205 dams in Switzerland for the welfare of the population»; International Commission on Large Dams, 20th International Congress, Beijing, September 2000, Q. 77-R-64, p. 1000.
- [2] J.-B. Demont: «Réhabilitation du barrage de la Maigrauge»; Réhabilitation des barrages du canton de Fribourg, Département de génie civil, Ecole d'ingénieurs de Fribourg, 20 mai 1997.
- [3] L. Mouvet; D. Hersberger; D. Golliard: «Refurbishment of the Maigrauge powerplant: contribution of scale model testing to hydraulic design»; Modelling, Testing and Monitoring for Hydro Powerplant III, Aix-en-Provence, France, October 1998.
- [4] G. Ritter: «Observations et particularités techniques, géologiques et hydrologiques relatives à l'établissement du grand barrage de la Sarine à Fribourg»; Bulletin de la société neuchâteloise des sciences naturelles, année 1901–1902, vol. 30, p. 374–403.
- [5] N. J. Schnitter: «A history of dams – the useful pyramids»; A. A. Balkema, Rotterdam, 1994, p. 174 and 210.
- [6] A. Weber: «Usine de l'Oelberg», Fribourg, 1914.

## Adresses des auteurs

*Daniel Golliard*, Entreprises Electriques Fribourgeoises, Division Production d'Energie, CH-1636 Broc.

*Philippe Lazaro*, Lombardi SA, Ingénieurs-Conseils, via R. Simen 19, CH-6648 Minusio.

*Jean-Bernard Demont*, C. von der Weid & Associés SA, Ingénieurs-Conseils, avenue du Molé son 11, CH-1701 Fribourg.

*Bertrand Favez*, Perss Ingénieurs-Conseils SA, route du Levant 8, CH-1709 Fribourg.