

# Solutions constructives au problème d'ensablement du lac du Vernex sur la Sarine à Rossinière

Autor(en): **Heller, Philippe / Mailler, Benoît / Feller, Isabelle**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **108 (2016)**

Heft 2

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939514>

## **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.

# Solutions constructives au problème d'ensablement du lac du Vernex sur la Sarine à Rossinière

Heller Philippe, Mailler Benoît, Feller Isabelle, Blasi Fabio, Lafrikh Saïda, Kolly Jean-Claude

## Résumé

Premier obstacle sur la Sarine, le barrage de Rossinière capte un volume important de sédiment. Le volume de sa retenue est ainsi réduit de 2.7 Mio m<sup>3</sup> (mesure 1974) à 0.9 Mio m<sup>3</sup> (mesure 2015). Avec des apports sédimentaires annuels de l'ordre de 93 000 m<sup>3</sup>, environ la moitié, soit 44 000 m<sup>3</sup>, est déposée dans le lac. Afin de conserver la retenue, tant pour l'exploitation hydroélectrique que pour les aspects touristiques, piscicoles ou simplement visuels, l'exploitant, Groupe E, a sollicité Lombardi et E-dric.ch pour deux études de faisabilité, l'une portant sur la surélévation du barrage et l'autre sur la création d'une rivière de contournement du lac. Lombardi a conclu sur la faisabilité d'une surélévation de 3 m du niveau d'exploitation permettant d'ajouter un volume de 0.9 Mio m<sup>3</sup> et de retrouver ainsi le volume utile initial. E-dric.ch a démontré la faisabilité, tant hydraulique que sédimentaire, d'une rivière de contournement et de la mise en parallèle du lac produisant une alimentation hydrique directe du barrage. Sans perte de production, comme c'est le cas des tunnels by-pass de sédiments, ce concept permet de retrouver un état d'équilibre sédimentaire et ainsi de restaurer naturellement un régime de charriage à l'aval du barrage. Devisée à 10 Mio CHF, la réalisation conjointe des deux projets restaure le lac dans son état initial et en garantit sa pérennité. Cette solution constitue également une innovation importante pour une gestion durable des aménagements hydroélectriques.

## Zusammenfassung

Als erste Wasserkraftanlage im Oberlauf der Saane hält die Staumauer Rossinière ein beachtliches Geschiebevolumen auf. Das Stauvolumen wurde durch den Geschiebeeintrag von 2.7 Mio m<sup>3</sup> (Messung 1974) auf 0.9 Mio m<sup>3</sup> (Messung 2015) reduziert. Von der jährlichen Geschiebefracht in der Grössenordnung von 93 000 m<sup>3</sup> lagern sich 44 000 m<sup>3</sup>, etwa die Hälfte, im Staubecken ab. Um den Stausee für den Wasserkraftbetrieb, als touristischen Wert, als Fischgewässer oder aus ästhetischen Gründen zu erhalten, hat der Betreiber Groupe E, die Ingenieurbüros Lombardi und E-dric.ch mit je einer Machbarkeitsstudie beauftragt; die erste für eine Staumauererhöhung, die zweite für den Bau eines Umgehungskanals. Lombardi hat die Machbarkeit einer Erhöhung des Stauziels um 3 m bestätigt, wodurch ein zusätzliches Volumen von 0.9 Mio m<sup>3</sup> und dadurch das ursprüngliche Betriebsstauvolumen wieder bereitgestellt werden kann. E-dric.ch hat in Bezug auf Hydraulik und Geschiebemanagement die Machbarkeit eines parallel zum See verlaufenden Umgehungskanals aufgezeigt, welcher Abflüsse direkt der Stauanlage zuführt. Diese Auslegung erlaubt ohne Produktionsverluste, wie sie bei Geschiebepassagen auftreten, die Wiederherstellung des Gleichgewichtes im Geschiebehaushalt und dadurch des natürlichen Geschieberegimes im Unterwasser der Stauanlage. Mit geschätzten Baukosten von 10 Mio. CHF ermöglichen die beiden Projekte den Erhalt des ursprünglichen Zustandes und die Dauerhaftigkeit des Stausees. Die vorgeschlagene Lösung ist auch ein wichtiger Innovationsbeitrag zur Nachhaltigkeit von Wasserkraftanlagen.

## 1. Introduction

Le lac artificiel du Vernex, d'une superficie d'environ 30 hectares, fait partie de l'aménagement de Rossinière-Montbovon construit entre 1969 et 1972. Il s'agit du premier lac sur la cascade de la Sarine gérée par Groupe E. Les eaux du lac sont captées au niveau du barrage de Rossinière (VD) et transitent par une galerie d'amenée pour être turbinées à la centrale hydroélectrique de Montbovon (FR), située 5 km en aval. La Figure 1 illustre l'aménagement dans son ensemble.

Le barrage, de type poids à évidements, a une hauteur maximale sur fondation de 30 m pour une longueur de 35 m avec le couronnement à une altitude de 862.50 m s.m. La Figure 2 montre le couronnement du barrage avec la prise d'eau en rive

droite. La centrale de Montbovon abrite deux turbines Francis d'une puissance de 15.6 MW chacune. Avec un débit équipé de 40 m<sup>3</sup>/s, la production annuelle est de l'ordre de 80 GWh.

Situé sur deux cantons (Vaud pour le lac et une partie de la galerie et Fribourg pour la conduite forcée et la centrale), cet aménagement est propriété de Groupe E. L'exploitant est ainsi au bénéfice de deux concessions cantonales (Vaud et Fribourg) d'une durée de 80 ans avec une échéance en 2052.

Le lac du Vernex subit un alluvionnement très important depuis sa mise en service. Le volume total de la retenue selon la bathymétrie de 1974 était de 2.7 Mio m<sup>3</sup> avec un volume utile (entre les cotes 855 et 860 m s.m.) de 1.33 Mio m<sup>3</sup> pour un volume

mort de 1.37 Mio m<sup>3</sup>. Selon la bathymétrie réalisée en juin 2015, le volume total des sédiments accumulés s'élève à 1.78 Mio m<sup>3</sup> réduisant ainsi déjà le volume utile d'environ 0.41 Mio m<sup>3</sup> après seulement la moitié de la durée de la concession. Le volume utile en 2015 entre les niveaux 855 et 860 est de 0.9 Mio m<sup>3</sup>. L'évolution du volume du lac, illustré à la Figure 3, montre ainsi un atterrissement moyen de 44 000 m<sup>3</sup> par année. A ce rythme et sans mesure, l'alluvionnement entraînerait la perte totale du lac du Vernex vers 2035, soit avant même la fin de la concession.

Lors de la mise en service, les niveaux d'exploitation se trouvaient dans la tranche comprise entre 854 m s.m. et 860 m s.m. mais suite au problème d'alluvionnement, la cote minimale d'exploitation a été rehaussée d'un mètre, soit à 855 m s.m.





Figure 1. Situation de l'aménagement Rossinière-Montbovon.



Figure 2. Vue vers l'aval du barrage de Rossinière.

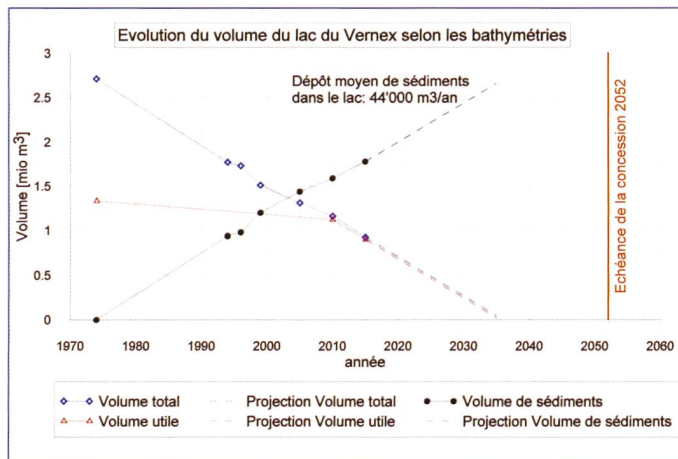


Figure 3. Evolution du volume du lac du Vernex.



Figure 4. Projet de barrage à la Chaudanne.

Selon les données disponibles, le bilan annuel du transport solide généré par le bassin versant de 370 km<sup>2</sup> atteint 93 000 m<sup>3</sup>/an dont la partie la plus grossière (environ 5%) est piégée en amont dans les cuvettes de Bois-Bricod et de la Chaudanne. Du solde (composante fine essentiellement), 44 000 m<sup>3</sup> environ se déposent dans le lac tandis que 45 000 m<sup>3</sup> sont transportés à l'aval par turbinage ou par déversement.

L'alluvionnement du lac du Vernex génère de nombreux impacts dont les principaux pour l'exploitant sont la réduction du volume utile et la perte de l'énergie de pointe, des problèmes au niveau du fonctionnement de la prise d'eau et des vannes de fond. Par ailleurs les impacts visuels et écologiques sont également très importants avec des conséquences sur le tourisme dans la région (perte du plan d'eau) ainsi que sur la vie piscicole (perte d'un volume nécessaire).

En 1995, Groupe E a mandaté le Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH – EPFL) pour mener des études permettant de qualifier et de quantifier les processus de transport solide à l'origine de l'alluvionnement du lac du Vernex. Plusieurs solutions ont été proposées:

- a) Création d'une retenue en amont du lac du Vernex au lieu-dit «Chaudanne» par la construction d'un barrage, permettant de retenir une partie importante des sédiments et également de produire de l'énergie avec une mini-centrale hydro-électrique. Cette solution, illustrée à la Figure 4, a été développée jusqu'au stade d'avant-projet;
- b) Extraction des sédiments dans le lac du Vernex;
- c) Pompage des sédiments dans le lac pour les turbiner avec une concentration contrôlée à la centrale de Montbovon;
- d) Extraction des sédiments déposés dans la retenue de Lessoc après leur turbinage à Montbovon.

En 2010, un groupe de travail réunissant les bureaux E-dric.ch, SCZA et ECOTEC a été constitué pour compléter les études effectuées. Cinq mesures additionnelles ont été proposées (ou complétées):

1. Remise en suspension et transit des sédiments en situation de crue par une ouverture appropriée des vannes de fonds (purge);
2. Extraction des matériaux à l'amont du

lac du Vernex dans la zone de plus forte déposition;

3. Extraction des sédiments dans le lac du Vernex pour retrouver le volume utile;
4. Remise en suspension des sédiments pour permettre leur transit par turbinage;
5. Rétention des sédiments grossiers en amont (Bois-Bricod, Chaudanne et stand de tir) par des mesures de faible ampleur.

Groupe E a décidé de mettre en œuvre en première étape la mesure n°1. Une notice d'impact sur l'environnement des purges partielles en cas de crue a ainsi été établie en novembre 2011. A ce jour, ces purges n'ont pas pu être réalisées. Le Service des forêts et de la faune, secteur faune aquatique et pêche (Fribourg) a demandé que les impacts sur la frayère d'ombre en amont du lac de Lessoc soient étudiés plus en détail.

D'autre part, jusqu'ici, aucune des autres solutions proposées n'a pu être réalisée, soit pour des raisons environnementales soit pour des raisons financières.

En 2014, devant ces difficultés et



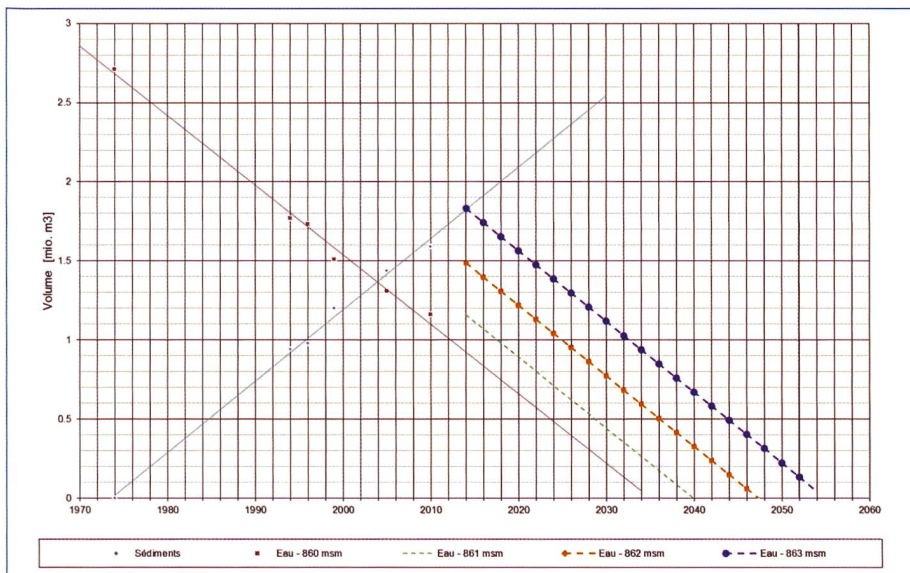


Figure 5. Evolution du volume en fonction de la surélévation du barrage.

face l'urgence liée à l'ensablement du lac, Groupe E a décidé de changer de stratégie. Plutôt que de chercher des solutions opérationnelles, il a décidé de se concentrer sur des solutions constructives au niveau même du barrage afin, soit de retrouver un volume utile suffisant, soit de rendre l'aménagement transparent pour le transport solide. Il a ainsi mandaté deux bureaux d'ingénieurs pour réaliser les études suivantes:

1. Etude de faisabilité de surélévation du barrage de Rossinière avec, comme objectif principal, l'analyse des différentes solutions techniques et la vérification de leur faisabilité (du point de vue technique, économique et environnemental, en incluant la stabilité de la voie ferrée). Cette étude a été confiée au bureau Lombardi.
2. Etude de faisabilité pour la gestion des sédiments avec, comme objectif

principal, la génération de variantes constructives pour assurer un transit sédimentaire durable à travers le lac. Cette étude a été confiée au bureau E-dric.ch.

## 2. Surélévation du barrage

### 2.1 Concept

La première mesure envisagée vise à augmenter le volume utile de la retenue par une surélévation du barrage de Rossinière. Cette solution permet de différer le moment où l'aménagement fonctionnera uniquement au fil de l'eau. La hauteur maximale d'une telle surélévation est conditionnée par l'environnement local. Notamment, la présence de la voie ferroviaire du MOB en rive droite du lac dont le point bas à proximité du barrage culmine à 865.00 m s.m. constitue une contrainte forte. Un changement du tracé de cette voie étant tech-

niquement difficile et économiquement conséquent, la surélévation maximale est bornée à 863.00 m s.m. pour garantir une hauteur minimale de 2 m entre la nappe phréatique et les voies du train, permettant ainsi d'éviter tout problème lié au phénomène de gel-dégel. Trois variantes de surélévation du niveau normal d'exploitation, de 1, 2 et 3 m sont donc étudiées. Comme illustrée sur la Figure 5, seule une surélévation du niveau normal d'exploitation à la cote 863.00 m s.m. associée à une augmentation d'environ 0.9 Mio m<sup>3</sup> de la retenue permet théoriquement de garantir un volume utile au-delà de l'échéance de la concession.

### 2.2 Faisabilité

La faisabilité technique d'une surélévation a été éprouvée en vérifiant l'ensemble des domaines concernés, à savoir le génie civil (barrage et ouvrages annexes), l'hydromécanique (vannes et turbines), la géologie (fond du lac, fondations et rives), l'environnement (naturel, bâti et infrastructures) ainsi que la logistique (accès et travaux). Ces différents points sont présentés succinctement ci-après.

#### 2.2.1 Génie civil

Concernant la stabilité du barrage, la marge à disposition pour reprendre les charges additionnelle (poids propre, poussée hydrostatique et sous-pressions) a tout d'abord été définie à partir des notes de calculs d'origine (1970) mises à jour avec les nouvelles données acquises grâce aux instruments d'auscultation, principalement concernant les sous-pressions. La hauteur de surélévation du couronnement a été déterminée de sorte à répondre aux exigences de l'Office Fédéral de l'Energie

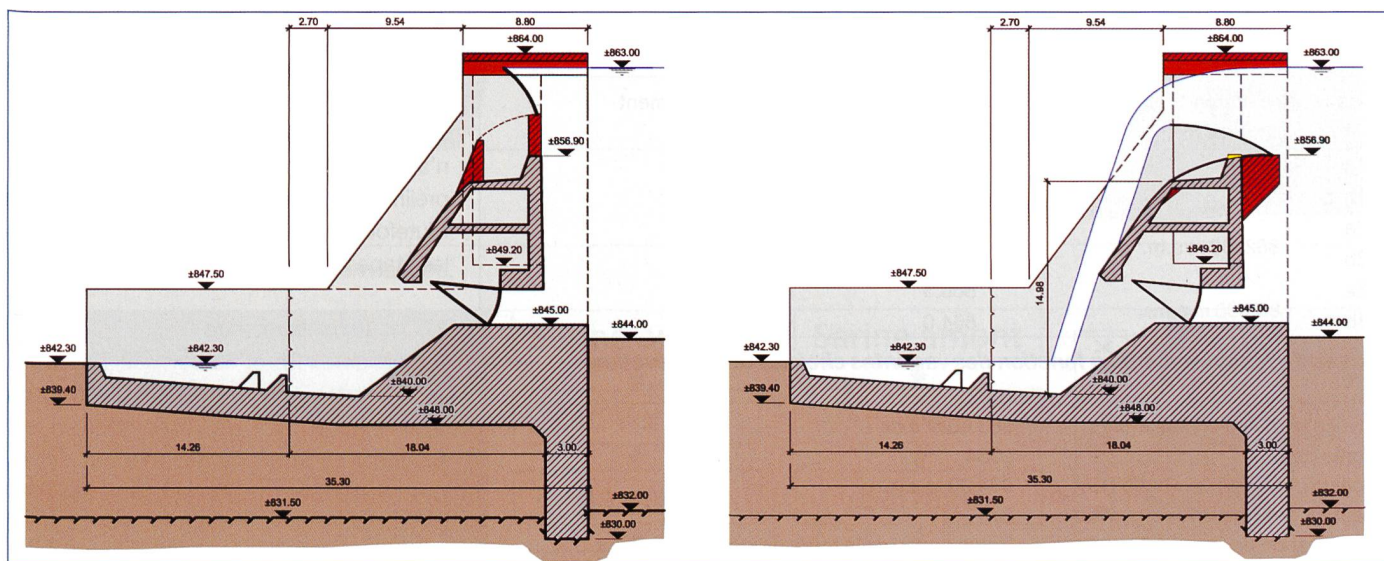


Figure 6. Surélévation du barrage par la réutilisation des mêmes clapets surélevés (à gauche) ou la mise en place de clapets agrandis (à droite).



(OFEN). Ces exigences stipulent, pour un barrage en béton d'une hauteur supérieure à 10 m, que la revanche de sécurité nécessaire en cas de crue de projet (T = 1000 ans) est fixée à 1 m.

Dans la configuration actuelle, l'évacuation des crues est réalisée au moyen de 2 vannes de fond et de 2 clapets de surface. Si une surélévation du plan d'eau ne modifiera pas le génie civil des premières, les clapets quant à eux devront être entièrement adaptés. Les deux variantes envisagées sont soit la réutilisation des clapets existants en rehaussant leur support (a), soit la mise en place de clapets plus grands (b) comme illustré à la *Figure 6*.

Le choix de la variante (a ou b) d'adaptation des clapets a un impact direct sur la capacité d'évacuation des crues et par là même sur la hauteur du rehaussement du couronnement. Les résultats obtenus sont illustrés dans le *Tableau 1*.

En cas de surélévation du plan d'eau de l'ordre de 1 à 3 m, il faut ainsi s'attendre à une augmentation des charges par rapport à l'état actuel de l'ordre de:

- 2 à 4 % pour le poids propre;
- 9 à 29 % pour la poussée hydrostatique;
- 8 à 15 % pour les sous-pressions.

Il peut être observé que les forces déstabilisantes augmentent d'une manière plus importante que les forces stabilisantes. Sur la base d'une analyse qualitative préliminaire il peut toutefois être considéré que la sécurité du barrage n'est pas un point bloquant du projet d'autant plus que les possibilités d'alsage de l'ouvrage sont nombreuses. Une analyse détaillée de la stabilité devra être réalisée dans une étape ultérieure.

### 2.2.2 Hydromécanique

L'augmentation de la charge hydrostatique sur les vannes segments de la vidange de

fond est calculée entre 7 et 22% suivant la hauteur de surélévation. Ceci nécessite la mise en place de renforts structurels localisés. Par ailleurs, il est prévu de réaliser prochainement une modélisation numérique des effets transitoires du système hydraulique afin de quantifier l'impact d'une surélévation du plan d'eau sur la cheminée d'équilibre ainsi que les diverses vannes et conduites du système. Ce point ne devrait cependant pas poser de problème particulier.

### 2.2.3 Géologie

Les éléments étudiés de géologie sont les conditions de fondation du barrage, la stabilité des berges et du talus du MOB ainsi que l'imperméabilité du réservoir.

Concernant les fondations, les caractéristiques géomécaniques favorables du rocher de fondation et l'efficacité prouvée du voile d'étanchéité présument qu'une surélévation du barrage de quelques mètres ne devrait pas poser de problème.

Les préoccupations majeures pour la stabilité des rives sont le remblai de soutènement du MOB et le talus Henchoz, zones déjà sensibles en l'état actuel. Le remblai du MOB (longueur 500 m), a été mis en place en 1970–1972 pour soutenir la ligne du chemin de fer en rive droite du réservoir et fait actuellement l'objet d'un contrôle géodésique et de nivellement régulier. Les résultats montrent des zones de tassement attribuées par le géologue à une dépression morphologique. Le talus Henchoz est la partie terminale du cône de déjection du Torrent des Planches qui se trouve en rive gauche du réservoir. Le front recule par érosion sur une longueur d'une centaine de mètres. La stabilité de ces deux éléments devra faire l'objet d'analyses détaillées, premièrement pour mieux comprendre le fonctionnement

actuel et deuxièmement pour évaluer l'effet d'une surélévation du plan d'eau. Toutefois, considérant que l'amplitude du marnage de la retenue (qui constitue une source majeure de déstabilisation), ne changera a priori pas en cas d'une surélévation du barrage, ce point n'est pas jugé critique à ce stade.

Concernant l'étanchéité du bassin, aucune perte d'eau n'a été signalée jusqu'à ce jour. Ceci laisse présumer une bonne étanchéité du réservoir. L'accumulation des sédiments sur le fond du lac renforce également l'imperméabilité déjà naturellement présente.

### 2.2.4 Environnement

L'étude d'impact environnementale préliminaire a révélé la présence d'une zone critique en rive gauche dont l'attrait provient d'une mise en eau partielle et qui a permis la formation d'un biotope particulier. En sus de cet élément, il sera également nécessaire d'approfondir les études concernant les différentes zones de protection du lac du Vernex ainsi que les espèces végétales et animales menacées par un rehaussement.

### 2.2.5 Logistique

L'accès au barrage est actuellement possible en rive droite par une route carrossable qui devra être conservée en cas de rehaussement. Il est ainsi prévu de la remblayer jusqu'au niveau maximal d'exploitation et de mettre un petit muret de protection additionnel. Les contraintes de réalisation proviennent d'une part du milieu lacustre et d'autre part de la volonté de maintenir l'exploitation du barrage lors du chantier.

### 2.2.6 Bilan

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, 3 niveaux de surélévation du plan d'eau et deux solutions techniques pour la mise en place des clapets sont étudiés. Aucune contrainte majeure d'ordre technique, géologique, environnemental ou logistique n'a été rencontrée dans cette étude préliminaire. Plusieurs points nécessitent toutefois d'être encore approfondis dans les étapes ultérieures.

## 2.3 Variante retenue

Les variantes 2b et 3a selon le *Tableau 1* sont écartées car le niveau d'eau dans la retenue en cas de crue millénaire est supérieur à l'axe de la voie du MOB. Les 4 variantes restantes sont étudiées comparativement à l'aide d'une analyse multicritère qui considère: la durée de vie, les aspects techniques (barrage, vannes, prise d'eau,...), la géologie (talus du MOB,

Cas [-]	Niv. normal d'expl. [m s.m.]	Niveau du couronnement [m s.m.]	Rehaussement [m]
1a		864.4	1.9
1b	861.00 m s.m.	863.5	1.0
2a		865.3	2.8
2b	862.00 m s.m.	863.5	1.0
3a		866.3	3.8
3b	863.00 m s.m.	864.0	1.5

**Tableau 1. Rehaussement en fonction des variantes choisies de surélévation.**

Niveau normal d'exploitation	863.00 m s.m.
Durée de vie	2054
Cote du nouveau couronnement	864.00 m s.m.
Hauteur des nouveaux clapets	8 m
Modification de la route d'accès	Remblayage de la route existante de 2 m sur environ 650 m

**Tableau 2. Caractéristique de la variante retenue.**



étanchéité du réservoir, l'environnement (augmentation des zones inondées) et la logistique (accès, réalisation).

Il est ainsi jugé pertinent de poursuivre les études avec la variante qui offre la plus grande durée de vie de l'ouvrage tout en conservant le fonctionnement actuel. Les caractéristiques principales de la variante retenue sont présentées dans le *Tableau 2*.

Les deux images de la *Figure 7* illustrent le concept de surélévation envisagé.

### 2.4 Conclusions et suite du projet

L'estimation des coûts d'investissement pour une surélévation de 3 m est de 4 Mio CHF avec une durée des travaux estimée à deux saisons de basses eaux. L'incertitude sur les coûts est comprise entre -10 % et +30 %. Le gain de productivité lié à cette surélévation est double puisqu'il permet de renforcer la flexibilité de l'aménagement et augmente légèrement la chute. Cumulés, ces deux gains sont de l'ordre de 300 000 à 600 000 CHF/an dont 140 000 CHF/an sont liés à l'augmentation de la chute.

## 3. Canal by-pass pour les sédiments

### 3.1 Concept

La seconde mesure envisagée consiste à faire transiter les sédiments à travers le lac

pour les amener aussi proche que possible du barrage. L'objectif est de turbiner les sédiments les plus fins (principalement limon et sable fin) et de purger avec les vannes de fond du barrage les fractions plus grossières (sable et gravier). De la sorte, l'aménagement de Rossinière devient quasiment transparent vis-à-vis des sédiments. Ce concept restaure ainsi le transit sédimentaire dans le tronçon de cours d'eau aval jusqu'au lac de Lessoc et même, moyennant une gestion adaptée, jusqu'au lac de Gruyère. Ce changement est particulièrement positif en regard de la zone alluviale d'intérêt national située à proximité d'Enney.

Le transit des sédiments à travers le lac de Rossinière nécessite de conserver une vitesse minimale de l'eau. La conservation de l'énergie cinétique de l'eau ne peut être réalisée que par la conservation d'une pente minimale. Il s'agit ainsi d'alimenter le lac par une embouchure aval proche du barrage et de le contourner par une rivière à recréer. De la sorte, le réseau hydrographique passe d'un mode «en série» (Sarine amont, embouchure dans le lac, lac, barrage avec prise d'eau puis Sarine aval) à un mode «en parallèle» (Sarine amont, rivière de contournement, barrage avec prise d'eau puis Sarine aval et lac d'accumulation en parallèle de la rivière de contournement alimenté depuis le barrage). L'essentiel du

débit est ainsi turbiné directement et seule la différence est accumulée ou soutirée du lac. Il en va de même pour les sédiments qui sont dès lors directement amenés au pied du barrage. La *Figure 8* illustre le concept de mise en parallèle repris de la thèse «Synergie» réalisée à l'EPFL [1].

### 3.2 Méthode participative

Afin d'optimiser le projet conçu initialement à partir du seul point de vue de l'ingénierie hydraulique, des entretiens de forme libre ont été réalisés avec les différents intervenants intéressés ou impactés par une telle modification du lac. Les groupes rencontrés comprennent les exploitants de la force hydroélectrique (Groupe E), les autorités concédantes (les responsables des services «Eau» des cantons de Vaud et Fribourg), les riverains (les autorités communales de Rossinière, Parc naturel régional), les pêcheurs (section Pays-d'Enhaut de la société vaudoise des pêcheurs en rivière) et une association environnementale (WWF, section genevoise).

De ces interviews, il ressort la nécessité de trouver une solution à long terme contre l'ensablement du lac pour conserver les installations hydroélectriques fonctionnelles (Groupe E, autorités concédantes), pour conserver un élément lacustre marquant le paysage et éviter sa

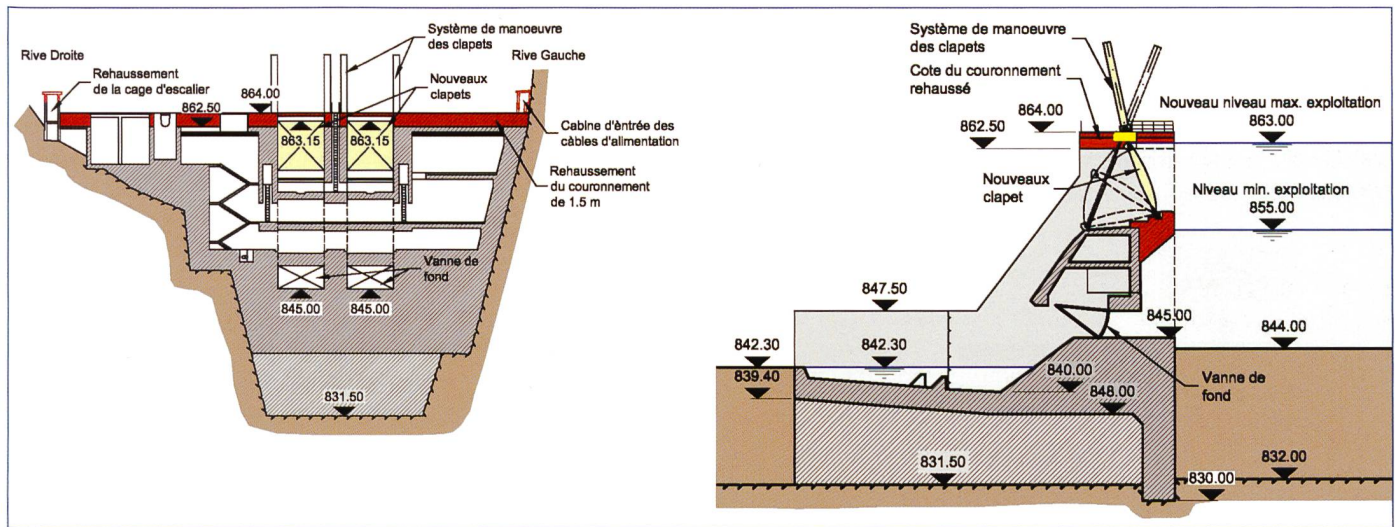


Figure 7. Solution constructive envisagée.

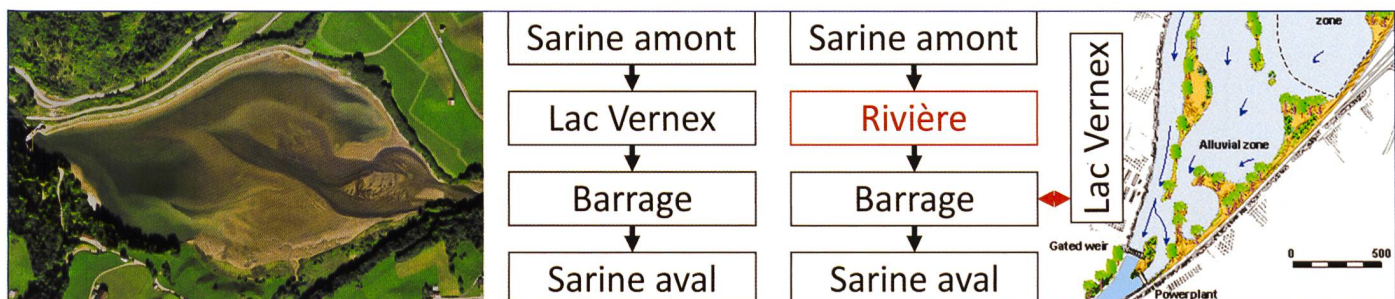


Figure 8. Concept de mise en parallèle du lac (gauche: état actuel en série, droite: état futur en parallèle).



transformation en un marécage (riverains, parc naturel régional) et pour conserver un volume d'eau suffisant pour la vie piscicole (pêcheurs). L'aspect économique ressort également comme un élément important, moins pour l'exploitant (la perte du volume d'accumulation ne réduit que très peu la production mais induit surtout un manque de flexibilité qui est toutefois mal rémunérée) que pour le tourisme et l'image du Pays-d'Enhaut (impact paysager, activités de loisir sur le lac, tourisme extensif). Enfin, la création d'une rivière de contournement est également l'occasion de restaurer partiellement la zone alluviale qui existait avant le lac sur le site de la Sarine à Rossinière.

Le concept initial prend ainsi la forme d'une rivière de contournement en rive gauche du lac avec une digue centrale ciblée pour les aspects environnementaux. La largeur de la rivière doit également permettre, outre le passage des crues, une certaine divagation pour recréer un espace alluvial. La Figure 9 donne le schéma fonctionnel de l'aménagement envisagé avec en bleu les aspects hydrauliques, en vert les aspects environnementaux, en jaune les aspects légaux et en orange les aspects constructifs.

### 3.3 Mesures envisagées

Pour conserver la continuité entre la Sarine en amont du lac du Vernex et la rivière de contournement à créer, cette dernière reprend les principales dimensions de la rivière amont tout en ajoutant une certaine marge de sécurité. La largeur passe ainsi de 32 m à 45 m tandis que la pente de 3.3‰ est conservée. Les berges pentues des gorges (environ 1:3) sont adoucies jusqu'à 1:15.

Le chenal principal permet ainsi le passage de la crue centennale avec une hauteur de 2 m. Pour une crue plus importante, il est admis que la partie amont de la digue puisse déverser directement dans le lac le débit excédentaire.

Le fond du chenal est implanté à l'aval à une altitude de 858.50 m s.m., soit 1.50 m sous le niveau normal d'exploitation (860 m s.m. selon la concession de l'aménagement). L'embouchure est ainsi immergée 30% du temps ce qui est jugé acceptable par l'exploitant. Compte tenu de la hauteur effective du chenal de 2.0 m, ce dernier est totalement séparé du lac avec, au minimum, une hauteur de 50 cm. A l'embouchure du chenal, une digue frontale est également aménagée à la cote 858.50 m s.m. générant ainsi un volume conséquent dans le chenal (environ 350 000 m<sup>3</sup>) qui est appelé à se combler naturellement par les sédiments de la Sarine jusqu'à obtenir une pente d'équilibre.

La digue, d'une longueur de 850 m, génère une surélévation de 2.80 m portant le fond du lit à 861.30 m s.m. à l'embouchure actuelle du lac. Bien que nécessitant formellement une nouvelle concession, la différence de niveau reste cependant mineure.

En plus de la digue centrale, des aménagements de loisir sont en outre prévus autour du lac, notamment des accès facilités au lac (ponton et berge adoucie, buvette d'accueil). Des parcours de pêche à la mouche pourraient également être développés tant sur le lac que sur la Sarine aval dans un paysage préservé. Ceci soutiendrait le tourisme extensif souhaité et l'économie hôtelière de la région.

### 3.4 Analyses réalisées et résultats obtenus

Les vérifications hydrauliques, réalisées à l'aide du logiciel de modélisation bidimensionnelle BASEMENT [2], concernent le fonctionnement du chenal par rapport à des scénarios de crue ainsi que, pour le transport sédimentaire, aux contraintes de cisaillement atteintes sous ces mêmes scénarios et les hauteurs de dépôts de sédiment à attendre. Les risques sont autant constitués par des érosions (mise en danger de la stabilité de l'ouvrage) que par des dépôts (comblement du chenal et déversement par-dessus la digue).

Les scénarios analysés comprennent 3 niveaux d'eau dans le lac (855, 858 et 860 m s.m.) ainsi que 5 débits incidents ( $Q_{\text{moy}}$  à 13 m<sup>3</sup>/s, capacité de turbinage à 40 m<sup>3</sup>/s, 60 m<sup>3</sup>/s, crue annuelle à 100 m<sup>3</sup>/s et crue centennale à 300 m<sup>3</sup>/s). Pour l'analyse des dépôts sédimentaires dans le lac, ces 15 scénarios sont calculés avec ou sans turbinage à 40 m<sup>3</sup>/s (soit au total 30 scénarios pour le lac).

La Figure 10 illustre la contrainte de cisaillement (à gauche) et les dépôts attendus (à droite) pour une crue annuelle de 100 m<sup>3</sup>/s sous un niveau du lac à 860 m s.m. La forte décroissance des contraintes de cisaillement à l'entrée effective du chenal dans le lac conduit à créer une accumulation au même endroit. Le dépôt, après une crue à débit constant de 10 h, atteint ainsi une épaisseur maximale de 35 cm qui sera probablement érodé en fin de crue ou lors des prochains abaissements du plan d'eau. Pour la crue centennale, les dépôts peuvent atteindre 60 cm et devraient également être érodés soit à la fin de la crue, soit dans des phases ultérieures d'exploitation. Se rappelant que le charriage ne constitue que 13% du transport solide total, ces résultats montrent qu'il n'y a pas lieu d'attendre de problème par déposition dans le chenal.

L'analyse des dépôts dans le lac venus par suspension en l'état actuel sont de l'ordre de 57% du volume incident, le solde étant déjà transporté à travers le lac et turbiné. Selon les scénarios analysés, dans l'état futur, ces dépôts sont réduits à une quantité insignifiante dans le lac (inférieur à 1%, qui pourra ensuite être naturellement entraînée vers la prise d'eau lorsque le lac se vide pour soutenir le débit incident). Derrière le barrage, ces dépôts sont plus importants, de l'ordre de 5 à 10% du volume incident. Toutefois, compte tenu de la proximité de vannes de fond, ces dépôts peuvent continuer leur transit dans la Sarine par une gestion optimisée des ouvertures des vannes. Dans un premier temps, un dépôt

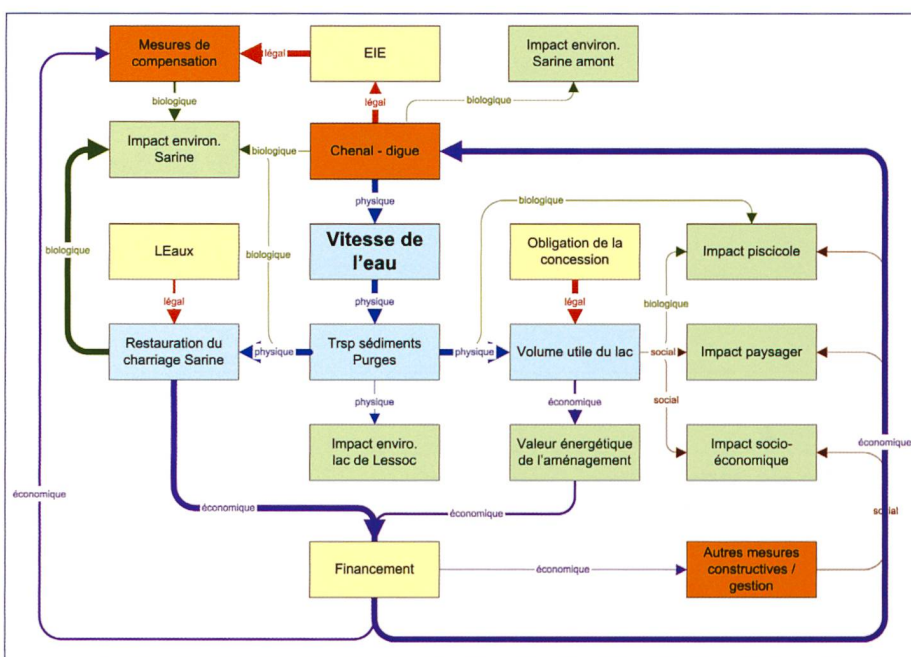


Figure 9. Schéma fonctionnel de l'aménagement.



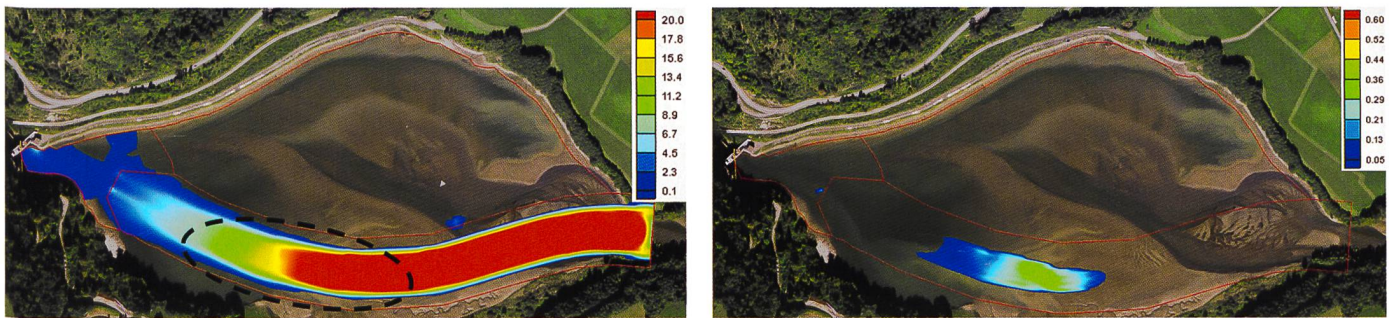


Figure 10. Contrainte de cisaillement et dépôts pour une crue annuelle ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$  avec le lac à  $860 \text{ m s.m.}$ ).

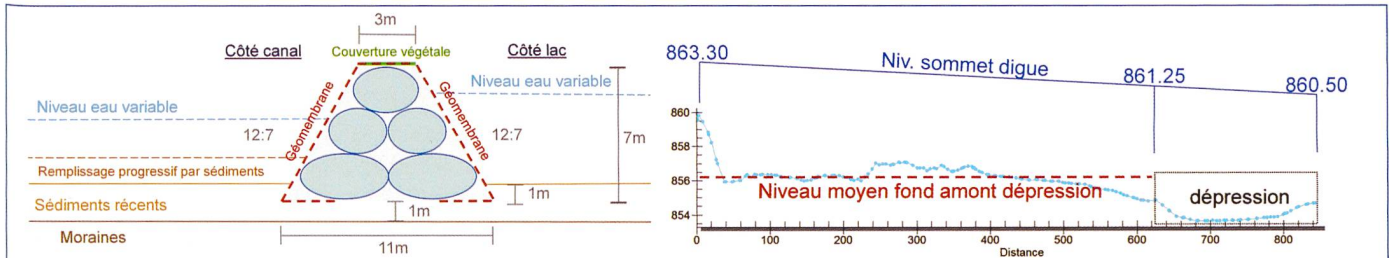


Figure 11. Concept de digue retenu et bathymétrie du lac au droit de la digue projetée.

similaire est également attendu dans le chenal jusqu'à que ce dernier atteigne sa pente d'équilibre.

Une analyse plus fine de ces dépôts doit encore être réalisée, notamment par une simulation continue représentative et non basée sur des scénarios.

### 3.5 Solution constructive

Afin de respecter un budget de l'ordre de 5 Mio CHF, la digue est réalisée par un empilement de géotubes formés de boudins en géotextile remplis de sédiments extraits du lac, permettant ainsi de regagner une partie du volume utile. En l'absence de données sur les qualités rhéologiques des sédiments présents au fond du lac, il est admis qu'un ajout de floculant inerte est nécessaire pour le remplissage des géotubes. Il est également admis que la portance du fond du lac est suffisante moyennant l'enlèvement d'une épaisseur de 1 m du fond actuel. Avec sa fondation et compte tenu de la bathymétrie du lac, la digue a une hauteur presque constante de 7 m sur toute sa longueur.

La partie supérieure de la digue est aménagée par une couverture végétale. La rive côté chenal est appelée à être remplie de sédiments jusqu'à une hauteur d'environ 2 m du sommet. Le solde ainsi que la rive côté lac sur l'épaisseur visible (selon les niveaux d'exploitation du lac) doivent être aménagés pour permettre l'implantation d'une végétation adaptée.

## 4. Conclusion

Premier obstacle à l'écoulement sur le bassin versant amont de la Sarine, le barrage de Rossinière récolte ainsi l'ensemble de la

charge sédimentaire du cours d'eau. Mis en service en 1972 avec un volume total de  $2.7 \text{ Mio m}^3$ , ce dernier est réduit, selon la bathymétrie de juin 2015, à  $0.9 \text{ Mio m}^3$ . Sans intervention, le lac sera totalement comblé vers l'année 2035, soit environ 20 ans avant la fin de la concession actuelle. Constituant un obstacle pour l'exploitation de l'aménagement comme pour la production d'énergie de pointe, cet ensablement constitue également un problème majeur tant pour les aspects paysagers que pour les aspects piscicoles. Par ailleurs, la rupture du transit sédimentaire conduit à un appauvrissement du cours d'eau aval qui souffre ainsi d'un déficit en sédiment.

Afin de trouver des solutions durables, Groupe E a développé deux approches complémentaires, soit la surélévation du barrage ainsi que la réalisation d'un canal de contournement du lac. Les deux pré-études réalisées par les bureaux Lombardi et E-dric.ch ont montré la faisabilité technique des deux projets. La première approche permet de retrouver le volume lacustre initial ( $1.8 \text{ Mio m}^3$ ) pour un investissement limité de l'ordre de 4 Mio CHF, et la seconde approche permet de stabiliser durablement l'ensablement du lac. Cette solution, pour un coût de l'ordre de 5 Mio CHF, présente également l'avantage de restaurer naturellement un transit sédimentaire vers l'aval.

Si les deux solutions développées présentent chacune des points forts, leur combinaison constitue probablement la meilleure solution pour redonner au lac du Vernex son aspect et sa fonctionnalité originels tout en garantissant son équilibre sédimentaire. Pour un investissement

inférieur à 10 Mio CHF, le lac du Vernex peut continuer à rester un outil performant de production d'énergie renouvelable de pointe tout en conservant son image lacustre de porte d'entrée du Pays d'Enhaut. La création d'un canal latéral d'alimentation constitue également une innovation importante pour apporter une solution pragmatique au problème d'ensablement des lacs artificiels et à la restauration du transit sédimentaire dans les cours d'eau.

### Références

- [1] Heller, P. (2007) «Méthodologie pour la conception et la gestion des aménagements hydrauliques à buts multiples par une analyse systémique», thèse EPFL n° 3781, Lausanne, Suisse.
- [2] BASEMENT, <http://www.basement.ethz.ch/>

### Adresse des auteurs

Heller Philippe, Mailler Benoît  
E-dric.ch, Ch. du Rionzi 54,  
CH-1054 Le Mont-sur-Lausanne,  
philippe.heller@e-dric.ch,  
benoit.mailler@e-dric.ch  
Feller Isabelle, Blasi Fabio  
Lombardi SA, Route de Chantemerle 1,  
CH-1763 Granges-Paccot,  
isabelle.feller@lombardi.ch,  
fabio.blasi@lombardi.ch  
Lafrikh Saïda, Kolly Jean-Claude  
Groupe E SA, Route de Morat 135,  
CH-1763 Granges-Paccot,  
saida.lafrikh@groupe-e.ch,  
jean-claude.kolly@groupe-e.ch



# Gesunde Umwelt durch Wasserkraft.

## **Ökologische Bestnoten:**

Im Quervergleich mit anderen Stromerzeugungsarten hat die Wasserkraft in Sachen ökologischer Qualität die Nase ganz vorn.

## **Strom für morgen und übermorgen:**

Wasserkraft ist erneuerbare Energie, schont die Ressourcen und trägt entscheidend zur nachhaltigen Stromerzeugung bei.

## **Trumpfkarte im Klimaschutz:**

Die saubere Energiequelle Wasserkraft trägt massgeblich zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Schweiz bei.

## **Gebannte Hochwasser-Gefahr:**

Speicherseen halten bei starken Regenfällen die Wassermassen zurück und bewahren so tiefer gelegene Regionen vor Hochwasser.

## **Raum für neues Leben:**

Wo Wasser gestaut wird, entstehen neue, biologisch wertvolle Wasserflächen und Uferzonen. Eine ganze Reihe davon stehen heute unter Naturschutz.



Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
Association suisse pour l'aménagement des eaux  
Associazione svizzera di economia delle acque