

## REPLACEMENT DES DEUX VANNES DE SERVICE (DE TYPE PAPILLON) DE LA VIDANGE DE FOND DU BARRAGE DE TIGNES

### *Replacement of two butterfly valves of the bottom outlet of Tignes dam*

**Thierry Sautereau**

EDF CIH – 38950 St Martin le Vinoux

[thierry.sautereau@edf.fr](mailto:thierry.sautereau@edf.fr)

**Fabrice Gay**

EDF Hydro Alpes – 38950 St Martin le Vinoux

[fabrice-1.gay@edf.fr](mailto:fabrice-1.gay@edf.fr)

## MOTS CLEFS

Barrage – Tignes – vanne papillon – vidange de fond – chantier – démarches administratives – Environnement – Site classé

## KEY WORDS

Dam - Tignes - butterfly valve - bottom draining - bottom outlet - worksite - administrative procedures - Environment - Listed site

## RÉSUMÉ

*Le barrage de Tignes (retenue du Chevril) est situé en Haute Isère dans le département de la Savoie (73), sur la commune de Tignes. Il représente l'aménagement de tête de la chaîne hydroélectrique de la Haute Tarentaise constituée notamment des usines des Brévières et de Malgovert.*

*Les organes de vidange de fond datent de 1952. Ils assurent les fonctions de vidange du réservoir amont, d'évacuation des crues, à travers deux conduites parallèles de 2,2 m de diamètre chacune sous 154 mCE. Ce dispositif est équipé de l'amont vers l'aval :*

*De deux vannes de garde à chenilles, à l'amont des conduits, qui assurent la mise en sécurité de l'aménagement en cas d'aléa ou pour réaliser la maintenance des vannes de service ;*

*De deux vannes de service, de type papillon, situées à l'aval, conçues par Neyrpic.*

*En conditions d'exploitation normales, les vannes de gardes sont ouvertes et les vannes de service sont maintenues fermées. Les vannes de service et de garde sont capables de couper en charge le débit nominal (110 m<sup>3</sup>/s par conduits).*

*La maintenance de ces organes est une opération très lourde et contraignante, qui a été reportée plusieurs fois, justement à cause d'un cumul de contraintes nombreuses et majeures : environnementales, externes, SST, techniques, logistiques, ...*

*A partir de 2010, les dégradations des vannes papillons (fuites importantes) ont conduit EDF à engager des études de maintenance lourde sur ces matériels.*

*Les difficultés logistiques importantes (accès au local des vannes de fond, absence de moyens de manutention extérieurs et intérieurs à la chambre des vannes, environnement contraint, etc.) ont orienté le projet vers un remplacement à neuf des deux vannes.*

*Cet article détaille les travaux préparatoires anticipés qui ont été nécessaires avant l'engagement des travaux de réhabilitation (remplacement) des deux vannes papillons usées et fuyardes.*

*Il s'agit, entre autres, des études liées aux diverses autorisations administratives, des inventaires écologiques visant à réduire l'impact des travaux sur l'environnement, des études logistiques car il n'existait aucun moyen de manutention ou d'accès lourd aux vannes de fond, de la mise en place d'un débit réservé secondaire, la maintenance préventive des vannes de garde, et les études propres aux travaux de remplacement (étude hydro et mécaniques de conception).*

*La fin de l'article présente rapidement le chantier réalisé ainsi que les résultats obtenus.*

## ABSTRACT

*The Tignes dam is located in Haute Isère in the Savoie (73). It represents the main development of the Haute Tarentaise hydroelectric chain, made up in particular of the Brévières and Malgovert factories.*

*The bottom draining elements date from 1952. They provide the functions of evacuating floods, through two parallel pipes of 2.2 m in diameter each under 154 mCE. This device is equipped from upstream to downstream:*

*Two tracked guard valves, upstream of the conduits, which ensure the safety of the installation in the event of an accident or to carry out maintenance of the service valves;*

*Two service valves, butterfly type, located downstream, designed by Neyrpic*

*Under normal operating conditions, the guard valves are open and the service valves are kept closed. The service and guard valves are able to cut off the nominal flow rate (110 m<sup>3</sup>/s per conduit) under load.*

*The maintenance of these organs is a very heavy and restrictive operation, which has been postponed several times, precisely because of a combination of numerous and major constraints: environmental, external, OHS, technical, logistical, etc.*

*From 2010, damage to butterfly valves (significant leaks) led EDF to initiate heavy maintenance studies on this equipment.*

*The significant logistical difficulties (access to the bottom valve room, absence of external and internal handling means to the valve chamber, constrained environment, etc.) guided the project towards a replacement of the 2 valves.*

*This article details the anticipated preparatory work which was necessary before commencing the rehabilitation work (replacement) of the two butterfly valves.*

*These include studies linked to various administrative authorizations, ecological inventories aimed at reducing the impact of the work on the environment, logistical studies because there was no means of handling or heavy access to the bottom valves, the establishment of a secondary reserved flow, preventive maintenance of guard valves, and studies specific to replacement work (hydro and mechanical design study).*

*The end of the article quickly presents the project carried out as well as the results.*

## 1. PRESENTATION GENERALE DU PROJET

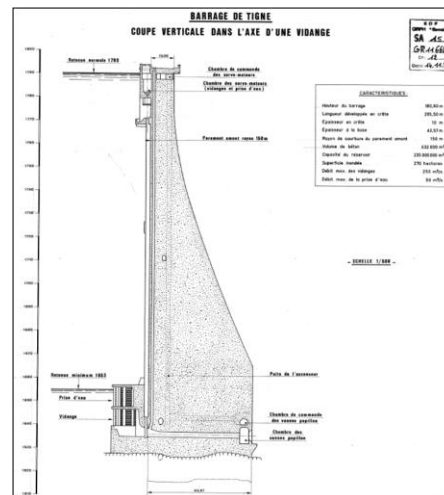


Figure 1 : vue générale (amont couronnement) - Figure 2 : plan en coupe du barrage

Le barrage de Tignes (retenue du Chevril) est situé en Haute Isère dans le département de la Savoie (73), sur la commune de Tignes. Avec une hauteur sur fondations de 180 m pour une longueur de 430 m, il est le plus haut barrage de France. Construit à plus de 1600 m d'altitude, le réservoir est alimenté par 18 prises d'eau installées sur tout le bassin versant. Il offre un stockage de 235 millions de m<sup>3</sup> d'eau et alimente la chaîne hydroélectrique de la Haute Tarentaise constituée notamment des usines des Brévières et de Malgovert.

Les organes de la vidange de fond datent de 1952. Ils assurent les fonctions de vidange du réservoir amont, d'évacuation des crues, à travers deux conduites parallèles de 2,2 m de diamètre chacune sous 154 mCE. Ce dispositif est équipé de l'amont vers l'aval :

- D'une prise d'eau bétonnée ;
- De deux vannes de garde à chenilles, à l'amont des conduits, qui assurent la mise en sécurité de l'aménagement en cas d'aléa ou pour réaliser la maintenance des vannes de service ;
- De deux vannes de service, de type papillon, situées à l'aval, conçues par Neyrpic.

En conditions d'exploitation normales, les vannes de gardes sont ouvertes et les vannes de service sont maintenues fermées. Les vannes de service et de garde sont capables de couper en charge le débit nominal (110 m<sup>3</sup>/s par conduits).

Afin d'assurer les fonctions de sûreté, les deux vannes papillon sont amenées à fonctionner suivant les conditions suivantes :

- Vidange programmée : en-dessous de la cote 1655 m NGF (les eaux peuvent être turbinées au-dessus de cette cote) ; Cette phase fait transiter une quantité importante de sédiments et de matériaux grossiers dans les vannes ;
- Vidanges d'urgence : le niveau de la retenue est abaissé uniquement par les conduits de vidange, sans la contribution des groupes des Brévières ;
- Évacuation des crues : fonctionnement en ouvertures partielles pour respecter les contraintes d'exploitation suivantes :
  - Ne pas dépasser la cote 1790,00 m NGF (cote d'exploitation maximale exceptionnelle) ;
  - N'avoir à aucun moment un débit sortant supérieur à la valeur de pointe de la crue entrant dans le barrage ;

- Avoir un gradient maximal de débit évacué de 30 m<sup>3</sup>/s par heure ;
- Assurer le remplissage de la retenue en fin de crue (tendre vers la cote 1789,50 m NGF).

Les dégradations des vannes papillons (fuites importantes) ont conduit EDF à engager à partir de 2010 des études de maintenance lourde sur ces matériels.

Les difficultés logistiques importantes (accès au local des vannes de fond, absence de moyens de manutention extérieurs et intérieurs à la chambre des vannes, environnement contraint, etc...) ont orienté le projet vers un remplacement des 2 vannes.

## 2. ETAT DES ANCIENNES VANNES PAPIILLON

Les vannes papillons sont fuyardes depuis de nombreuses années. Les fuites proviennent en partie de l'étanchéité périphérique lentille / corps, mais la fuite principale et la plus délicate à étancher, est située à l'intersection entre l'étanchéité périphérique de lentille et l'étanchéité circulaire autour des tourillons.



Figure 3 : vue aval d'une vanne papillon d'origine, lors d'une intervention sur site

Des années 1970 à 2010, plusieurs opérations de réparation sur site ont été conduites visant à réparer les portées d'étanchéités et remplacer les joints des lentilles. Des tentatives successives de réparation des sillons creusés par les fuites sur le corps (au droit des tourillons) ont été réalisées de manière à rendre les fuites acceptables, mais l'exigüité de la zone de travail ne permettait pas de réparer définitivement ces dégradations.

À partir de 2013, la cinétique d'évolution des fuites s'est accélérée :



Figure 4 : évolution de la dégradation au droit du tourillon RG entre 2010 et fin 2013 (vanne d'origine RD)

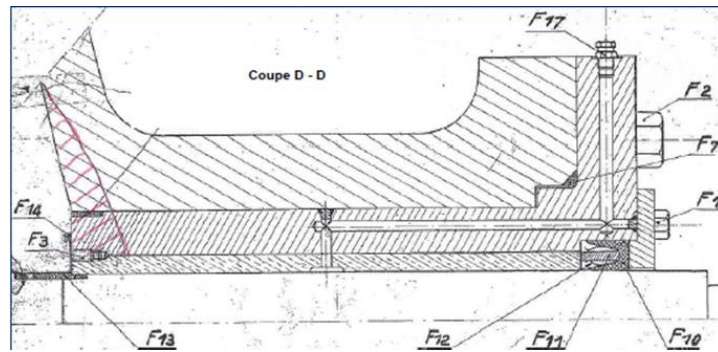


Figure 5 : Vanne papillon d'origine - Zone rayée rouge = zone dégradée.

En octobre 2013 et avril 2014, des empreintes sont réalisées afin de suivre l'évolution : une évolution nette est notée, localisée sur le tourillon RG de la vanne RD.



Figure 6 : volume des empreintes entre octobre 2013 (à gauche) et avril 2014 (à droite)

Cette évolution a conduit EDF à vérifier la tenue mécanique de la vanne : les contraintes dans le corps restaient acceptables, mais il a été préféré de stopper l'évolution des fuites en fermant la vanne de garde de la vidange de fond afin de mettre la vanne de service rive droite hors d'eau (en attendant son remplacement).

### 3. CONTRAINTES EXTERNES ET LOGISTIQUES

La particularité du projet de remplacement des vannes de service réside dans le cumul des difficultés et contraintes d'ordre logistique et environnemental :

- Accès chantier au pied du barrage : l'ancienne piste d'accès par l'aval au pied du barrage est aujourd'hui désaffectée et partiellement détruite (dont les 45 derniers mètres). De plus, les instabilités rocheuses le long de la piste en interdisent l'accès ;
- Conditions climatiques hivernales à 1800 m d'altitude et contraintes économiques externes :
  - La route d'accès à la station de Tignes passe sur le couronnement du barrage : un accès touristique, économique (pour les entreprises) et pour les secours doit être impérativement maintenu, en particulier en hiver lorsque la route secondaire est fermée (pistes de ski) ;
  - La zone extérieure « pied de barrage », situé en fond de gorge, est dangereuse et soumise au risque d'avalanches (hiver) et de chutes de blocs rocheux en été ;
  - Interdiction de présence de grues en période hivernale (arrêté municipal) ;

- Accès à la chambre des vannes :
  - Accès au local inférieur de commande par un ascenseur prévu pour des personnes uniquement, ou par un escalier long et extrêmement pentu, inadapté au transport de pièces lourdes ou volumineuses ;
  - Puis accès aux vannes par une échelle à crinoline depuis la salle inférieure de commande ;
  - Aucune manutention lourde n'est possible depuis l'intérieur du barrage ;
  - Le seul accès possible pour les manutentions lourdes est depuis l'extérieur, par le parement aval du barrage ;
  - Aucun moyen de manutention existant et aucune ouverture ne permettent le transfert de pièces lourdes de l'intérieur de la chambre des vannes vers l'extérieur ;
- Enjeux environnementaux avec la préservation de nombreuses espèces protégées sur le site.

Ce faisceau de contraintes a orienté le projet sur les choix suivants :

- Chantier découpé en plusieurs campagnes, en dehors de la période hivernale ;
- Période possible : de la fermeture de la station de Tignes (début mai) à sa réouverture (début novembre) ;
- Accès chantier pour le matériel lourd : depuis le couronnement uniquement et par le parement aval ;
- Accès chantier pour les travailleurs : depuis l'ascenseur (ou les escaliers en secours) ;
- Étude et création d'une zone de travail sécurisée en pied aval de barrage ;
- Étude et création de moyens de manutention pour transférer les anciennes et les nouvelles vannes entre l'aval extérieur du barrage et l'intérieur de la chambre des vannes ;
- Étude des moyens de manutention pour approvisionner le chantier depuis le couronnement du barrage ;
- Étude et création de moyens de manutention lourds à l'intérieur de la chambre des vannes ;
- Gestion des interférences routières avec le Département de Savoie, les services Techniques de la commune de Tignes et les services de secours et de Gendarmerie.

## 4. TRAVAUX ET ETUDES PREPARATOIRES

### 4.1. Vannes de garde

Les vannes de garde, de type vanne à chenilles, sont disposées à l'amont du barrage.

Elles sont commandées par des vérins situés en partie supérieure du barrage (sous le couronnement) et manœuvrées par une chaîne de brimballes (longueur : 135 m).

Les difficultés d'accès et les contraintes d'exploitation (le local de maintenance est situé sous la cote de Retenue Normale, une vidange est nécessaire) ont limité les opérations de maintenance durant de nombreuses années.

Entre 2013 et 2015, EDF a donc rénové les vannes de garde selon le périmètre suivant :

- Dépose des brimballes et remontée des vannes au niveau de local de maintenance (balcon amont) ;

- Transport en atelier des brimballes pour maintenance :
  - Contrôles non destructifs des assemblages soudés ;
  - Remplacement des axes de liaison ;
  - Sablage et remise en peinture ;
- Calage des vannes dans le local de Maintenance pour rénovation :
  - Sablage / peinture des tabliers (contexte amiante) ;
  - Remplacement des chenilles et des étanchéités ;
- Remontage des brimballes et descente de la vanne ;
- Essais de qualification en eaux mortes et en charge (ouverture et fermeture).

A l'issue des travaux, les vannes de garde sont requalifiées (ouverture et fermeture en charge) et opérationnelles (suffisamment étanches pour permettre les travaux sur les vannes de services).



Opération inédite à Tignes



Figure 7 : Extraction des brimballes de nuit, pour réduire les interférences routières

Figure 8 : Remontée de la vanne RD au niveau du local de maintenance

#### 4.2. Débit réservé

Le débit réservé (342 l/s) de l'aménagement était délivré par un piquage sur le conduit de la vidange de fond RG.

Les travaux de remplacement de la vanne de fond RG nécessitant la mise hors d'eau de ce conduit, une solution palliative et pérenne a dû être mise en œuvre : création d'un second débit réservé piqué sur la galerie d'amenée à l'usine des Brévières.

Les opérations suivantes ont été réalisées :

- Création d'un piquage DN400 en acier sur un fond plein existant ;
- Mise en place d'une vanne de garde et d'un système de régulation de pression et de débit asservi à la cote du barrage ;
- Montage d'une conduite en PRV (longueur 150 ml) dans la galerie de visite pour délivrer le débit réservé juste à l'aval du barrage.

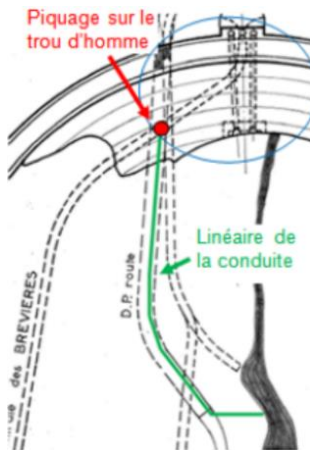


Figure 9 : schéma d'ensemble



Figure 10 : vue du piquage métallique (et vanne de régulation)



Figure 11 : assemblage de la conduite PRV

#### 4.3. Sûreté et maintien en exploitation

La sûreté de l'aménagement imposait bien sûr la prise en compte de la capacité d'évacuation des crues, la maîtrise de la cote (en particulier en cas d'avarie sur les turbines de la centrale des Brévières) et le maintien d'une possibilité de vidange d'urgence en cas d'aléa grave (réduction de la demi-poussée en 8 jours), durant toute la durée du chantier de remplacement des vannes papillon.

Des analyses de risques ont été conduites par l'exploitant et ont examiné les différentes possibilités de débitance en phase chantier, selon plusieurs scénarii (un ou deux conduits indisponibles, selon des durées différentes, utilisation des fonds pleins de la galerie provisoire, etc.).

Les solutions retenues sont les suivantes :

- Vidange d'urgence :
  - 1 conduit en permanence opérationnel (c'est à dire 1 seul conduit en travaux) ;
  - Approvisionnement d'une manchette qui pourrait être mise en œuvre en 3 jours sur le conduit en travaux ;
  - Contractualisation d'une astreinte avec le Titulaire pour montage de cette manchette en moins de 3 jours ;
  - Cette manchette permet de réduire la demi-poussée en 9 jours et la vidange totale en 18 jours (validé par les services de la DREAL).
- Crue :
  - Un creux préventif saisonnalisé est imposé durant les périodes de chantier (1785 mNGF de juillet à novembre et 1781,5 mNGF en dehors) ;
  - Ce creux préventif permet de garantir le non-dépassement de la cote PHE lors d'une crue Q1000 (hydrogramme de crue issu de l'étude Schadex de 2013), avec un seul conduit disponible et de protéger le chantier : l'objectif est aussi de laminier une partie de la crue, pour éviter de noyer le chantier et détruire la zone de travail extérieure).



#### 4.4. Démarches administratives et environnementales

##### Enjeux Ecologiques

Le barrage de Tignes se situe dans une ZNIEFF de type II, dans l'aire d'adhésion du Parc Naturel National de la Vanoise et à proximité de sites Natura 2000. Les enjeux écologiques ont donc été étudiés avec les partenaires spécialistes du domaine :

- Les experts d'EDF CIH Environnement pour la stratégie et le pilotage des actions ;
- La LPO (Ligue de Protection des Oiseaux) pour les sujets « chiroptères » et « hirondelles » ;
- Le CBNA (Conservatoire Botanique Naturel Alpin) pour la flore ;
- Ing'Europ et KARUM, ingénierie spécialisée (inventaires écologiques et dossiers administratifs) ;
- DREAL pour les validations de dossiers et autorisations de travaux.

Un inventaire écologique a été réalisé en 2015, sur plusieurs saisons pour couvrir avec exhaustivité le secteur.

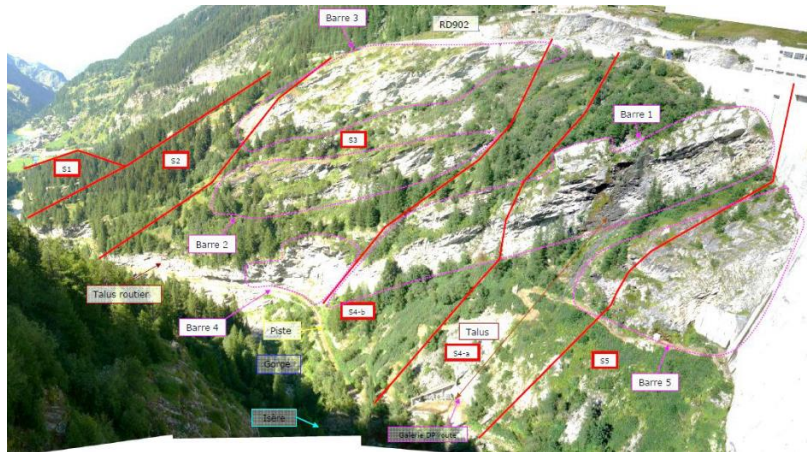


Figure 12 : quadrillage des zones à inventorier selon le type de travaux envisagés (purge, filets, etc.)

En complément, des observations par LPO ont été réalisées afin d'identifier les nids d'hirondelles pour différencier les anciens nids inoccupés et les nids en service.

Par ailleurs, plusieurs activités étaient programmées de nuit pour réduire les interférences routières en journée et respecter le planning imposé par les contraintes hivernales. Une étude spécifique d'incidence des éclairages nocturnes de chantier (ballon lumineux, éclairages de sécurité des grues, etc...) a été conduite afin d'évaluer le dérangement des chiroptères, qui chassent et se nourrissent en période nocturne.

De nombreuses espèces protégées ont été inventoriées sur des localisations impactées par les travaux de sécurisation (pose de filets et purge des blocs rocheux, manutention avec les grues, ...) :

- 5 espèces floristiques : Cirse Faux Hélium, Jonc Arctique, Primevère du Piémont, ...
- 35 espèces d'oiseaux dont 3 menacées : Hiboux Grand Duc d'Europe, Hirondelle de Fenêtres et Hirondelle de Rochers ;
- 1 mammifère : Ecureuil Roux ;
- 16 espèces de Chiroptères dont 2 menacées : Minioptère de Schreibers et Murin de Bechstein ;
- 2 espèces de reptiles : Lézard des Murailles et Vipère Aspic ;
- 1 espèce d'amphibiens partiellement protégée : la Grenouille rousse ;
- 3 espèces de rhopalocères (papillons) dont 1 espèce menacée et rare (Damier du Chèvrefeuille) et 2 espèces non menacées (Appolon et Azuré du Serpolet).

Les mesures d'évitement et de réduction suivantes ont été présentées :

- Mise en défends des plantes hôtes des 2 espèces de papillons protégées sur l'ensemble des secteurs concernés ;
- Présence d'un écologue pour guider les équipes pendant les interventions (purge, pose des filets) ;
- Evitement des zones présentant des individus (œufs, chenilles) ;
- Sensibilisation du personnel intervenant pour apprendre à reconnaître les plantes hôtes ;
- Pose de filets sous le couronnement (lieux de nidification des hirondelles) en dehors des périodes de reproduction pour écarter les hirondelles du centre du barrage (zone d'évolution des grues) et les inciter à nicher aux extrémités du barrage (zones non concernées par les grutages) ;
- Imposition d'un éclairage adaptée pour les travaux de nuit (afin de réduire l'impact sur l'activité des chiroptères) :
  - de type LED ambrée ou lampes à sodium passe pression (lumière émise de longueur d'onde proche des 590 nm et n'émettant pas d'UV) ;
  - Sports directifs (vers le sol) munis de déflecteurs ;
  - Limité aux zones de travail et de manutention.

La mesure compensatoire suivante a été proposée et mise en place, compte tenu de l'impact résiduel potentiel sur les plans de Primevère du Piémont (la sécurisation de la zone de travail a nécessité en effet la pose de filets et la purge de blocs rocheux entraînant la destruction limitée d'une soixantaine de pieds de Primevère du Piémont) :

- Transplantation de plants sur un site protégé ;
- Collecte de graines pour alimenter les réserves de semences du CBNA.

Les dossiers, présentés au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN), au Conservatoire Botanique Naturel Alpin (CBNA) et à la DREAL Auvergne Rhône Alpes, ont été reçus favorablement par les instances et ont été validés par la Préfecture de Savoie qui a donné l'autorisation de travaux par l'Arrêté Préfectoral 2016/1985.

### **Site classé "Gorges de Boissières à Tignes "**

Le barrage de Tignes se trouve dans le périmètre du Site Classé et Inscrit "Gorges de Boissières à Tignes" par Arrêté ministériel du 18 août 1938.

Les travaux ont été présentés à DREAL Auvergne Rhône Alpes et à l'Architecte des Bâtiments de France. Ce dernier a recommandé :

- d'équiper l'escalier extérieur d'une toiture galvanisée ;
- d'adapter la couleur des bungalows pour ne pas créer de point d'appel visuel ;
- D'évacuer les installations provisoires de chantier ;
- de vérifier à l'issue des travaux la remise en conformité du site.

Le dossier a été présenté en Commission Départementale de la Nature, des Paysages et des Sites de la Savoie le 29 novembre 2016 qui a émis un avis favorable.

Le Ministère de l'Environnement a autorisé les travaux le 1<sup>er</sup> mars 2017.

#### 4.5. Zones de travail et moyens de manutention

Les travaux préparatoires ont consisté en l'installation d'équipements nécessaires aux opérations de remplacements de deux vannes :

- La sécurisation des falaises à l'aval immédiat du barrage (purges annuelles par cordistes, 70 m<sup>2</sup> de grillage plaqué et cloutage de blocs instables) ;
- Le nettoyage du pied de barrage avec évacuation de plus de 100 m<sup>3</sup> de roches et sédiments ;
- La création de deux ouvertures par sciage béton pour permettre l'extraction des vannes vers l'extérieur depuis le local des vannes ;
- L'installation d'une passerelle suspendue extérieure, accessible depuis le local commande des vannes pour faciliter l'accès au local des vannes pendant le chantier ;
- L'installation d'une potence en extérieur, principalement pour faciliter l'évacuation d'éventuels blessés pendant le chantier ;
- La fabrication de deux chariots équipés d'un plateau supérieur rotatif pour déplacer les vannes sur des rails en intérieur et en extérieur ;
- La mise en place d'un outillage de levage des deux vannes, au-dessus de leur assise (pour dégager les pieds des ancrages), et au-dessus des deux changements de voies (pour orienter les roues à 90° d'angle) ;
- L'installation d'une poutre roulante dans le local des vannes d'une CMU de 4 tonnes ;
- L'installation de deux plateformes métalliques en rive droite et gauche, avec chemin de roulement et caillebotis, dimensionnées pour supporter la masse de la vanne (25 tonnes) et son chariot (1,6 tonnes).

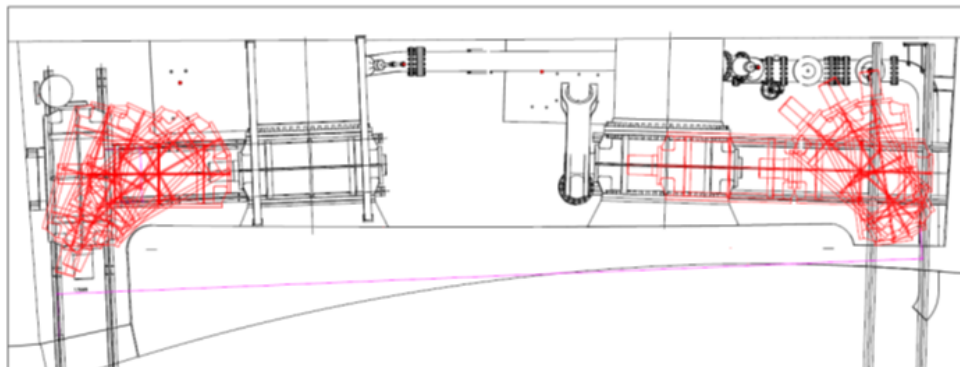


Figure 13 : Synoptique de déplacement des nouvelles vannes entre l'extérieur et l'intérieur de la chambre des vannes.

Afin de disposer de la demi-chaussée aval du couronnement, un alternat de circulation sur la route d'accès à la station de sport d'hiver de Tignes a été mis en place durant toute la campagne de travaux. Il a permis de fixer une grue à tour (capacité 4 tonnes à 55 mètres) et de disposer d'une zone de stockage tampon pour l'évacuation et l'approvisionnement de matériel et matériaux vers/ depuis le pied aval du barrage.

Pour extraire l'ancienne vanne RG et introduire la nouvelle vanne dans le barrage, une plateforme provisoire avec chemin de roulement a été installée en rive gauche du pied aval de barrage. En rive droite, une plateforme définitive avec chemin de roulement fut construite pour accueillir deux vannes (notamment pour dégager puis découper en extérieur la vanne d'origine, tandis que la vanne neuve grutée l'année précédente attendait le passage pour être installée dans son emplacement définitif).

La descente en pied de barrage des nouvelles vannes a nécessité l'emploi d'une grue à chenilles de type TEREX SL-3800 (capacité 650 tonnes). L'opération a été réalisée en un jour le 30 septembre 2020.

L'ancienne vanne rive gauche a été évacuée à cette même occasion. L'assemblage de cette grue a été réalisé en rive droite, au niveau de l'aire de chainage du rond-point des Boisses, en 7 jours. La grue, une fois assemblée a été acheminée à l'aide de deux modules SPMT jusqu'à la zone de travail. En prévision de cette opération, le plot central du couronnement a fait l'objet l'année précédente d'un renforcement par épinglage des coins amont et aval du plot. Dans la galerie sous couronnement, un étaieement provisoire a été mise en œuvre sous la chaussée pour la reprise des efforts du convoi, d'un poids total de 568 tonnes, en phase de roulage.



Figure 14 : synoptique d'évolution des grues



Figure 15 : photo aérienne prise lors de manutention des vannes papillons avec la grue 650 T

## 5. LES NOUVELLES VANNES

Les études d'avant-projet ont rapidement écarté les solutions de réparation des vannes d'origine, principalement en raison d'une maîtrise insuffisante du risque délai et d'une différence de coût peu significative. Le choix ne s'est pas immédiatement porté vers une conception de vannes du type papillon, car les doctrines EDF imposaient des vannes à passage intégral pour ce type de fonction. D'autre part, les vannes doivent être capables de supporter sur toute la durée d'une crue des sollicitations vibratoires importantes, avec des vitesses d'écoulements allant jusqu'à 50 m/s, sans risque de rupture par fatigue d'un de ses composants. Les études d'avant-projet sommaire ont finalement abouti à la décision de repartir sur une conception similaire aux vannes d'origine plutôt que sur une conception du type vanne segment (coût génie-civil très important), ou du type jet flow, ou du type vannes à glissière (maîtrise incertaine des risques vibratoires et de l'érosion). Les études d'avant-projet détaillé ont préconisé de repartir sur un obturateur centré avec un profil en forme de losange, semblable à celui d'origine. Ce choix résulte de la volonté de ne pas bouleverser les efforts de manœuvre et chargement transmis au génie-civil, quand bien même une excentration aurait présenté l'avantage de faciliter les opérations de remplacement de la pièce d'usure principale de la vanne, c.à.d. le joint d'obturateur. Le choix de la maîtrise du profil hydraulique de l'obturateur était d'autant plus nécessaire que la maîtrise de la stabilité de l'obturateur d'une vanne papillon dont le fonctionnement normal est de débiter à gueule-bée est très spécifique et crucial, surtout aux vitesses d'eau évoquées plus haut.

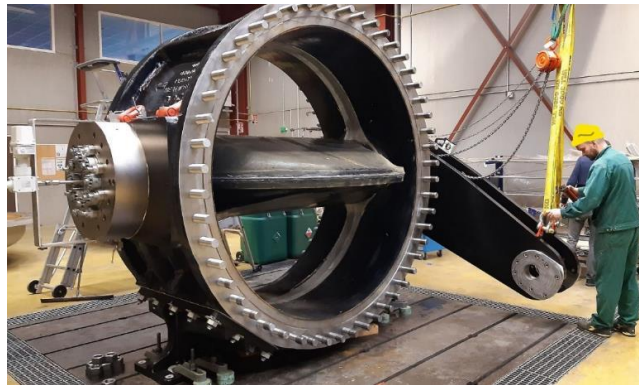
Décision fut également prise de conserver et de rénover la chaîne cinématique existante, du type vérin à vis-écrou, plutôt que de partir sur une nouvelle conception, du type vérin oléo hydraulique par exemple. Ce choix fut motivé par la grande fiabilité du maintien en position hors énergie de l'obturateur. Cette aptitude est d'ailleurs une spécificité importante des vannes de fond, qui les distinguent des vannes papillon de garde de turbines ou des vannes de tête. En outre, la maîtrise d'ouvrage considérait le système d'origine comme fiable, robuste, simple, et toujours en bon état après 70 ans d'exploitation.

Le cahier des charges adressé aux constructeurs intégrait notamment les prescriptions techniques suivantes :

- Les nouvelles vannes papillon doivent s'implanter dans l'existant, entre les brides amont et aval, et réutiliser les ancrages et la chaîne cinématique d'origine ;
- La conception doit être améliorée pour réduire, autant que possible, les efforts sur les ancrages ;
- Toutes discontinuités dans le passage d'eau doivent être évitées pour écarter les risques de perturbations hydrauliques ;
- Le profil de l'obturateur doit être du type losange ;
- La section de passage et pertes de charge doivent être identiques aux vannes d'origine ;
- La tendance à la fermeture est garantie sur toute la course ;
- La position de l'obturateur doit rester stable en cas de perte d'énergie, à toutes cotes ;
- Les efforts de manœuvre sont garantis au plus égaux à ceux existants ;
- Les tourillons sont constitués de demi-arbres rapportés par boulonnage dans l'obturateur (contrairement aux vannes d'origine), et les paliers des tourillons sont démontables ;
- Le remplacement des joints d'obturateur et de tourillon est possible sur place.



*Figure 16 : Travaux de découpe de l'ancienne vanne*



*Figure 17 : nouvelle vanne en atelier en cours de montage*



*Figure 18 : insertion de la nouvelle vanne RG entre brides*

## 6. ESSAIS DE QUALIFICATION DES NOUVELLES VANNES

### 6.1. La gestion des lâchers d'eau

Le volume du bassin réceptacle à l'aval est très faible. Considérant la grande débitance du circuit de vidange du barrage, l'aptitude à la fermeture en charge des vannes de vidange pendant les essais, à tout moment, est primordiale. La maîtrise des risques pendant les essais devait tenir compte du temps de fermeture en charge de la vanne de garde de 120 secondes, du temps de fermeture de la vanne papillon de 600 secondes, et du décalage temporel entre le débit restitué au barrage et le débit arrivant dans le bassin réceptacle (retenue des Brévières), soit une quinzaine de minutes. Un temps de réaction très court est permis en cas d'anomalie : les aléas doivent être détectés à temps pour ordonner, en cas de problème, l'interruption des essais en charge.

Du fait de la faible capacité de la retenue des Brévières, la durée des essais en charge est très limitée. Il n'est pas possible de rester plus d'une minute en pleine ouverture quand la débitance est maximale (110 m<sup>3</sup>/s à cote RN) pour ne pas dépasser le volume d'eau qu'il est possible d'absorber dans la retenue (50 000 m<sup>3</sup>), en ayant préalablement partiellement abaissé sa cote, et en consommant en même temps une partie de l'eau par les groupes de l'usine de Malgovert (2x10 m<sup>3</sup>/s, avec un groupe en réserve au cas où). Il était donc nécessaire de minuter précisément la durée de chaque essai.

### 6.2. Les risques et les parades

Dans l'éventualité d'une rupture de la chaîne cinématique lors des essais à pleine charge, le dash-pot monté sur le bras de l'action des vannes papillon constitue une parade ultime et unique permettant d'éviter une fermeture brutale et incontrôlée de la vanne. Le temps de fermeture du dash-pot fut évalué par calculs et les hypothèses de calculs furent vérifiées grâce au démontage de l'appareil, en particulier lors du contrôle du dispositif d'ajustement du temps de manœuvre, intégré dans le piston du dash-pot en 1952. À cette occasion, il a été constaté que le temps de manœuvre dépendait autant du diaphragme que du jeu présent entre le piston et la chemise du dash-pot (liaison coulissante sans joint d'étanchéité). La résistance d'enveloppe du corps du dash-pot fut préalablement confirmée grâce à des contrôles par ressuage et par une épreuve en pression en atelier de 100 bar.

Enfin, la vanne de garde de la vidange de fond est l'organe essentiel qui constitue la parade ultime en cas d'aléas sur les vannes de service pour stopper une vidange. Elle est conçue pour couper le débit maximum des vannes de service. Le Plan Global d'Essai (PGE) prévoyait donc la vérification préalable de cette capacité de fermeture. Pour ménager les équipements, limiter les énergies mises en jeu et les risques, ce contrôle s'est limité en une première manœuvre en eau morte, puis un essai de type « crack-opening » (essai d'ouverture-fermeture en charge d'une vanne sur une course réduite), conduit aval préalablement vidé, afin de s'assurer que la descente gravitaire sans énergie de la vanne est possible à pleine pression différentielle. Ce test préliminaire fut considéré comme concluant pour affirmer que cette parade ultime est robuste.

L'ensemble de ces examens préalables nous permet de réaliser les essais de mise en service en toute confiance, totalement serein par rapport aux divers aléas qui pouvaient survenir.

### 6.3. Les résultats

Ces précautions permirent de mener les essais de qualification de la première nouvelle vanne en toute sérénité d'emblée à cote haute : la cote du moment en novembre 2020 s'établissait à 1780 m NGF, donnant une charge de 145 mCE à l'axe des vannes (154 mCE sous PHE).

Les efforts de manœuvre mesurés correspondent à ceux attendus :

- 581 kN mesurés
- Pour un seuil de surcharge calculé et réglé à 638 kN.

Le niveau vibratoire des nouvelles vannes fut, sans surprise, inférieur à celui des vannes d'origine.

- Nouvelles vannes : 15,6 mm/seff (pic à 75/80° d'ouverture)
- Anciennes vannes : 54 mm/seff.

Les essais conduits sur cette même vanne l'année suivante avec une charge statique nettement plus faible (72 mCE) permirent de s'assurer de l'absence de résonances particulières avec des conditions d'écoulement différentes. Nous fûmes d'ailleurs surpris par l'excellent comportement vibratoire à pleine ouverture de l'obturateur : la vanne à gueule bée vibre très peu, sollicite très peu l'actionneur, et le jet en sortie est très stable. A ouvertures partielles, le niveau vibratoire est plus important, mais sans aucune résonance néfaste. Néanmoins, comme pour les vannes d'origine, le fonctionnement reste assez chahuté pour des ouvertures partielles aux alentours de 75° : le fonctionnement prolongé dans cette zone doit être évité. Du coup, l'exploitant doit, pour éviter cette zone perturbée, répartir le débit sur les deux circuits de vidange pour pouvoir suivre les courbes de crue en fonction des entrants. Ces bons résultats ont permis de conclure positivement sur l'aptitude des nouvelles vannes à assurer les fonctions qui leur sont dévolues, c'est-à-dire pouvoir fonctionner durablement dans de bonnes conditions pour assurer une vidange d'urgence ou pour gérer une crue sur le barrage de Tignes.



Figure 19 : vue des essais avec lâcher d'eau depuis le couronnement du barrage