

SPECIFICITES DE L'ANALYSE DE RISQUE SURETE D'UN BARRAGE DE HAUTE MONTAGNE- EXEMPLE DE LA SASSIERE

Specific issues of dam safety assessment of La Sassièrè high mountain dam

Amandine VIGLINO, Frederic LAUGIER, Eric COURTINAT,

EDF CIH et EDF HYDRO ALPES 266 chemin de l'Etang
38950 SAINT MARTIN LE VINOUX

amandine.viglino@edf.fr ; eric.courtinat@edf.fr ; frederic.laugier@edf.fr

MOTS CLEFS

Étude de danger, haute-montagne, GLOF, chute de bloc, avalanche, glacier rocheux

KEY WORDS

Safety Review Risk Assessment, high mountain, GLOF, block fall, avalanche, rock glacier

RÉSUMÉ

Le barrage de la Sassièrè est un ouvrage de classe A situé en Haute-Tarentaise. Il est de type barrage en enrochement à masque amont. Il possède plusieurs particularités :

- *Il s'agit d'un barrage de « haute montagne » situé à une altitude de 2.500 m, un des plus élevés du parc EDF. Entouré de sommets de plus de 3.000 m et de glaciers, son environnement l'expose à un certain nombre d'aléas naturels spécifiques et relativement inhabituels pour des barrages non situés en haute montagne.*

- *Une fondation qualifiée de peu compétente et érodable.*
- *Les enrochements qui composent son corps ont été faiblement compactés par arrosage.*
- *Le masque amont du barrage a une histoire complexe liée à des problématiques de vieillissement des bétons (dalles) sous l'effet des cycles saisonniers, puis de fluage du béton bitumineux installé en 1994. Il a fait l'objet de travaux importants dans le passé.*

À ce titre, l'étude de danger finalisée en 2023 a exploré, au-delà des aspects habituels et récurrents des EDD :

- *Le risque d'intumescence dans la retenue dû à une avalanche et ses conséquences sur le barrage et le pied aval,*
- *Le risque d'intumescence dû aux chutes de bloc des falaises localisées en queue de retenue.*
- *Le risque lié à la présence d'un glacier rocheux situé sur le versant sud de la retenue.*
- *Le risque GLOF (Glacial Lake Outburst Flood) lié à la présence de glaciers de taille significative en amont et d'un historique récent sur le sujet.*
- *Le risque de glace pouvant diminuer la débitance de l'évacuateur de crue.*

Par ailleurs, la situation en haute montagne du barrage le rend difficilement accessible en hiver avec les sujétions correspondantes en termes de surveillance. Les risques liés aux embâcles de glace qui peuvent être durablement présents sur le barrage après l'hiver (en mai ou juin) ont aussi été abordées.

ABSTRACT

The Sassièrè Dam is a Class A structure located in Haute-Tarentaise. It is a concrete-face rock-fill dam. It has several particularities:

- *It is a “high mountain” dam located at an altitude of 2500 m, one of the highest in the EDF panel*
- *Surrounded by peaks over 3000 m and glaciers, its environment exposes it to a number of specific and relatively unusual natural hazards;*
- *A poor-quality foundation, classified as erodible;*
- *The rockfill that makes up its body was weakly or not compacted by watering.*
- *The upstream face of the dam has a complex history related to issues of concrete aging and then creep cracking and leaks. It has undergone significant work in the past and remains evolving.*

As such, the Safety Review Risk Assessment finalized in 2023 explored, beyond the usual and recurring aspects of EDD:

- *The risk of intumescence due to an avalanche and its consequences on the dam and the downstream foot.*
- *The risk of intumescence due to rock falls from the cliffs located at the tail of the reservoir.*
- *The risk linked to the presence of a rock glacier located on the southern slope of the reservoir.*
- *The GLOF (Glacial Lake Outburst Flood) risk linked to the presence of glaciers of significant size upstream and recent history on the subject.*
- *The risk of ice potentially reducing the flow rate of the EVC*

Furthermore, the high mountain location of the dam makes it difficult to access in winter with the corresponding constraints in terms of surveillance. Questions related to ice jams which may be permanently present on the dam after winter (in May or June) were also addressed.

1. BARRAGE DE LA SASSIÈRE– UN BARRAGE EN HAUTE MONTAGNE



Figure 1 : Barrage de la Sassièrè, vue aval rive gauche (@viglino – 2022)

1.1 Description générale du barrage

La fonction principale du barrage de la Sassièrre est de constituer une réserve hydraulique pour la production d'énergie hydroélectrique ; le barrage sert de réservoir régulateur en alimentant, durant la période hivernale, les centrales hydroélectriques du Saut et du Chevril.

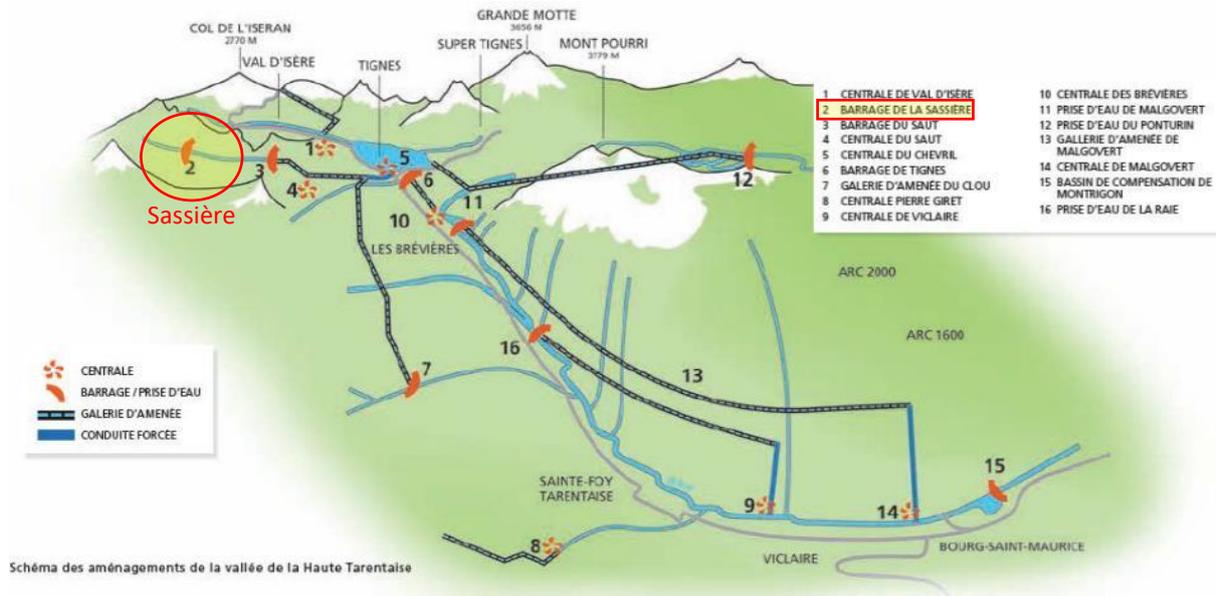


Figure 2 : Représentation schématique du barrage de la Sassièrre et de ses interactions avec les centrales hydroélectriques auxquelles il est lié.

Le barrage de la Sassièrre est un lac naturel, qui a été surélevé par un barrage en enrochement. Sa construction débute en 1955 et se termine en 1959. Il a une hauteur, pour sa partie la plus haute sur terrain naturel, de 30 m, pour une épaisseur de 5 m en crête et de 84 m à la base. Les parements amont et aval ont un fruit de 1,4. Une flèche de 7 m vers l'amont pour une distance entre appuis de 290 m caractérise son rayon de courbure, tandis que sa longueur en couronnement est de 315 m. La cote du couronnement à sa construction est de 2.460,70 m NGFO. Le volume du corps du barrage est de 150.000 m³. Le corps du barrage a une capacité drainante intrinsèque de par sa conception. Par ailleurs, le contact entre le terrain naturel et le barrage est équipé de drains. L'étanchéité du barrage est assurée par le parement amont avec un système double : le masque amont en béton armé de 30 cm d'épaisseur et masque en béton bitumineux le recouvrant. La surface du masque est de 7.600 m² comprenant 2.100 mètres linéaires de joints. Le masque amont a été réalisé en une campagne en 1958. Depuis 1994, le masque en béton hydraulique, qui conserve sa fonction d'étanchéité principale, est recouvert par un masque en béton bitumineux étanche bicouche de 9 cm d'épaisseur collé. Ce nouveau masque à base de bitume est destiné à protéger le béton hydraulique de l'action chimique des eaux glaciaires très peu minéralisées. Un fluage du Béton Bitumineux Étanche ayant été constaté, un suivi détaillé du parement amont, via des relevés photogrammétriques, est réalisé périodiquement. Ce suivi montre que même détérioré partiellement, le parement bitumineux protège encore convenablement le béton hydraulique d'origine sur presque toute sa surface.

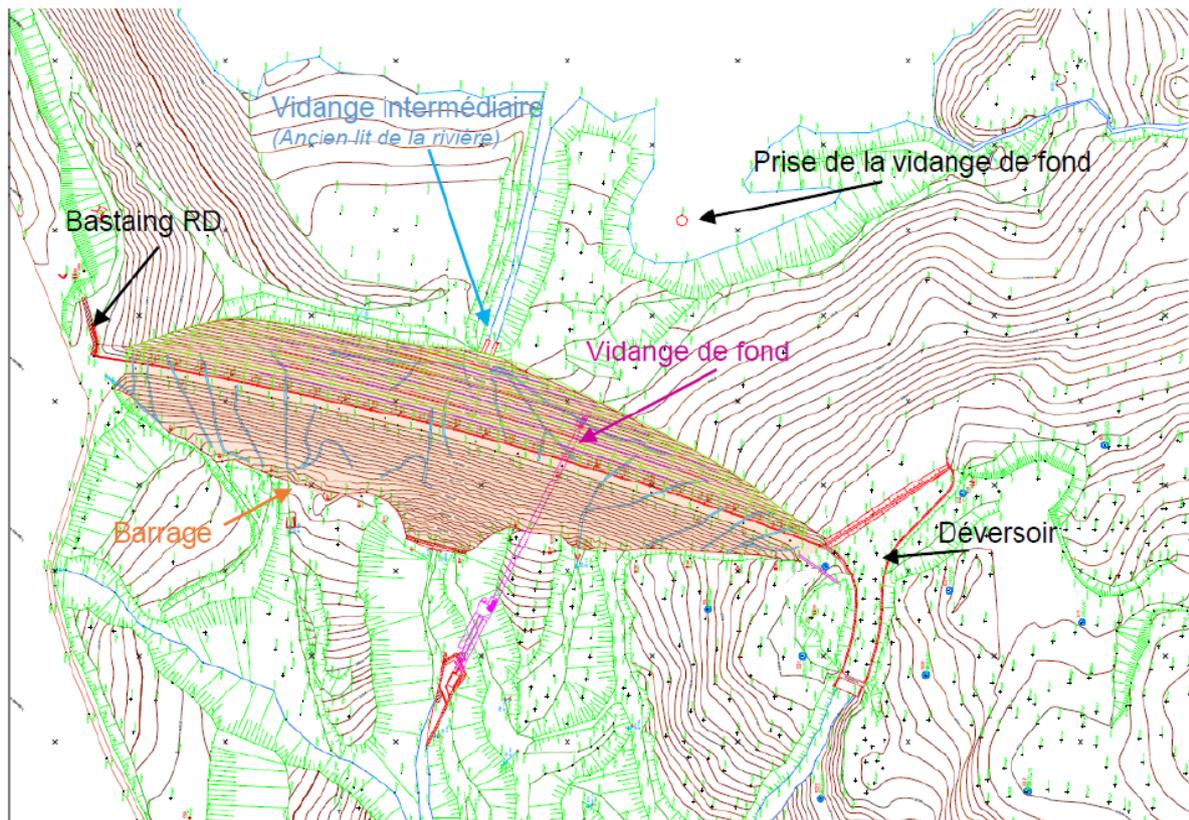


Figure 3 : Vue en plan du barrage de la Sassièr.

La fondation du barrage de la Sassièr est formée de schistes lustrés apparaissant sous forme de blocs de taille variable, séparés par des discontinuités remplies de produits d'altération (sable et argile). L'étanchéité amont du barrage est raccordée en fondation à un voile d'étanchéité sur une profondeur variant entre 8 m en rive et 23 m en partie centrale. (injections nombreuses et en plusieurs campagnes, notamment en RG) dont le volume est d'environ 1.750 m³.

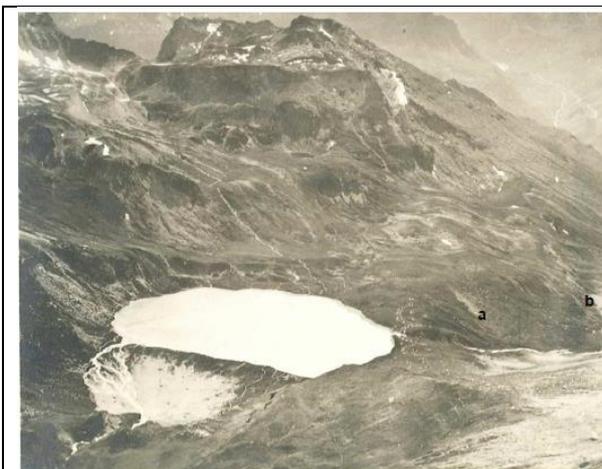


Figure 4 : photo du lac naturel de la Sassièr, vue vers le sud-ouest, avant construction du barrage (extrait du rapport de mi-chantier).



Figure 5 : photo aérienne IGN du 26/08/1948 au niveau du lac naturel de la Sassièr. En pointillés, l'emprise du futur barrage et de l'évacuateur de crues

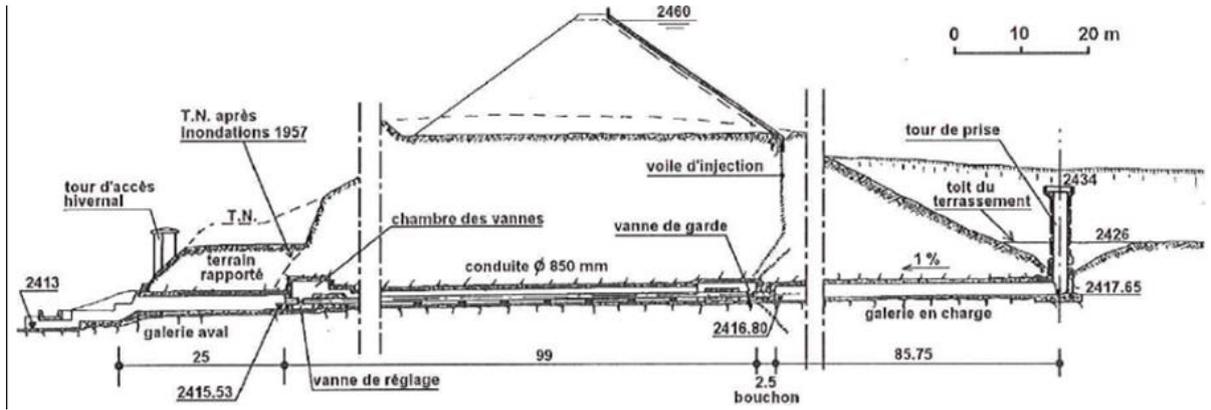


Figure 6 : Prise d'eau – vidange de fond – profil en long général

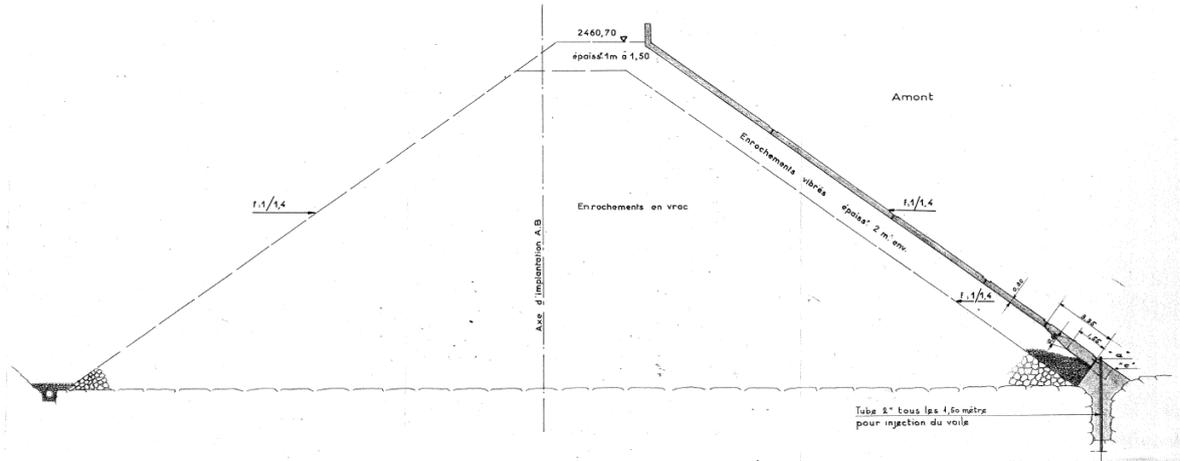


Figure 7 : Profil type du barrage de la Sassièrè.

1.2 Principes de conception

Sur le parement amont, une couche de 2 m d'épaisseur uniforme en enrochements vibrés (50-200 mm) a été mise en œuvre afin d'assurer un support homogène et régulier pour le masque en béton. Dans le sillon central, un mur en maçonnerie est présent en pied aval des enrochements. Ce mur est arasé à la cote 2430 m NGFO. Au droit de l'exutoire de la vidange intermédiaire, il a une hauteur de 6 m environ.



Figure 8 : Mise en place des enrochements par arrosage (Extrait du rapport de mi-chantier de 1957).



Figure 9 : Vue générale du parement aval et du mur de pied aval.

La géologie complexe de la Sassièrè induit des singularités hydrogéologiques. Dans l'ensemble, la fondation est de perméabilité forte, environ 10^{-5} m/s. Localement la perméabilité est très forte (jusqu'à 10^{-3} m/s). La perméabilité présente de fortes variations et ne montre pas de diminution globale avec la profondeur jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur.

Il existe deux ouvrages de vidange sur le barrage de la Sassièrè, une vidange intermédiaire, à la base de l'ouvrage en enrochement dans l'ancien lit de la rivière (débitance à RN= 3,2 m³/s), et une vidange de fond en fond de retenue dans la fondation (débitance à RN = 9,7 m³/s). La tour de prise de la vidange de fond débouche sur une galerie en charge en forme de fer à cheval revêtue de béton qui débouche, elle-même, sur une conduite par l'intermédiaire d'une vanne de garde.

Le barrage de la Sassièrè est pourvu d'un évacuateur de crues situé en rive gauche du barrage, il est structurellement indépendant du barrage. Il comprend un seuil trapézoïdal de 60 ml composé de 6 plots de 10 ml en béton de 1,61m de haut. À l'aval de ce seuil, un coursier et un chenal maçonnés prolongent l'ouvrage sur environ 70 ml.

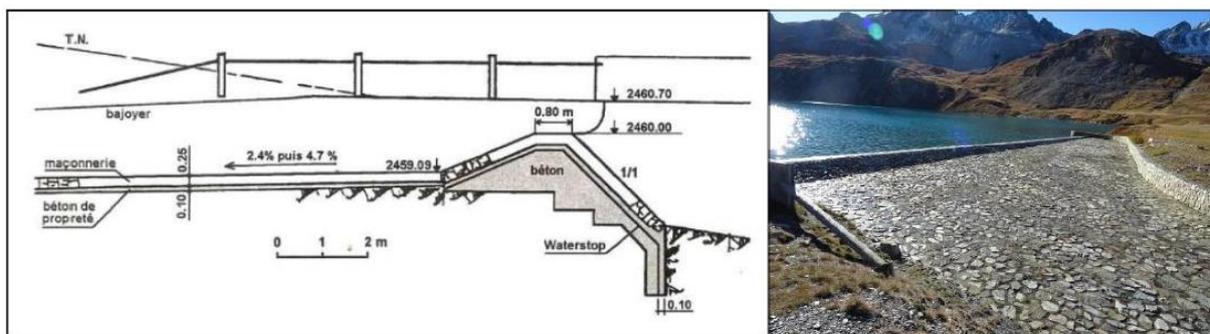


Photo 1: Coupe du seuil déversant et photographie depuis l'aval rive droite (2020).

La retenue est équipée d'un capteur dit « du serveur Alyane » qui permet le rapatriement de la mesure de cote à titre d'information et pour apporter une aide à l'exploitation du barrage. L'alimentation de ce système est autonome sur batterie. Le niveau de la retenue est vérifié durant la période de remplissage, tous les 15 jours, à l'aide d'une prise de pression et présente sur la conduite de vidange. Une échelle limnimétrique est également installée en bordure de la retenue pour mesurer les cotes supérieures de la retenue. Celle-ci couvre la plage 2458,00 à 2461,00 m.

En fonctionnement normal, la cote du plan d'eau de la retenue de la Sassièrè évolue significativement du minimal d'exploitation à RN, l'exploitation de l'ouvrage étant saisonnière ; les vannes de vidange sont ouvertes manuellement en décembre pour permettre le déstockage hivernal vers l'installation du Saut et sont refermées en mai pour permettre le remplissage de la retenue par la fonte nivale. La retenue est donc généralement pleine en septembre.

1.3 Identification des aléas naturels « inhabituels » d'un tel barrage :

Le barrage est exposé à des aléas naturels. Ces phénomènes extrêmes et leur incidence potentielle sur l'ouvrage sont pris en compte dans l'analyse de risques comme événements initiateurs de situations dangereuses en tenant compte de leur occurrence. Les principaux aléas naturels impactant le barrage de la Sassièrre sont les suivants :

- La glace générant un risque d'embâcle pour le passage des crues, une poussée sur le seuil de l'évacuateur de crue,
- Le gel générant un risque de mise en charge du mur du pied aval par obstruction du système de drainage,
- L'avalanche générant un risque de surdébit à travers l'EVC ou de surverse au-dessus de la crête de l'ouvrage
- La chute de blocs de grande taille générant un risque de surdébit à travers l'EVC ou de surverse au-dessus de la crête de l'ouvrage,
- Le GLOF (Glacial Lake Outburst Flood) générant un risque de surdébit à travers l'EVC ou de surverse au-dessus de la crête de l'ouvrage.

1.4 Des enjeux aval limités

La zone impactée par une rupture barrage est restreinte, localisée entre les retenues de la Sassièrre et du Chevril (barrage de Tignes). La zone est principalement fréquentée l'été, notamment parce qu'elle est située dans le parc de la Grande Sassièrre ; elle représente un lieu privilégié pour les activités de montagnes. L'accès facile au parking situé au barrage du Saut en voiture participe à la fréquentation durant la période estivale. En hiver l'accès est plus complexe, mais le lieu reste fréquenté par quelques personnes pratiquant les activités sportives hivernales (ski de randonnée, alpinisme par exemple), en nombre néanmoins beaucoup plus restreint.

Lors de l'ouverture de la vanne de vidange de fond du barrage de la Sassièrre, la présence de tiers le long du torrent est possible du fait de la présence du chemin de randonnée entre les retenues du Saut et de la Sassièrre ou de la présence de randonneurs à ski en période hivernale. En période hivernale, il existe un risque de débordement du ruisseau du fait du comblement du lit par de la neige ou de sa prise en glace.

Finalement, un comptage très conservatif des personnes impactées entre la Sassièrre et Tignes est de moins de 100. L'étude des conséquences d'une rupture enchainée des barrages de la Sassièrre puis du Saut a conclu à la non-rupture du barrage de Tignes dans les conditions actuelles d'exploitation, la le volume de la retenue de Tignes étant en mesure d'amortir le débit entrant.

2. EMBACLES : GLACE, ET GEL

2.1 Description du risque de gel et d'embâcle par la glace au barrage de la Sassièrre

La retenue de la Sassièrre (RN à 2460 m) est prise en glace plusieurs mois chaque année. L'épaisseur de la couche de glace varie au cours de l'année mais aussi le long de la retenue. Il y a donc un risque de fragmentation de cette couche de glace et d'accumulation de corps de glace au droit de l'évacuateur de crues. Sur le barrage de la Sassièrre, il est peu probable que le gel puisse provoquer le blocage de la manœuvre de la vanne de vidange de fond, celle-ci étant enterrée et la plupart du temps sous l'eau. Cette vanne est maintenue partiellement ouverte en hiver. Aucun élément de REX n'existe concernant le blocage d'un organe par le gel. En revanche, la glace pourrait gêner l'écoulement au niveau de l'évacuateur de crues par la présence d'embâcles de glace. Le gel est aussi considéré comme chargement dans la stabilité du seuil de l'EVC.



Figure 10 : Vue du lac de la Sassière au printemps partiellement pris en glace (source web, année inconnue)



Figure 11 : Photographie de la retenue de la Sassière le 20 avril 2021

2.2 Prise en compte du risque de glace dans l'analyse de risque

La réduction de débitance a été évaluée sur la base du rapport de l'OFEN 2019 (Effet des bois flottants bloquant un évacuateur de crue sous des conditions extrêmes), et notamment sur la base des travaux de Pfister et Benet, en assimilant l'épaisseur des blocs de glace au diamètre des bois flottants. Le facteur de réduction de débitance associé à ce risque de blocage est estimé à 20 % jusqu'à la cote 2461,00 m puis dégressif (suivant une progression linéaire) jusqu'à s'annuler pour la cote 2461,50 m et au-delà.

2.3 Prise en compte du risque de gel dans l'analyse de risque

Le risque de gel a été étudié pour les capacités drainantes du mur de pied aval ; les barbacanes sont régulièrement prise en glace. En cas d'obturation de ce drainage et en considérant une dégradation de l'étanchéité amont avec la disparition de tous les joints verticaux entre les dalles, le critère de stabilité n'est pas atteint. En revanche, la situation peut être jugée acceptable pour une dégradation de l'étanchéité amont avec la disparition d'un joint vertical sur quatre. Cette dernière situation correspond à un débit de fuite estimé 300 fois supérieur au débit actuellement mesuré manuellement. Le dispositif de surveillance permettra donc la détection préventive et la réparation d'une dégradation de l'étanchéité amont.

3. RISQUE AVALANCHE

3.1 Description du risque d'avalanche au barrage de la Sassière

Les altitudes et les pentes aux alentours de la retenue de la Sassière permettent d'identifier un risque d'avalanche. À la suite de la caractérisation du risque avalanche sur la retenue du barrage de Sassière par un bureau d'études spécialisé (Engineerisk) le calcul des avalanches consiste à définir l'ensemble des zones de départ potentiel, pour cela une analyse combinant observations de terrain, historique et analyse des pentes, des orientations et des courbures est menée. Chaque zone de départ est définie par sa surface au sol, sa pente et son altitude moyennes et chaque zone est affectée, par période de retour (30 ans, 100 ans et 300 ans) de son épaisseur mobilisable ; de ces données est issu le calcul du volume correspondant.

L'altitude des berges de la retenue est comprise entre 2.460 et 3.300 m. Elles comprennent des zones de pente importante, comprise entre 30 et 45°, susceptibles de constituer des zones de départ d'avalanches. Par ailleurs, selon la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche (CLPA, visible ci-dessous), il semble que plusieurs zones de départ d'avalanche pouvant atteindre la retenue soient déjà identifiées. Le manque de témoignages/d'information sur ce secteur est certainement dû à la faible fréquentation de celui-ci en période hivernale, d'autant plus lorsque les risques d'avalanche sont forts. Plusieurs zones de départ potentielles ont été identifiées et testées pour finalement retenir deux scénarios, dont un véritablement "préjudiciable" : le scénario du versant nord, du fait de son intensité et de sa proximité directe avec le barrage. Bien que l'activité

avalancheuse puisse être moins importante sur ces versants dont l'exposition principale est sud, ce scénario met en avant un départ principal vers 2870m, directement en amont de la bordure ouest du barrage. Les écoulements qui se produisent atteignent la retenue avec des vitesses et donc des pressions conséquentes dès la période de retour trentennale. Les pentes en question présentent des conditions favorables à des avalanches importantes y compris de type aérosol dans les conditions les plus hivernales.

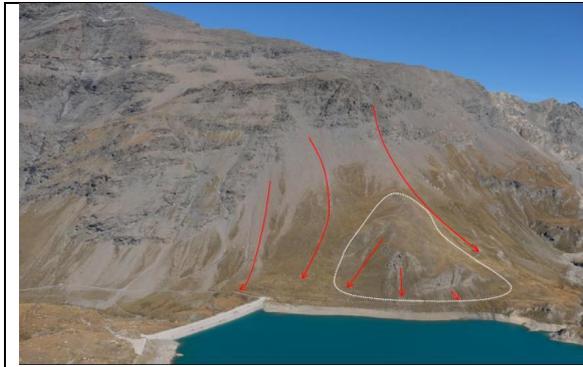


Figure 12 : Lignes d'écoulements principales pressenties pour la rive nord du Lac de la Sassièrè ("promontoire" entouré en blanc).

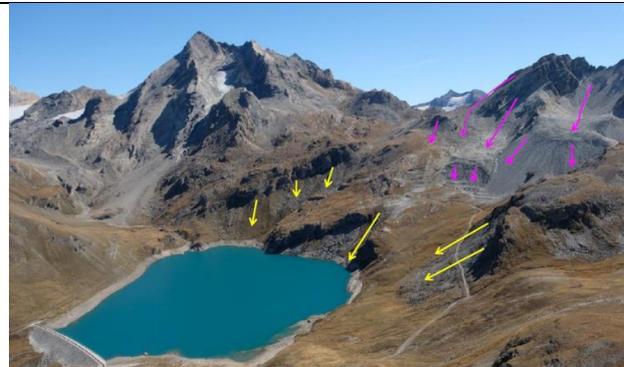


Figure 13 : Lignes d'écoulements principales pressenties pour la rive sud du Lac de la Sassièrè (partie inférieure en jaune, supérieure en rose).

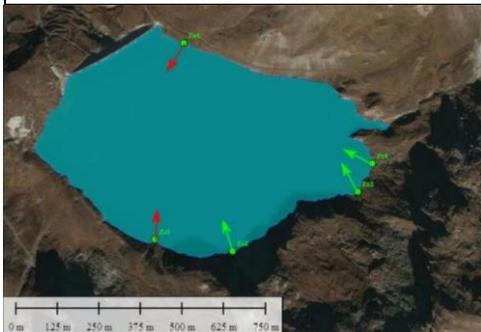


Figure 14 : Directions d'impact aux exutoires. En rouge, les directions aux exutoires correspondants aux scénarios préjudiciables retenus.

3.2 Prise en compte de l'avalanche dans l'analyse de risque

Pour évaluer les caractéristiques de la vague dans la retenue qui serait générée par une avalanche, les caractéristiques retenues sont les suivantes :

Zone de départ	Pente moyenne des berges (α en $^\circ$)	Profondeur de la retenue dans l'axe de l'avalanche (H en m)
Zn1	21	35
Zs1	28	48

Quatre zones de run-up ont été définies : trois sur le barrage et une sur le déversoir. Le volume total déversé est obtenu en considérant des linéaires de 60 m pour le déversoir et de 315 m pour le barrage. La cote maximale atteinte par le plan d'eau entre le 15 novembre et le 15 mai lors de la dernière décennie est 2.460,1m.

Les études sur le risque avalancheux au barrage de la Sassièrè indiquent l'existence potentielle de surverse. Une saisonnalisation des apports dans la retenue ne nous a pas permis de décorrélèr le risque d'avalanche de celui d'une retenue avec un niveau d'eau haut. Il se peut que depuis la construction de l'ouvrage, des avalanches aient eu lieu mais manifestement pas d'avalanches ayant créé des désordres. La probabilité d'occurrence d'atteindre la cote de danger à la suite d'une avalanche a été jugé probable durant la durée de vie de l'ouvrage (formulation issue du tableau ICPE des occurrences semi-qualitatives), au regard de la probabilisation du risque avalanche. L'estimation du risque avalanche est une science jeune et encore en évolution. On pourra se référer à l'article [4]. En termes d'occurrence, la phénoménologie des avalanches, le retour d'expérience disponible, sa sensibilité aux évolutions climatiques, permettent difficilement d'appréhender des phénomènes très rares avec des temps de retour supérieur à quelques centaines d'années (typiquement 300 ans). Ainsi, les phénomènes rares

d'avalanche de type « Avalanche Maximale Probable » seront cotés au mieux en occurrence B dans l'EDD selon l'échelle d'occurrence semi-qualitative ICPE.

3.3 Analyse du risque :

La situation d'avalanche peut conduire à la création de vagues franchissant le barrage de la Sassièrè (surverse temporaire par atteinte de la CDD). Les conséquences potentielles d'une surverse temporaire liée à ces vagues sont :

- Une déstabilisation du mur de pied aval si les drains sont obturés par la glace (débit critique de surverse du mur de pied aval d'environ 1 m³/s),
- Une érosion externe de la fondation du barrage.

Le mur de pied aval du barrage est sensible à l'exhaussement de piézométrie comme le montre l'étude de stabilité du barrage. La fondation est jugée comme érodable en pied d'ouvrage et ne permet pas de justifier l'ouvrage pour une surverse notamment due à un aléa naturel de type avalanche. C'est pourquoi la rupture du barrage et du mur de pied aval est jugé probable.

Au regard de la combinaison probabilité d'occurrence / gravité des conséquences, ces branches de l'analyse d'évènement sont situées dans une zone intermédiaire de criticité avec 10 à 100 personnes exposées. La libération incontrôlée de l'eau dans ces conditions est considérée comme dangereuse au regard des informations disponibles sur les caractéristiques des écoulements vis-à-vis des personnes exposées. Dans ces conditions, la conformité réglementaire au titre de l'ATB n'est pas réputée satisfaite (item 26).

4. RISQUE GLOF – GLACIAL LAKE OUTBURST FLOODING

4.1 Description du risque GLOF

La retenue est située dans un vallon d'altitude dominé directement par quelques glaciers. Les glaciers à l'amont de la retenue de la Sassièrè sont situés sur le versant Ouest de la crête frontalière.

Dans certaines configurations, des vidanges rapides de lacs glaciaires sont susceptibles de se produire, pouvant entraîner la libération de grandes quantités d'eau à l'aval. Cet aléa est plus connu sous l'acronyme anglosaxon GLOF (Glacial Lake Outburst Flood). Il peut s'agir de la rupture d'une poche d'eau intraglacière, de la surverse d'un lac sous l'effet de la chute de séracs, d'un éboulement rocheux ou d'une avalanche de neige lourde. L'aléa évolue en fonction de la dynamique du glacier. Des phénomènes externes comme les avalanches, les éboulements ou les séismes peuvent déclencher un GLOF. Il n'existe pas de suivi particulier de ces glaciers. L'étude préalable spécifique au risque glaciaire a permis d'éliminer le risque de GLOF sur tous les glaciers entourant la retenue de la Sassièrè excepté le glacier de Rhêmes-Golette.

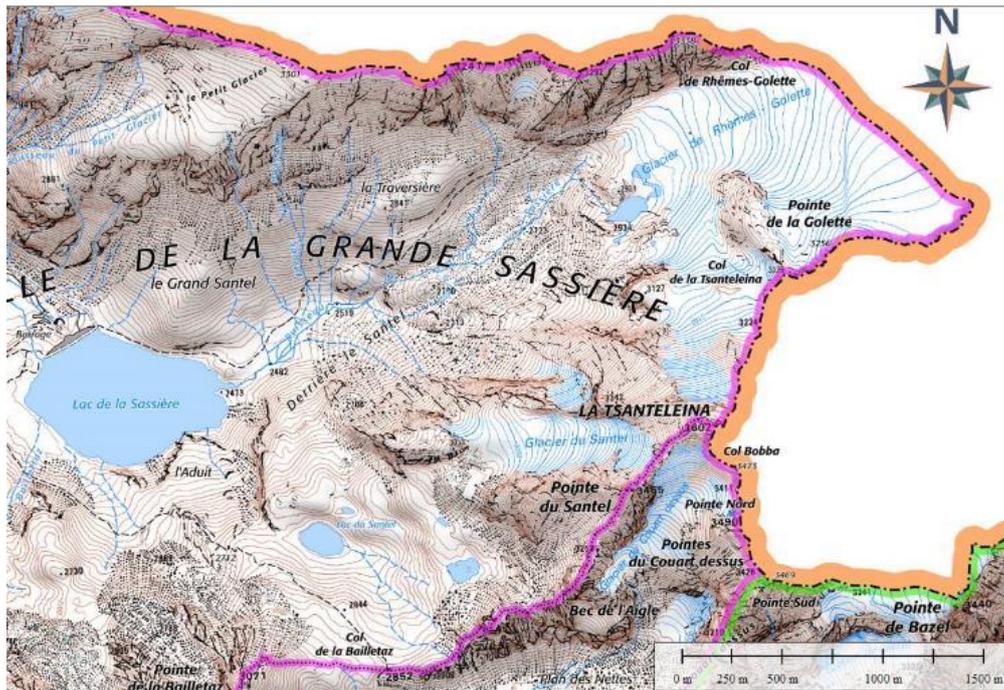


Figure 15 : Topographie du bassin amont de la retenue de la Sassière et localisation des glaciers (carte IGN à 1/25 000).

Les glaciers du versant Sud de la Grande Sassière ont aujourd’hui disparu. Le principal glacier du bassin est le glacier de Rhêmes-Golette. Côté français, le glacier s’écoule vers l’Ouest. Le haut de la zone d’accumulation est situé autour de 3.250 m d’altitude et son front actuel autour de 2.900 m d’altitude. Sa pente est régulière, voisine de 10° en moyenne. D’après ces caractéristiques, il s’agit très vraisemblablement d’un glacier tempéré. Le glacier est peu crevassé côté français, traduisant ainsi une topographie sous glaciaire relativement régulière.

Les 11 et 12 août 2020, une vidange partielle du lac de Rhêmes-Golette s’est produite. Elle a entraîné un accroissement de cote de la retenue de la Sassière. L’analyse de la courbe de cote de la Sassière indique que le phénomène a débuté dans la soirée du 11/08/2020, pour une cote voisine de 2.456,00 NGFO à la Sassière. L’accroissement de cote, assez net au départ, s’amortit ensuite. Il est donc difficile de déterminer la fin du phénomène. En faisant l’hypothèse conservatrice d’une fin de vidange lors du retour à une vitesse d’augmentation de cote identique à celle précédant le phénomène, on peut estimer la durée de celui-ci à une trentaine d’heures. La cote atteinte à la Sassière était alors voisine de 2.456,50 à 2.456,60 m NGFO. D’après la bathymétrie de 2021, l’accroissement de cote correspond à un volume de l’ordre de 200.000 à 250000m³.

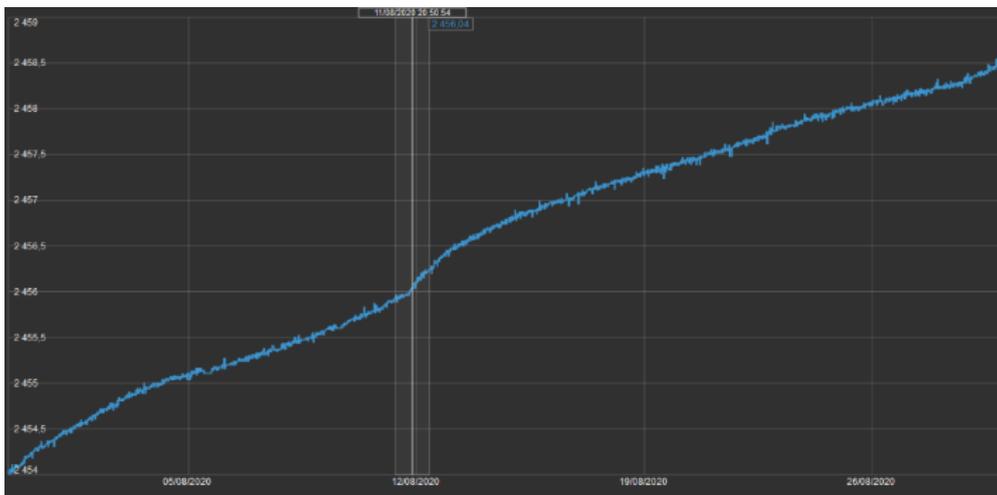


Figure 16 : Courbe de cote de la retenue de la Sassière lors de la vidange partielle du lac de Rhêmes-Golette.

Le barrage de la Sassièrè a eu lors de cet évènement un rôle positif, l'écrètage du GLOF a permis de ne pas propager le sur-débit à l'aval. La comparaison de photos avant et après la vidange, ainsi qu'une visite sur site le 23/09/2021, permet de proposer le mécanisme de rupture suivant. Le lac était retenu par le verrou rocheux au Sud et à l'Ouest, ainsi que par la langue du glacier de Rhêmes-Golette au Nord. La résistance de cette langue a progressivement diminué à la faveur du retrait du glacier, jusqu'à céder, libérant ainsi une partie des eaux du lac. Lors de la visite sur site, la baisse de niveau du lac a été estimée de l'ordre de 7 à 8 m.

4.2 Prise en compte du GLOF dans l'analyse de risque

Au cours de la prochaine décennie, seul le glacier de Rhêmes-Golette et son lac proglaciaire présentent des dimensions et configurations susceptibles de générer une vidange rapide de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes d'eau. La formation d'un lac supraglaciaire en partie haute du glacier de Rhêmes-Golette est difficile à prévoir et ne peut pas être exclue. L'apparition d'un tel lac de dimensions significatives se ferait toutefois progressivement sur plusieurs années. Ce type d'aléa paraît peu probable car il est généralement lié à la présence de glace froide. Or, l'altitude et l'orientation Ouest du glacier sur le versant français sont caractéristiques de glaciers tempérés. Une vidange partielle du lac de Rhêmes-Golette, par surverse à la suite d'un éboulement rocheux ou une avalanche, ne peut pas être écartée. Une campagne géophysique RADAR sur le glacier a été réalisée afin de déterminer les épaisseurs de glace et la topographie sous glaciaire pour d'estimer le volume du lac pour les prochaines années. Une bathymétrie du lac, directement à partir d'un drone bathymétrique, afin d'obtenir les hauteurs d'eau et la volumétrie actuelle du lac à l'aval du glacier et un lever topographique de la surface par drone photogrammétrique afin de disposer d'un modèle numérique de surface (MNT) de haute résolution complètent ces reconnaissances.

Ces reconnaissances ont permis de préciser que le volume potentiellement libéré à l'aval n'excéderait pas le volume du réservoir entre les cotes de RN et la CDD. Les observations du lac sous glaciaire montrent que ce dernier occupe aujourd'hui un volume d'eau d'environ 100.000 m³ avec une incertitude estimée à ± 2.000 m³. Les épaisseurs de glace maximales du bas de la langue d'ablation du glacier de Rhêmes-Golette sont de 45 m. Lorsque le glacier aura disparu dans cette zone basse, et au vu de la forme de la topographie du lit rocheux, le volume maximum à attendre a été estimé à 280.000,00m³.



Figure 17 : Vue vers l'Est du glacier de Rhêmes-Golette et des lacs associés [03/09/2021, C. VINCENT]

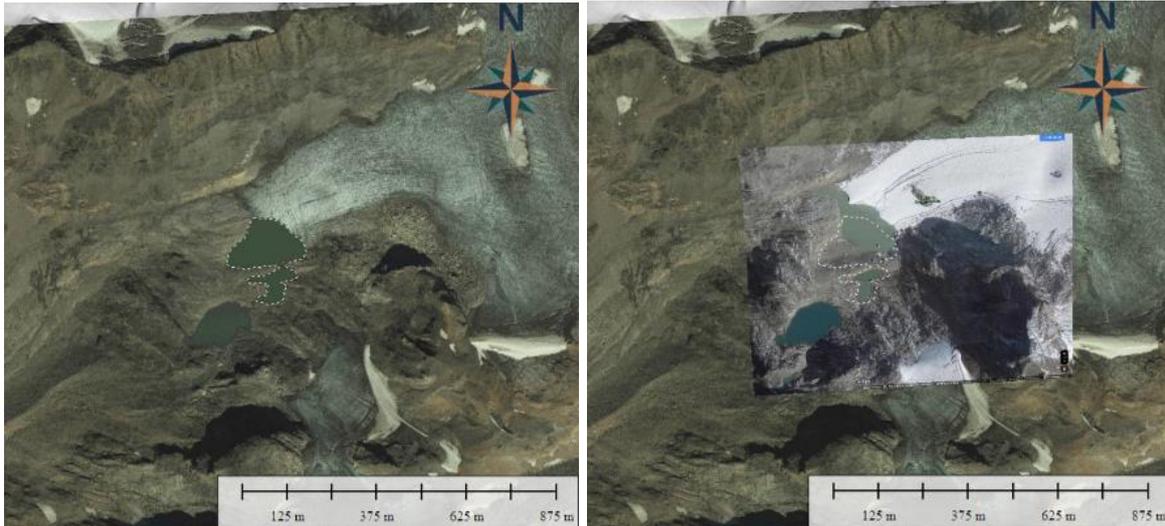


Figure 18 : photo aérienne IGN de 2019 au niveau des lacs de Rhêmes-Golette, avant la vidange partielle du 11/08/2020 à gauche et une photo aérienne IGN de 2019 (en fond) et surimposition d'une photo google plus récente (2022). Tracé 2019 su lac en pointillés (22500 m²) à droite.

Avec le réchauffement climatique et un potentiel recul du glacier, le volume estimé potentiellement libérable se situera à RN +64cm (2.460,64) soit sur une période de retour de crue inférieur Q 1000. Les niveaux atteints sont en dessous de la cote de danger du barrage (cote de surverse) c'est pourquoi cet évènement initiateur n'a finalement pas été retenu.

5. RISQUE CHUTE DE BLOCS

5.1 Risque de chute de blocs au barrage de la Sassièr

La retenue de la Sassièr est concernée par des chutes de blocs, des effondrements rocheux et des coulées torrentielles. Une analyse spécifique d'aléa de mouvement de terrain dans la retenue du barrage de la Sassièr a été conduite en 1997. Dans le cadre de l'EDD de 2023 cette étude a été reprise et actualisée à la lumière des données complémentaires recueillies depuis ; la propagation des instabilités rocheuses a été objectivée par la méthode de la ligne d'énergie telle que présentée dans le guide technique MEZAP 2021.

La liste et la description des instabilités sont limitées aux instabilités potentielles pouvant avoir les effets suivants sur la retenue et le barrage :

- Mouvement de terrain ayant un impact direct sur le barrage ;
- Mouvement de terrain conduisant à une obstruction ou une partition de la retenue ;
- Mouvement de terrain pouvant engendrer des vagues de nature à entraîner une surverse.

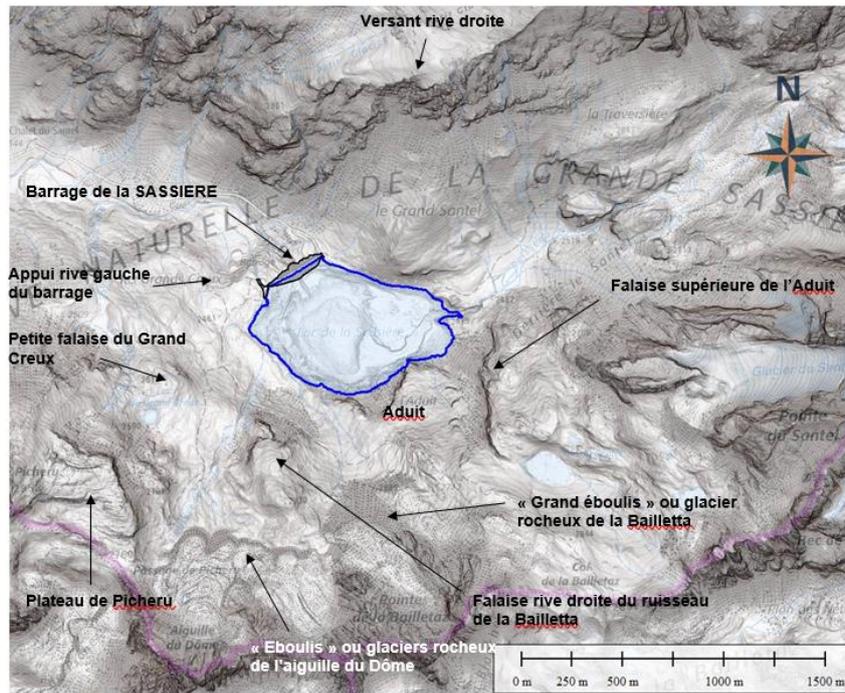


Figure 19/ Localisation des zones d'aléa mouvement de terrain avec en filigrane la carte topographique IGN à 1/25 000. La ligne bleue matérialise RN 2460 NGFO.

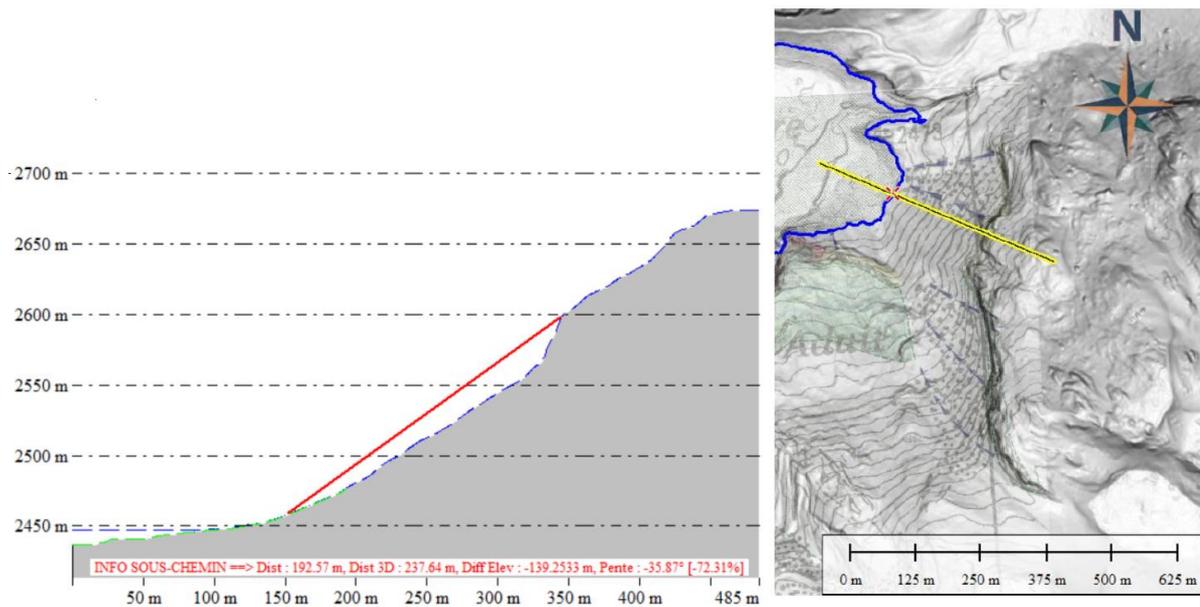


Figure 20 : Carte et profil topographique de la falaise supérieure de l'Adult (RGE ALTI IGN) et profil au droit de la zone pour laquelle l'aléa de propagation jusqu'à la retenue est le plus fort.

La falaise ne présente aucune chute de blocs significative depuis au moins 1948 et ne présente pas de déplacement de masse supérieur à quelques mm/an (données InSAR). La potentialité d'occurrence de glissement dans la retenue reste forte pour les chutes de blocs, et moyenne pour les pans de falaise comme la pyramide d'angle (front atteignant la retenue de 40 m de largeur et 6 m d'épaisseur).



Figure 21 : Les photos aériennes a et au-dessus de la retenue (23/09/2021), photo c depuis le Sud-Ouest (22/09/2021)- instabilité potentielle entourée en rouge



Figure 22 : Vue de face de la falaise de l'Aduit zone Ouest (22/09/2021). Entourée en rouge, une écaille d'environ 12000 m³ susceptible de basculer

5.2 Prise en compte du risque de chute de blocs dans l'analyse de risque

D'après les études spécifiques réalisées par TEGG, la chute de blocs est un risque probable au niveau de la falaise de l'Aduit surplombant la retenue. Le mécanisme craint est un détachement de bloc notamment par gel/dégel, cette falaise étant particulièrement exposée aux variations de température. Des blocs de faibles volumes ont déjà montré des mouvements n'engendrant pas de conséquences. La falaise présente des fissures dont une équipée d'un vinchon (levé annuel) qui ne présente pas d'évolution de mouvement sur ces dix dernières années. L'absence de mouvement n'exclut pas le détachement d'une masse importante lorsque le niveau de la retenue est haut. La probabilité d'occurrence d'un événement de type vague générée par un mouvement de versant engendre un déversement par-dessus le barrage pouvant potentiellement réduire les marges de sécurité de la stabilité du mur de pied a été jugé probable dans l'EDD.

6. RISQUE GLACIER ROCHEUX

6.1 Description du risque présenté par un glacier rocheux

Deux glaciers rocheux (masse de débris rocheux mélangés à de la glace se déplaçant à très faible vitesse) ont été regardés dans le cadre de l'EDD du barrage de la Sassièrre : le glacier rocheux de la Bailleta et le glacier rocheux de l'Aiguiller du Dôme Les analyses des grands « éboulis » de la Bailleta et de l'Aiguille du Dôme ont été reprises et complétées à la lumière de données récentes sur les glaciers rocheux (Marcer et al 2019).

Dénomination : GLACIERS ROCHEUX DE L'AIGUILLE DU DÔME	Dénomination : GLACIER ROCHEUX DE LA BAILLETTA
Mouvement de terrain	Mouvement de terrain
Localisation : 45,472°N (WGS 84) 6,999°E Commune : Tignes Rive : gauche Repère : glacier rocheux au pied de l'Aiguille du Dôme	Localisation : 45,472°N (WGS 84) 7,008°E Commune : Tignes Rive : gauche Repère : glacier rocheux ayant servi de carrière d'enrochement
Classification du mouvement : loupe rotationnel au front du glacier ou coulée torrentielle	Classification du mouvement : loupe rotationnel au front du glacier ou coulée torrentielle
Nature des matériaux : éboulis de quartzite englacé (permafrost)	Nature des matériaux : éboulis de quartzite englacé (permafrost)
Etat actuel d'activité : état de déstabilisation actuel peu probable d'après Marcer et al 2019	Etat actuel d'activité : état de déstabilisation actuel peu probable d'après Marcer et al 2019
Indices d'activité : pas de fissure, de crevasse ou d'escarpement, pas d'évolution morphologique significative (photos aériennes 1996 et 2019)	Indices d'activité : pas de fissure, de crevasse ou d'escarpement, pas d'évolution morphologique significative (photos aériennes 1996 et 2019)
Dimensions : pour une loupe rotationnelle : longueur : 150 m largeur moyenne : 100-150 m épaisseur : 30-40 m	Dimensions : pour une loupe rotationnelle : longueur : 200-300 m largeur moyenne : 150-200 m épaisseur : 30-40 m
Pente moyenne : 36°-38°	Pente moyenne : 35°-37°
Volume : 300 000 m ³	Volume : 400 000 à 700 000 m ³
Facteurs déclenchants : fonte du glacier rocheux (réchauffement climatique)	Facteurs déclenchants : fonte du glacier rocheux (réchauffement climatique)
Vitesse probable d'arrivée dans la retenue : 10 m/s (si coulée torrentielle)	Vitesse probable d'arrivée dans la retenue : 10 m/s (si coulée torrentielle)

Figure 23 : Caractéristiques des glaciers rocheux autour de la Sassièr.

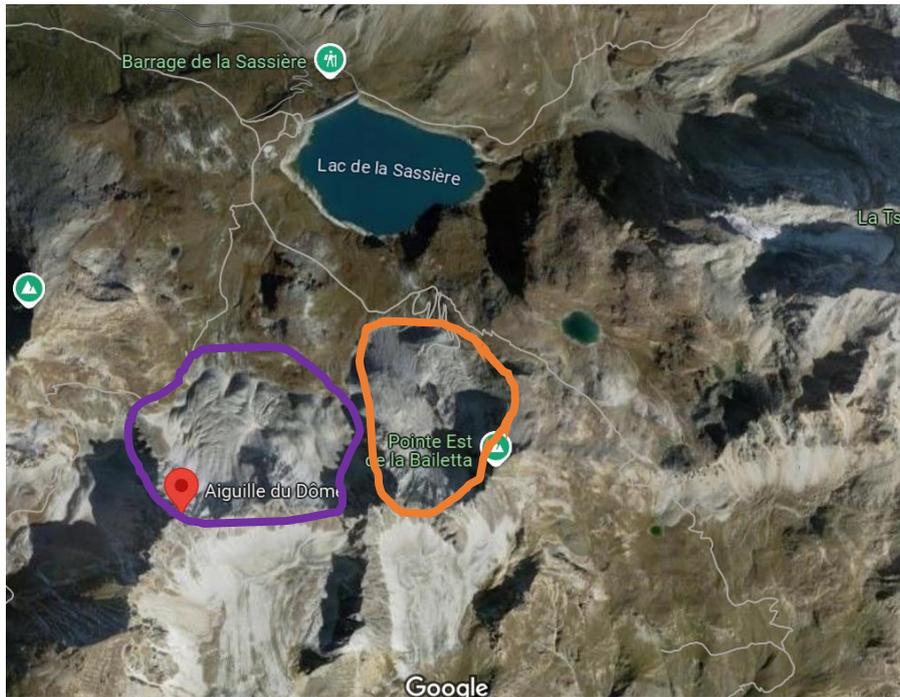


Figure 24 : localisation des glaciers rocheux.



Figure 25 : Vue de face du glacier rocheux de la Bailledda (22/09/2021)



Figure 26 : Vue latérale du glacier rocheux depuis le sommet de la falaise de l'Aduit supérieur (22/09/2021)

La pente du front du glacier rocheux de la Bailledda est de 35° à 37° et de 36° à 38° pour l'Aiguille du Dôme, soit plus raide que les éboulis de quartzite des environs (33°). Un adoucissement de la pente du front pourrait s'opérer lors de la fonte du glacier rocheux, sans doute par petits glissements en tête de talus. Le front présente une dénivellation d'environ 160 m, pour une pente très régulière voisine de 36°. L'épaisseur du glacier rocheux

est sans doute bien inférieure (généralement de l'ordre de quelques dizaines de mètres). Le front masque sans doute un « substratum » incliné vers l'aval

6.2 Prise en compte du risque de lave torrentielle dans l'analyse de risque

La potentialité d'occurrence de glissement pour les glaciers de la Bailleta et de l'Aiguille de Dôme a été considérée comme peu probable ; les ruptures ou effondrement de glaciers rocheux conduisant à des glissements de masse rapides ou coulées torrentielles sont très rares. Ces phénomènes sont précédés des signes de déstabilisation dont l'évolution se fait sur plusieurs années à plusieurs décennies. Il n'y a pas d'indice de déstabilisation dans le cas présent. Le REX sur les glaciers rocheux et la mobilisation de ceux-ci en lave torrentielle est peu étudié et mal connu par l'état de l'art. Une analyse spécifique des glacier rocheux a été réalisée par les glaciologues de l'IGE (Institut des Geosciences de l'Environnement) sur la base des connaissances et retour d'expérience international. Les glaciers rocheux autour du barrage de la Sassièrè, n'ont pas été considérés comme instables, notamment en raison d'une topographie favorable (faible pente). Il n'y a pas de risque majeur et pas de risque de mouvement de masse brutale. La probabilité d'occurrence d'un événement de type vague générée par une lave torrentielle générant un déversement a été jugé possible mais extrêmement peu probable.

7. RISQUES ASSOCIES AUX BARRAGES DE HAUTE MONTAGNE ET MAITRISE D'OUVRAGE

L'exploitation des barrages de haute montagne nécessite une organisation particulière du fait d'une accessibilité soumise à la présence de neige sur une bonne partie de l'année, mais également du fait de l'absence d'énergie pour la majorité de ces ouvrages.

Les ouvrages de hautes montagnes ont été conçus pour fonctionner avec une grande autonomie. Ces ouvrages sont ainsi usuellement munis d'un déversoir de sécurité permettant la gestion du passage des crues et d'épisodes de fonte sans intervention de l'exploitant.

La surveillance de ces ouvrages est axée sur les principes de base :

- Des examens visuels réguliers lorsque l'ouvrage est accessible et ponctuellement par survol en hélicoptère,
- Des mesures d'auscultation sur l'ouvrage et ses rives télétransmises, afin de vérifier le bon comportement de l'ouvrage dans le temps,
- Les essais des organes de sécurité (essentiellement les vidanges de fond, du fait de la présence de déversoir)

L'EDD du barrage de la Sassièrè a permis d'approfondir notre connaissance des risques sur l'ouvrage et en particulier les risques liés aux aléas naturels. Au regard de ses conclusions, la surveillance du barrage de la Sassièrè doit s'adapter à ces enjeux. Cela peut inclure une adaptation de l'exploitation de l'aménagement.

Le premier objectif de la maîtrise d'ouvrage est d'adapter l'exploitation de l'ouvrage au risque. En l'état actuel des connaissances qui se basent sur l'étude de danger du barrage, EDF a adapté son exploitation pour se prémunir des aléas dont la surveillance ne constitue pas une barrière suffisamment efficace dans le temps pour garantir le bon niveau de sûreté du barrage. Ainsi, au regard des risques avalanche et chute de blocs de grande taille, l'exploitation du barrage est désormais contrainte par un abaissement permanent du barrage sous le niveau de retenue normale.

Le second objectif de la maîtrise d'ouvrage est d'adapter la surveillance du barrage pour les années à venir afin de mieux caractériser les aléas et leurs effets sur les ouvrages:

- La connaissance de l'aléa vent ou des phénomènes de prise en glace et de gel sont aujourd'hui connus et pris en compte dans l'exploitation du barrage, en particulier par l'adaptation du niveau de la retenue, y compris en utilisant la vanne de vidange de fond.
- Concernant le risque de gel du dispositif de drainage, ce dernier est connu, mais l'ouvrage conserverait sa stabilité en cas d'apparition d'un défaut majeur de l'étanchéité amont, à RN et alors que le dispositif de drainage serait saturé, avec une marge de sécurité suffisante.
- La connaissance des aléas suivants nécessite une adaptation du mode de surveillance :

- L'avalanche peut générer un risque de surverse au-dessus de la crête de l'ouvrage ; ce risque est connu ; cependant il reste à pouvoir anticiper ce risque. Cela passera soit par une adaptation des modèles prévisionnistes de notre ingénierie, soit par l'installation de dispositifs de mesure directe sur les secteurs concernés, soit par la suppression du risque (dispositif de paravalanche). Cela est rendu complexe du fait de la localisation du barrage dans une zone de réserve naturelle.
- La chute de blocs de grande taille générant un risque de surverse au-dessus de la crête de l'ouvrage. La maîtrise d'ouvrage a mandaté l'ingénierie pour mieux caractériser ce risque, en l'objectivant, et en étudiant plus précisément son impact potentiel sur la retenue et sur l'ouvrage.
- Le GLOF générant un risque de libération d'un volume d'eau incontrôlé dans la retenue de la Sassièrè. La surveillance des lacs glaciaire passe notamment par une analyse topographique du secteur des glaciers, via l'analyse de données satellitaires.
- Le risque de rupture d'un glacier rocheux est également à prendre en compte dans ce principe de surveillance par des systèmes d'imagerie et de topographie satellitaire.

Cette modification d'exploitation nécessite la fiabilisation de la connaissance en temps réel du niveau de la retenue par l'exploitant et également une fiabilisation sur les degrés d'ouverture de la vanne de fond qui est le seul organe réglant permettant la maîtrise de la cote. Le remplissage de la retenue étant saisonnalisé, cette modification de gestion nécessite une plus grande sollicitation des barragistes tout au long de l'année, afin d'optimiser le remplissage du lac et se prémunir du dépassement de la cote de danger. L'exploitant se retrouve donc soumis de façon plus prégnante aux difficultés d'accès au barrage.

Cette modification d'exploitation augmente également le risque de déversement au barrage du Saut, situé à l'aval. Aussi, l'exploitant a réalisé des essais de variations de débit dans le tronçon court-circuité entre le barrage du Saut et la retenue du Chevril dans des conditions de déversé correspondant au débit maximum de la vanne de vidange de fond du barrage du Saut. Ces essais ont montré l'absence de risque de variations rapides du niveau dans la rivière pour les tiers et permis d'installer des panneaux « avant/après » pour sensibiliser les usagers du secteur.

De façon plus pérenne, la maîtrise d'ouvrage a sollicité l'appui de son ingénierie Hydrostadium pour proposer des solutions de réductions des risques qui permettront un retour à une exploitation optimisée du barrage.

8. SYNTHÈSE / CONCLUSION

L'étude de danger du barrage de la Sassièrè met en exergue dans l'analyse de risque un chemin critique sur les aléas naturels pouvant générer une surverse de l'ouvrage et une réduction des marges de sécurité notamment pour le mur de soutènement au pied aval de celui-ci et principalement à cause de la faible revanche et du caractère érodable de la fondation. Les aléas ont été pris en compte dans l'analyse de risque sur divers enjeux aval ; d'abord la surverse de courte durée sans rupture barrage (dit ERC0), avec une occurrence plus importante du risque de vague générée par une avalanche, mais aussi dans le risque de rupture barrage (dit EICO de l'ERC1).

L'étude de danger de la Sassièrè oblige la maîtrise d'ouvrage à réfléchir à des solutions techniques permettant de retrouver les marges de sécurité de l'ouvrage en toutes situations d'exploitation, pour tous les aléas naturels de haute montagne étudiés, en particulier l'avalanche et la chute de blocs. L'EDD a permis d'écarter le risque de GLOF, qui connaît quelques exemples récents de dommages aux biens et personnes comme la Bérarde, hameau de saint Christophe en Oisans dans le massif des Ecrins ayant été dévasté par un GLOF combiné à de fortes intempéries, ou encore les travaux récents de vidange préventive sur le lac du glacier de Rosolin au-dessus du village de Tignes 1800.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les contributeurs techniques de l'Étude de Danger du barrage de la Sassièrè et tout particulièrement pour cet article, Vincent VARLET, géologue, EDF -TEGG et Benoit BLANCHER, service hydraulique, EDF-CIH. Un merci tout particulier aux chercheurs de l'IGE, spécialistes des GLOF qui ont sus répondre présents à la demande d'étude spécifique sur la Sassièrè tout particulièrement Christian Vincent.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Bureau d'études Engineerisk, Étude des risques d'avalanches – Retenue du barrage EDF de le Sassièrè.
- [2] DETEC, Landslide-generated Impulse Waves in Reservoirs, 2019.
- [3] Data-Avalanche, <http://www.data-avalanche.org/>.
- [4] Berthet Rambaud et al. EVALUATION DES IMPACTS D'AVALANCHES DE NEIGE COMME DONNEE D'ENTREE DES CALCULS DE VAGUES DE SUBMERSION POTENTIELLES DANS LE CADRE DES EDD. Colloque CFBR 2025. « Sécurité des barrages et enjeux »
- [5] Marcer et al 2019, glacier rocheux