

# LES BARRAGES DOIVENT RESISTER A DES CRUES EXTREMES

La Suisse compte 162 grands barrages d'une hauteur de plus de 15 mètres. Ces ouvrages doivent être conçus afin de pouvoir résister à toutes les contraintes possibles lors de leur exploitation. Les installations de délestage de crues font partie intégrante des mesures de sécurité à envisager lors de la conception d'un barrage. Elles sont destinées à empêcher un débordement incontrôlé de la retenue en cas de précipitations extrêmes. Un projet de recherche de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a élaboré une méthode permettant de prévoir le danger lié aux crues exceptionnelles très rares.

Le Laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'EPF de Lausanne (EPFL) jouit d'une excellente réputation en matière d'études liées aux constructions hydrauliques, notamment celles faisant partie d'installation de production hydroélectrique. Les scientifiques y analysent notamment la fiabilité des barrages, le caractère fonctionnel des constructions hydrauliques présents sur les sites de production hydroélectriques ou le dépôt sédimentaire dans les lacs de barrage. Ils étudient également les questions de protection



Le Barrage de Contra du val Verzasca dans le Canton du Tessin a été construit au début des années 1960 et, avec une hauteur de 220 m, il s'agit du quatrième plus haut barrage en Suisse. Deux déversoirs avec six canaux en pente chacun sont visibles des deux côtés du mur. Les déversoirs permettent une évacuation de l'eau du lac de retenue lorsque sa capacité maximale est atteinte. Photo : Swiss-COD, 2011

contre les crues ou de revitalisation des cours d'eau. En plus de la recherche expérimentale, une grande halle d'essai abrite des travaux effectués sur des projets suisses ou internationaux liés à des questions telles que les mesures contre l'érosion au pied du barrage de Kariba sur le fleuve du Zambèze en Afrique, la protection contre l'érosion par des prismes en béton sur le site du barrage de Chancy-Pougny sur le Rhône au sud de Genève, la passe à poissons de la centrale située sur le Rhin au sud de Bâle ou encore un puits de chute à vortex pour l'évacuation des eaux usées à Cossonay, dans le canton de Vaud.

### **Les crues compromettent les barrages**

La sécurité est le fil rouge des différents projets de recherche. La population suisse fait confiance à la fiabilité des barrages indigènes. L'évaluation de la sécurité de ces ouvrages en béton ou en remblai représente cependant un travail de chaque instant. La population résidante à l'aval du barrage d'Oroville en Californie du nord, ouvrage en remblai d'une hauteur de 200 m, a fait la douloureuse expérience d'une menace réelle de danger lié au phénomène de crue au printemps 2017. Malgré la présence d'un déversoir principal, dont le fonctionnement permet le délestage de crues et évite ainsi un écoulement incontrôlé par-dessus le barrage, et après plusieurs semaines de précipitations, le déversoir d'urgence situé

latéralement au barrage principal menaçait de s'effondrer. Le déversoir principal avait été à cette période endommagé et rendu inutilisable. L'eau s'est ainsi mise à couler par-dessus le déversoir d'urgence qui a risqué de s'effondrer. Pour des raisons de sécurité, 160'000 personnes ont été évacuées à titre préventif. Le déversoir d'urgence et le barrage ont finalement résisté à la quantité d'eau.

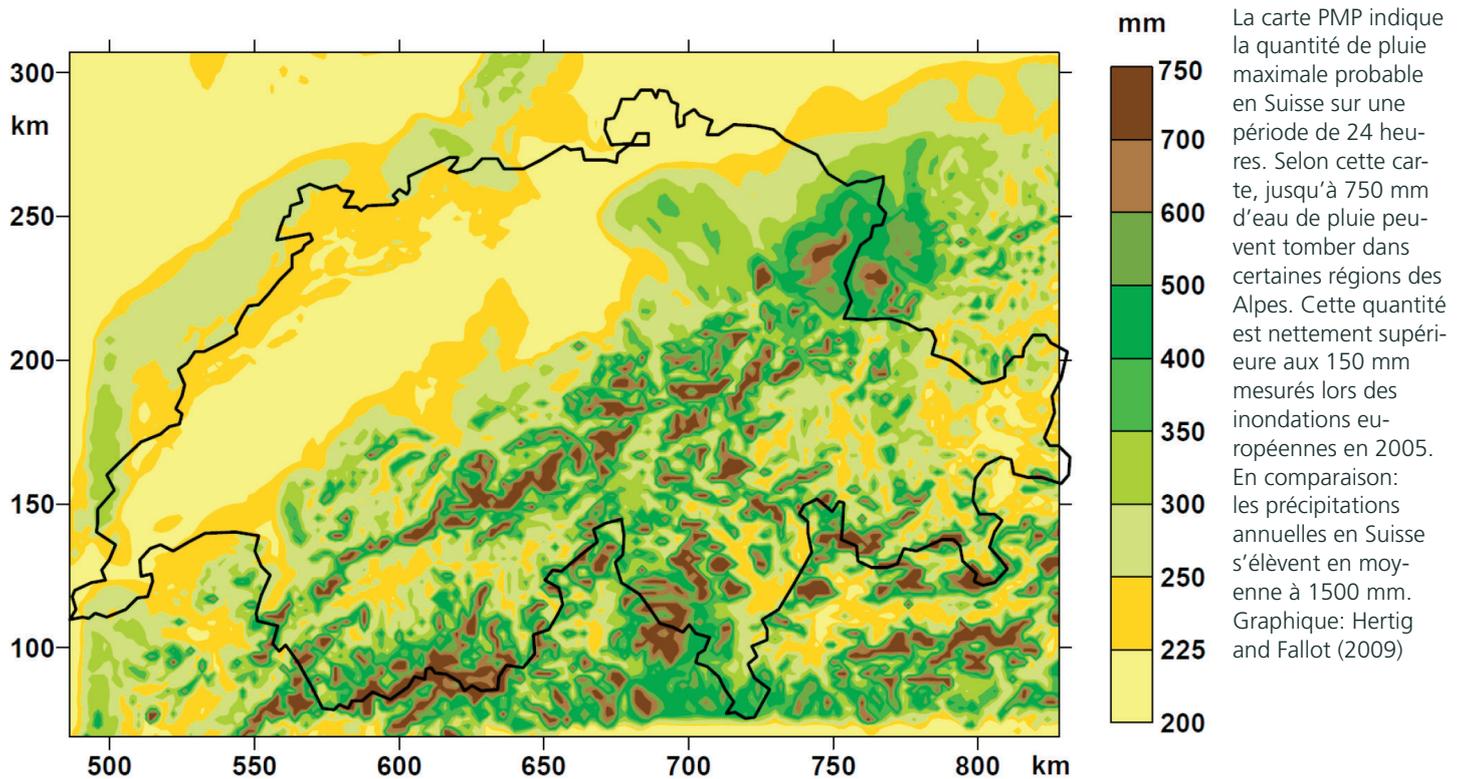
Le hasard a voulu qu'un projet de recherche de l'EPFL dédié à la sécurité des barrages en cas de crues se termine juste avant ce spectaculaire incident en Californie. Dans sa thèse, Franz Zeimet a analysé la quantité d'eau apportée par les précipitations sur le bassin versant d'un lac de retenue en cas de forte pluie et les conséquences sur le niveau de remplissage de ce lac. Le scientifique luxembourgeois a élaboré une méthode visant à déterminer les conséquences de précipitations extrêmes. Le travail contribue à la sécurité des barrages, affirme le professeur Anton Schleiss, directeur du Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) de l'EPFL et responsable de la thèse: «Les barrages en Suisse sont soumis à un contrôle de sécurité tous les cinq ans. Le présent travail fournit aux scientifiques les bases pour évaluer à l'avenir de manière encore plus précise le potentiel de danger des précipitations extrêmes dans les Alpes suisses et intégrer ce potentiel dans les contrôles de sécurité.»

## **LORSQUE LES CRUES PRENNENT DES PROPORTIONS «EXTRÊMES»**

Toutes les précipitations ne sont pas les mêmes. Lorsqu'il pleut sur l'Amazonie, la quantité d'eau venant du ciel est deux fois plus élevée que celle provenant des nuages au-dessus de la Suisse sur la même période. La principale raison est liée à la différence de climat avec l'Amérique du Sud, où l'air est plus chaud et où les nuages peuvent accumuler davantage d'humidité. En Suisse des quantités d'eau considérables peuvent tout de même s'accumuler en cas de fortes pluies. Lors des crues dévastatrices dans les Alpes en août 2005, environ 150 mm de précipitations se sont abattues en l'espace de 24 heures.

La tempête de 2005 fut violente. Mais il pourrait arriver pire. Les autorités de contrôle exigent des exploitants de barrages qu'ils se préparent à une crue exceptionnelle. Dans ce contexte, on entend par «exceptionnelle» une crue d'une intensité susceptible de survenir seulement une fois tous les mille ans. Les barrages doivent être assez solides pour résister à une crue millénale sans dommage. Un barrage doit également pouvoir résister à une crue extrême, même si ce type de crue est nettement plus rare, le cas échéant avec des dommages.

La quantité d'eau qui circule dans un lac de retenue en cas de crue millénale ou même de crue extrême ne peut être prévue sur la base de l'expérience, dans la mesure où de telles crues n'ont encore jamais été mesurées. C'est pourquoi les scientifiques tentent de calculer l'ampleur et la durée de telles crues aussi précisément que possible. Ces calculs font office de base pour la construction et les contrôles réguliers de sécurité des barrages. BV



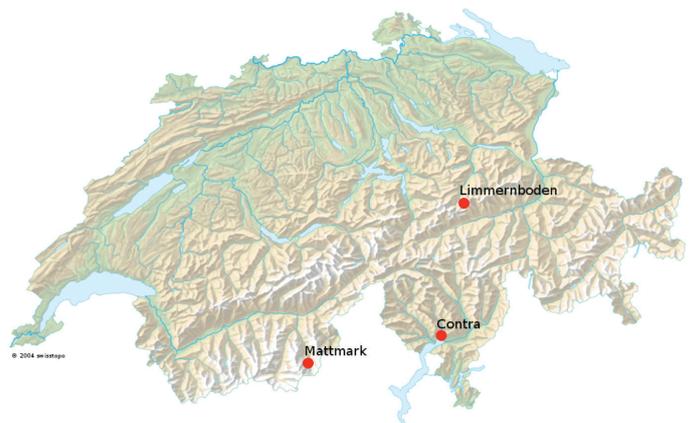
### Prévoir les crues extrêmes

En principe, lors de fortes précipitations, les barrages en béton et les barrages en remblai ont dans un premier temps un effet positif dans la mesure où ils interceptent l'eau qui tombe sur le bassin versant du lac de retenue, empêchant ainsi les fleuves de gonfler de manière abrupte. La capacité de chaque lac de retenue est toutefois limitée. Pour que l'eau du lac plein puisse circuler de manière contrôlée, chaque ouvrage dispose d'une construction de déstagement de crues appelée déversoir ou «passage» pour le cas d'une ouverture.

Afin de construire des déversoirs suffisamment solides, les exploitants des ouvrages d'accumulation doivent savoir à quelles quantités d'eau ils doivent s'attendre dans le cas le plus extrême (cf. zone texte p.2). La construction de barrages à grande échelle dans les Alpes suisses s'est faite en début de début 20e siècle ainsi qu'après 1945, ceci en vue d'utiliser l'énergie hydraulique pour la production d'électricité. C'est ainsi que les scientifiques ont tenté de prévoir les inondations les plus extrêmes et pendant longtemps, ces prévisions étaient principalement basées sur les inondations observées. À partir des données historiques et des crues mesurées, ils établissaient statistiquement à quelles quantités d'eau s'attendre en toute probabilité.

### Un nouveau modèle de prévisions

Cependant, cette méthode à elle seule ne permet souvent pas d'obtenir des résultats fiables en cas de crues extrêmes. C'est pourquoi les chercheurs étudient une nouvelle approche depuis une vingtaine d'années. Ils examinent la quantité d'eau maximale susceptible de tomber sur une région. Ces calculs reposent sur une densité nuageuse maximale avec une saturation maximale en humidité. Les résultats sont résumés



Dans le cadre de l'étude de l'EPFL, la nouvelle méthode de calcul des crues extrêmes a été appliquée sur trois ouvrages d'accumulation. Graphique: Dissertation Zeimet

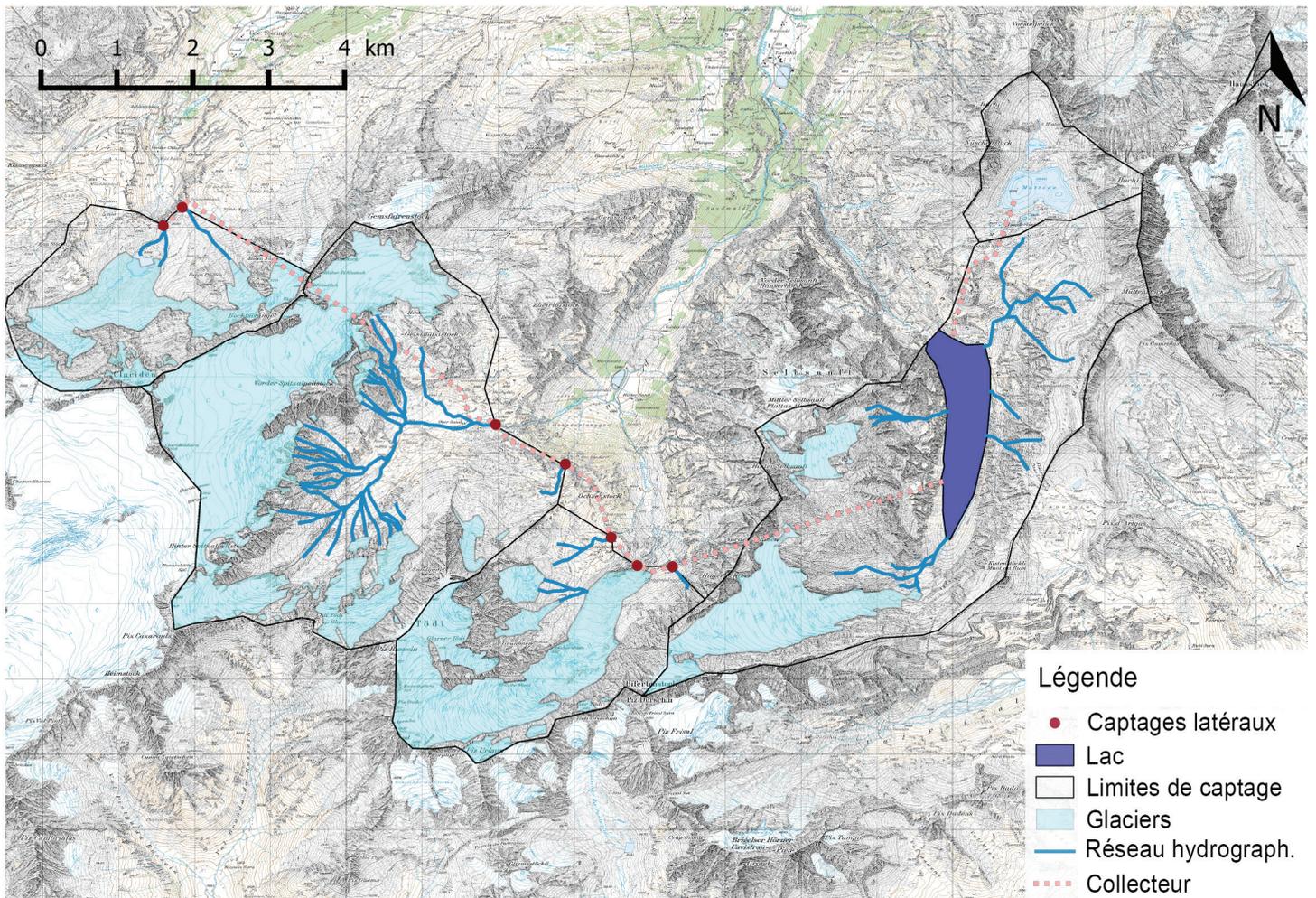
sur lesdites cartes PMP qui prévoient les précipitations maximales probable pour chaque situation géographique («pluie maximale probable»/PMP). Mais cette méthode a également ses points faibles: les quantités de pluie prévues ont tendance à être surestimées compte tenu du fait que la pluie ne tombe pas sur une surface étendue à force maximale sur une période prolongée.

Dans sa thèse, Fränk Zeimetz a élaboré une méthode qui part des valeurs maximales des cartes PMP mais qui tient également compte des crues mesurées pour parvenir à une évaluation plus pertinente des événements extrêmes. Cette méthode examine différents facteurs qui contribuent considérablement à la détermination de la dimension d'une crue en réalité. La répartition de la température dans l'atmosphère,

de même que les circonstances qui tendent à atténuer ou augmenter les effets d'une crue comptent parmi ces facteurs. Par exemple un sol meuble possède une capacité à absorber l'eau par opposition un sol en rocher, ou alors la pluie tombée sur une surface enneigée peut provoquer la fonte et augmenter ainsi le débit de crue.

### Le changement climatique entre parenthèses

Le grand public est aujourd'hui largement convaincu que le nombre et l'intensité des crues prendront de l'ampleur en raison du changement climatique. Dans ce contexte il peut sembler étonnant que l'étude de l'EPFL ait volontairement ignoré le changement climatique. Le prof. Schleiss n'y voit aucune erreur: «Le changement climatique influencera la fréquence des inondations mais augmentera à peine la quantité



La carte montre le lac de retenue de Limmerbodensee (bleu foncé) et le bassin versant (tracé en noir) avec les glaciers (bleu clair). Pour que la quantité d'eau soit suffisante pour le lac de retenue, l'eau des vallées avoisinantes est récoltée dans des captages supplémentaires (points rouges) et dérivée dans le lac de retenue par une galerie. Le calcul de crues extrêmes tient compte de la capacité de ces galeries pour envisager le cas dans lequel la dérivation des captages ne pourrait pas être interrompue. Carte: Dissertation Zeimetz/Swisstopo

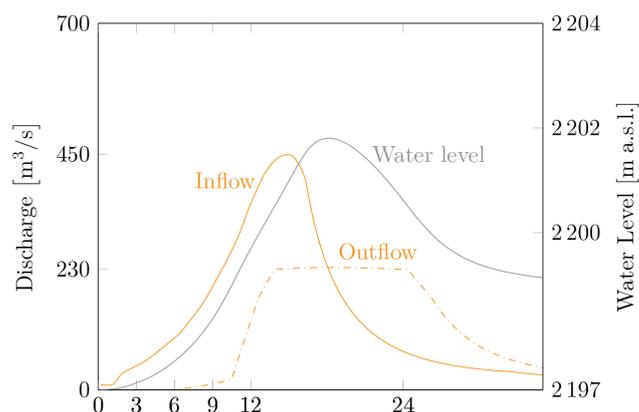
d'eau dans la mesure où nos modèles se basent déjà sur les quantités maximales possibles que les nuages sont en mesure d'absorber.» D'autre part, les plus grands barrages sont soumis à une inspection complète tous les cinq ans et les exigences liées à la sécurité contre les crues sont si nécessaire réajustées. Concernant les autres barrages, les conditions pour la garantie de la sécurité sont revues tous les dix ans. Anton Schleiss souligne également que les effets du changement climatique peuvent influencer les calculs de crues extrêmes sur le long terme. Ainsi, une élévation de la limite du zéro degré pourrait augmenter la quantité de pluie en haute montagne car les précipitations se présenteraient moins souvent sous forme de neige. De plus, les caractéristiques du sol et son utilisation pourraient s'en voir modifiées. Cependant, il est aujourd'hui encore trop tôt pour tenir compte de tels effets, affirme le chercheur de l'EPFL également président du principal groupe d'experts internationaux, à savoir la Commission internationale des grands barrages.

À l'avenir, les résultats du projet de recherche de Lausanne aideront à équiper les barrages en béton et les barrages en remblai pour résister aux crues extrêmes. Les grandes crues en Europe étaient peu nombreuses entre 1900 et 1970, ce qui a conduit jusqu'à présent à une sous-estimation du risque de crue étant donné qu'il se basait sur les crues observées précédemment. Anton Schleiss affirme que ce déficit a été compensé par des assainissements lorsqu'ils se sont avérés nécessaires. Sur la base du nouveau projet de recherche il est néanmoins concevable que certains déversoirs doivent être agrandis. Une augmentation de la revanche de sécurité, correspondant à la distance entre le niveau de remplissage maximal admis et le couronnement, pourrait être une alternative.

➤ Vous trouverez le **rapport final**, les cartes PMP ainsi que le programme de calcul élaboré dans le cadre du projet sur <https://cruex.crealp.ch>.

➤ Pour tout **renseignement complémentaire**, veuillez contacter le Dr. Markus Schwager ([markus.schwager@bfe.admin.ch](mailto:markus.schwager@bfe.admin.ch)), directeur du programme de recherche Barrages.

➤ Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** concernant les projets-phares et de recherche, les projets-pilotes et les démonstrations sur le thème des barrages sur: [www.bfe.admin.ch/CT/hydro](http://www.bfe.admin.ch/CT/hydro).



Conséquences de précipitations extrêmes sur le lac de retenue Mattmark: la courbe «Inflow» illustre la quantité d'eau qui circule dans le lac de retenue. Env. 14 heures après le début des précipitations, l'afflux atteint la valeur maximale d'environ 450 m<sup>3</sup>/s. La courbe «Outflow» indique la quantité d'eau qui s'échappe du lac de retenue par le déversoir. Dans la mesure où la quantité d'eau qui circule dans le lac de retenue est supérieure à celle qui transite dans le déversoir (débit maximal: 230 m<sup>3</sup>/s), le niveau de l'eau du lac de retenue augmente en permanence, d'environ 5 mètres de 2197 à 2202 m. Le niveau le plus haut est atteint 16 heures après le début des fortes précipitations, le niveau du lac de retenue se situe alors à seulement deux mètres de la couronne du barrage (2204 m). Entre-temps, les fortes précipitations se sont amoindries et la situation se détend. Le niveau du lac de retenue baisse. Les dimensions du déversoir sont donc suffisantes pour résister à des précipitations extrêmes. En comparaison: Si le barrage n'avait pas de déversoir, le niveau de l'eau augmenterait de 10 mètres pendant une pluie extrêmement forte et déborderait de 3 mètres au-dessus du barrage, ce qui pourrait provoquer une rupture. Graphique: Dissertation Zeimetz