

Retour d'expérience sur les travaux de surélévation d'un barrage en remblai : de la conception initiale à la réalisation – Cas du barrage de la Ganguise (France)

Lessons learnt - Raising an earthfill dam : From the initial design to the dam-raising works - Ganguise Dam (France)

Eric Vuillermet
BRL ingénierie 1105 avenue Pierre Mendès France – BP 94001 – 30001 NIMES cedex 5
courriel : eric.vuillermet@brl.fr

MOTS CLÉS

Surélévation, tapis drainant, paroi moulée, rip rap, travaux

RÉSUMÉ

Pour des raisons économiques et pour gérer l'évolution de l'utilisation de la ressource en eau, la réalisation d'un barrage de stockage en remblai peut être entreprise en deux phases successives. L'objectif est de concevoir en première phase un ouvrage pouvant être surélevé avec le minimum d'impact sur l'exploitation lors des travaux de la seconde phase.

Au travers du cas du barrage de la Ganguise, sont présentés les éléments de conception de la surélévation étudiée 20 ans plus tard, et mais aussi les adaptations techniques en phase de réalisation.

Si des choix techniques permettant d'envisager la surélévation sans vidange de la retenue : inclinaison adaptée du noyau et du dispositif de drainage, intégration des surcharges sur les ouvrages en béton, implantation adaptée des ouvrages de restitution avait été retenus. Après 20 années d'exploitation de l'ouvrage, l'analyse du comportement du barrage initial a conduit à adapter la conception initiale de la surélévation. L'adoucissement des pentes du talus aval engendre de plus fortes sollicitations sur les ouvrages aval. Il est alors nécessaire de modifier et renforcer les ouvrages de génie civil de restitution aval, mais aussi d'imposer des contraintes de réalisation : vitesse maximale de construction des remblais, auscultation spécifique des ouvrages pour vérifier le niveau de sécurité. De nouvelles dispositions techniques sont retenues telles que la mise en œuvre d'une couche anti-retrait sur le talus aval et le choix de parois moulées pour étancher les appuis en remplacement de voiles d'injection.

En phase d'exécution, les adaptations ont porté notamment sur la gestion du traitement de points singuliers tels que les raccordements du dispositif de drainage au droit du tapis drainant tri-couche, de la cheminée drainante, des anciens puits de décharge, de la protection amont.

Le retour d'expérience pour la conception des ouvrages « surélevables » porte sur l'anticipation en phase de conception du comportement de l'ouvrage, mais aussi sur la nécessité de concevoir dans le détail les points singuliers pour en faciliter la bonne exécution, et d'obtenir des plans de récolement précis.

ABSTRACT

Economic reasons and evolving use of water resources may call for an earthfill storage dam to be built in two separate stages. In such cases, the idea is to design the dam structure so that can be raised during a second phase of construction with the least possible impact on its operation.

A look at the Ganguise Dam (a zoned earthfill dam in the South of France) reveals the initial design that paved the way for the two phases of construction, the design of the dam raising works 20 years later, and the unanticipated issues encountered during the implementation phase.

The first phase included certain technical choices to allow the future raising of the dam without emptying the reservoir: appropriate core and drainage device inclines, the additional load to be borne by the concrete structures and suitable location of the delivery structures.

After operating the dam for an initial phase of 20 years, the dam-raising design studies were carried out; its height was to be increased by 6 metres to provide 20 Mm³ additional storage. It thus became obvious from the analysis of the initial dam's behaviour that it was necessary to adjust the raising works design. Gentler downstream slopes mean

greater strain on downstream structures. It was therefore necessary to modify the downstream structures as well as to impose certain limits during the construction works: a maximum speed for building up the earthfill and special monitoring to check dam safety. Considering the lessons learnt when the dam was initially built, different technical arrangements were made, such as an anti-shrink layer on the downstream slope and diaphragm walls instead of grout curtains to make the abutments watertight. During the construction works, the main unanticipated issues encountered concerned critical points, such as drainage layer, chimney drain and upstream protection interconnections. When designing "raisable" dams, the main lessons learnt are the need to anticipate the behaviour of the future dam during the design phase and the need to design critical points in the utmost detail to facilitate the ensuing construction phase.

1. INTRODUCTION

Le barrage de la Ganguise de classe A, ouvrage structurant régional important pour le stockage, la compensation et la régularisation des volumes nécessaires à l'irrigation du Lauragais, à la Navigation sur le Canal du Midi et au soutien des étiages de l'Hers-Mort, se situe dans le département de l'Aude à 13 km à l'Ouest de CASTELNAUDARY, sur le cours de la Ganguise, affluent de l'Hers-Mort, lui-même affluent de la Garonne.

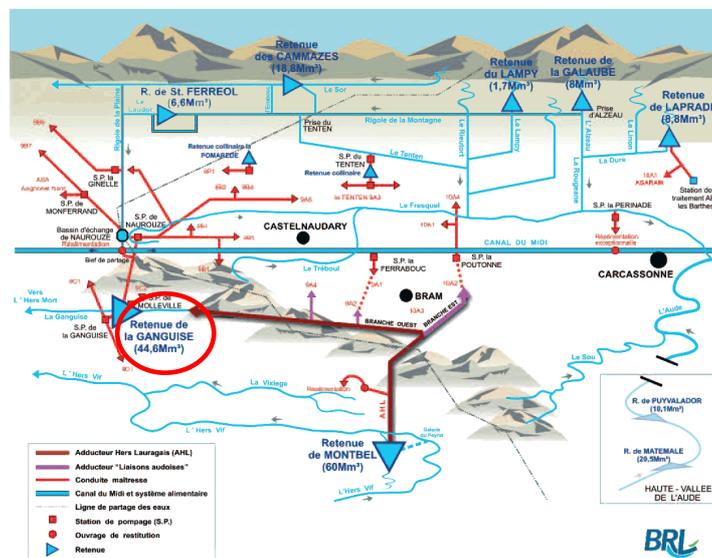


Figure 1: La Ganguise dans le schéma hydraulique local

Dès l'origine du projet, il avait été envisagé pour des raisons économiques de réaliser le barrage de la Ganguise en deux étapes. En première phase, la construction d'un ouvrage de 27 m a été entreprise au début de l'été 1977 et s'est déroulée sur 27 mois, la première mise en eau datant de novembre 1979.

Durant les années 1990, le projet de réalisation de la surélévation est engagé.

Lors de la réalisation du barrage phase I à partir de matériaux issus d'emprunts marmo-gréseux, les sols les plus perméables – fraction gréseuses- ont été mis en recharge amont tandis que le reste plus marneux a été mis en œuvre en recharge aval. Compte tenu de cette nature argileuse de la recharge aval et de son comportement géomécanique et hydraulique, le projet initial a du évoluer induisant de nouvelles contraintes.

2. LE PROJET DE SURELEVATION

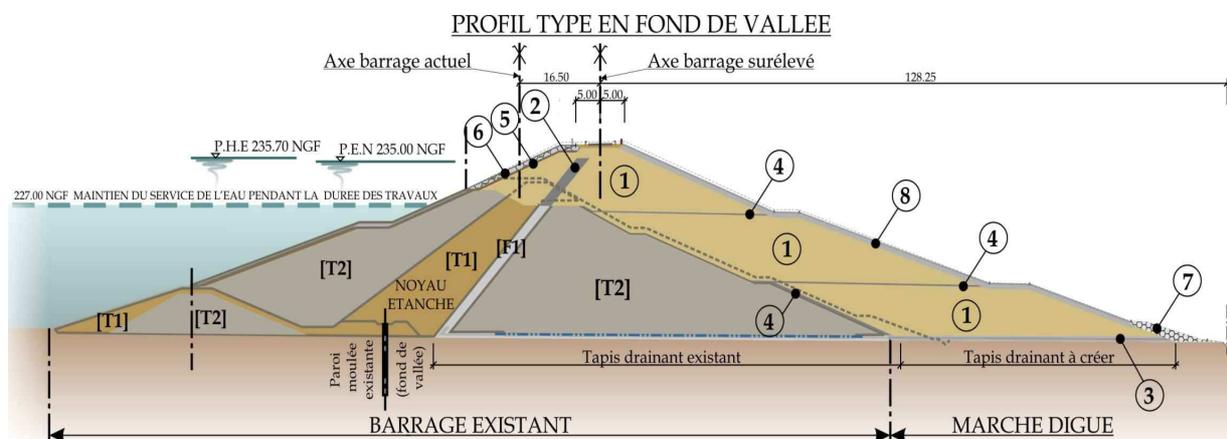
2.1 Anticipation de la surélévation

Le profil du barrage initial se caractérisait par (figure 2):

- Une recharge amont en matériaux les plus perméables (d'origine sablo-gréseux) ;
- Un noyau de limon argileux associé à un filtre granulaire. Il se singularise par une inclinaison vers l'amont. Ce choix a permis son prolongement lors du remblaiement par l'aval ;
- une recharge aval en matériaux marmo-gréseux ;
- Un tapis drainant tri-couche (sable - gravier –sable) se raccordant au filtre incliné. La couche de sable supérieure a été en tout ou partie remplacée par un géotextile Bidim U64.

Les éléments de conception retenus en phase initiale afin d'intégrer l'évolution de la géométrie de l'ouvrage ont été primordiales. Il s'agit principalement de :

- l'inclinaison du noyau et de son filtre vers l'aval permettant la mise en œuvre d'une recharge sans vidange de la retenue et donc en maintenant son exploitation ;
- l'intégration dans le calcul des ouvrages englobés de la surcharge induite par la future recharge.



	Partie d'ouvrage	Nature
①	Corps du barrage	Argiles silteuses, limons
②	Filtre incliné	Sables fins
③	Tapis drainant	Tri-couche : sables fins + graviers + sables fins
④	Tapis intermédiaire	Sables fins
⑥	Protection parement amont	Enrochement
⑦	Protection pied parement aval	Petits enrochements
⑧	Protection anti-retrait	Sables - Graviers
T1	Noyau et couche imperméable	Limons argileux
T2	Recharge	Amont : Molasses gréseuses Aval : Molasses marneuses
F1	Filtre incliné	Sables fins

Figure 2 : Profil type et matériaux constitutifs du barrage et de sa surélévation

2.2 Le projet technique de surélévation

La conception générale de la surélévation du barrage consiste à réaliser la recharge par l'aval et de venir épauler le couronnement afin d'atteindre la cote 238 NGF pour une rehausse de 6 m. Ces travaux s'accompagnent du prolongement des dispositifs particuliers d'étanchéité et de drainage ainsi que la protection du parement amont.

Les matériaux de mêmes natures sont mis en œuvre pour la surélévation dans la continuité de l'existant après recépage du couronnement, décapage et préparation des fonds de forme en vallée, en rives et sur le parement aval.

Le nouvel ouvrage et sa retenue ont les caractéristiques techniques suivantes [tableau 1]:

Caractéristiques principales du barrage de la Ganguise

	Barrage avant surélévation	Barrage surélevé
Nature de barrage	Barrage en terre	
Type de barrage	Digue à noyau limoneux et recharge en matériau marno-gréseux	
Terrain de fondation	Formation d'alternance de couches de marneuses gréseuses	
Etanchéité en fondation	Paroi moulée en fond de vallée : 2 400 m ²	
Etanchéité en digue	Noyau limoneux	
Etanchéité en rives	Voile d'injection : 5 500 m ²	Parois moulées : 3 700 m ² Voile d'injection: 4 000 m ²
Hauteur au-dessus du terrain naturel	27 m	33 m
Hauteur de la surélévation	-	6 m
Longueur en crête	410 m	614 m
Largeur en crête	7 m	10 m
Longueur maximal au niveau du terrain naturel	180 m	235 m
Fruit du parement amont	3.5/1 - 3/1 - 2.5/1	3.5/1 - 3/1 - 2.5/1
Fruit du parement aval	2.5/1 - 2/1	3.5/1 - 3/1 - 2.5/1
Altitude de la crête du barrage	232.00 NGF	238.00 NGF
Volume du corps du barrage	690 000 m ³	1 270 000 m ³
Travaux d'exécution	Été 1977 à Automne 1979 27 mois	Octobre 2003 - Octobre 2005
Première mise en eau	Novembre 1979	Octobre 2005 - Décembre 2011

Tableau 1 : Principales caractéristiques de l'ouvrage et de sa surélévation

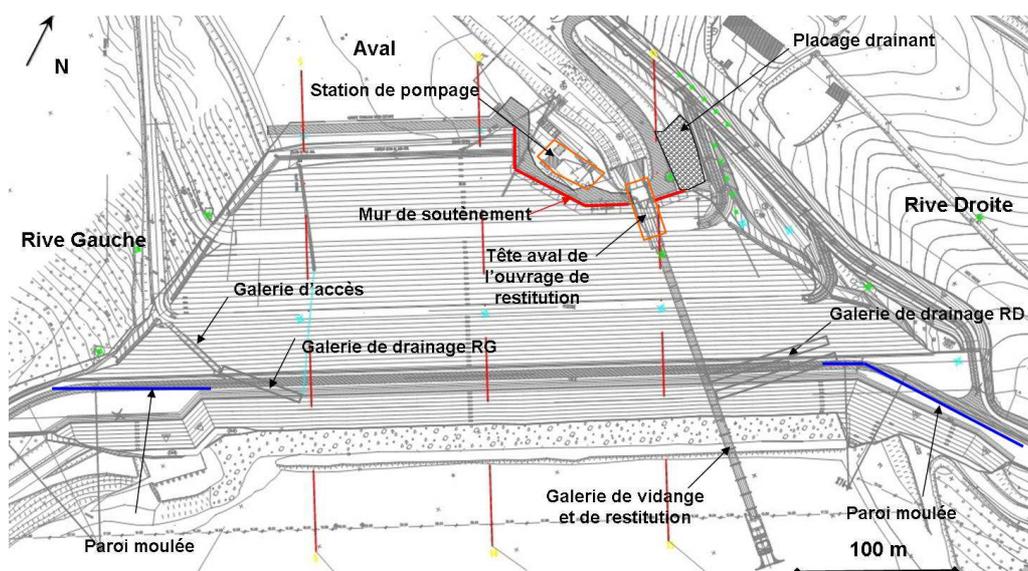


Figure 3 : Localisation en plan des parties d'ouvrage

Le projet intègre :

- Des points d'interconnexion entre l'ouvrage initial et la partie liée à la surélévation :
 - o **un raccordement des dispositifs de drainage : cheminée filtre et tapis drainant ;**
 - o le maintien des anciens puits de décharge de pied aval;
 - o **des raccordements d'ouvrages génie civil ;**
 - o raccordement des dispositifs d'étanchéité en rive.

- des points issus du retour d'expérience de 20 années d'exploitation et d'auscultation du premier ouvrage :
 - o la mise en œuvre de couches de sable au contact des deux recharges pour dissiper les pressions interstitielles et ce du fait de la nature argileuse de l'ancienne recharge aval ;
 - o la mise en œuvre d'une couche anti-retrait sur le talus aval pour empêcher le développement de fissures au sein des matériaux argileux soumis aux cycles saisonnier d'humidification - dessiccation;

- **l'étanchéité en rive par parois moulées** en remplacement de solution «voile d'injection» (figure 4) qui a montré ses limites dans le traitement de fondation alternant couches marneuses faiblement perméables et couches gréseuses perméables. Localement, des faciès gréseux avaient nécessité des injections complémentaires;
- la mise en œuvre en rive droite de puits de décharge et d'une couche drainante en enrochement recouvrant les talus pour réduire le risque d'érosion interne d'un faciès gréseux.

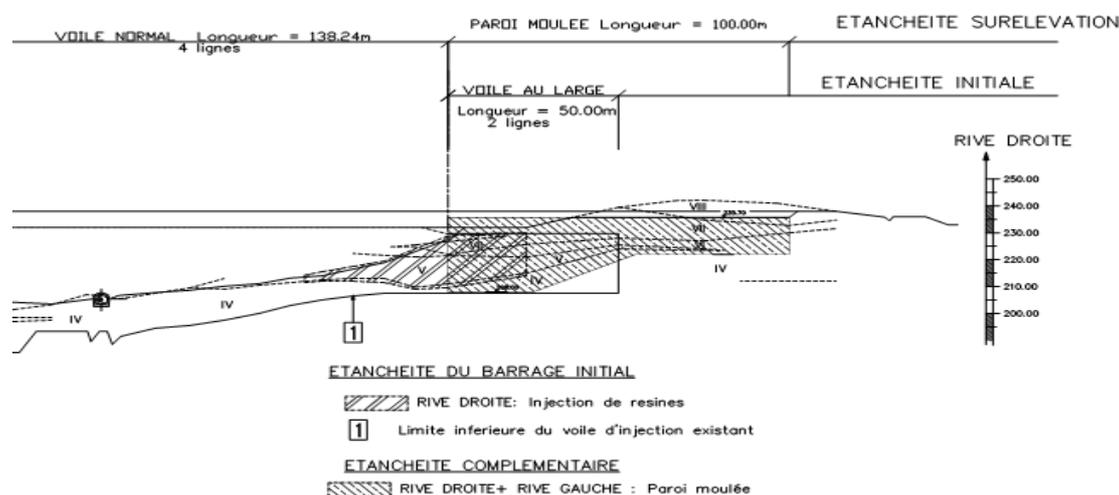


Figure 4 : Etanchéité en rive droite : Voile d'injection et paroi moulée

2.3 Les contraintes induites par le nouveau projet

Les contraintes majeures identifiées en phase étude ont porté essentiellement sur l'adaptation nécessaire des ouvrages de génie civil et les contraintes d'exécution des remblais.

2.3.1 Les ouvrages de génie civil

L'approche prudente quant au comportement du remblai aval a conduit à retenir une pente aval plus douce que prévue. Le recul notable de l'emprise du remblai est venu impacté les ouvrages déjà existants (figure 3) tel que la station de pompage, le bassin de dissipation, l'accès à la galerie de drainage Rive gauche. Le choix de les maintenir en place a nécessité de concevoir des ouvrages singuliers : l'adaptation de la tête aval de la galerie de vidange et restitution, la création d'un mur de soutènement de 10 m de haut en pied aval au droit de la station de pompage, la création d'une galerie d'accès à la galerie de drainage rive droite.

L'adaptation majeure s'est concentrée sur la reprise de la tête aval de la restitution du fait de sa géométrie.

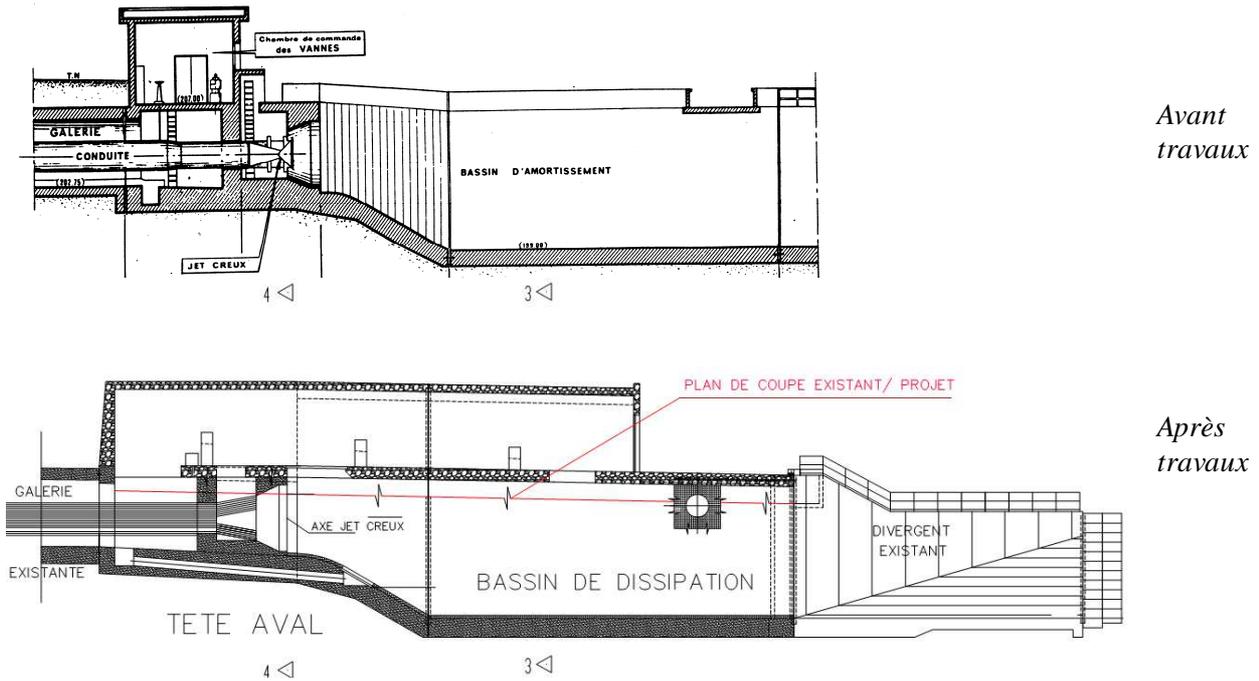


Figure 5 : Tête aval – Profil en long : Avant / Après travaux

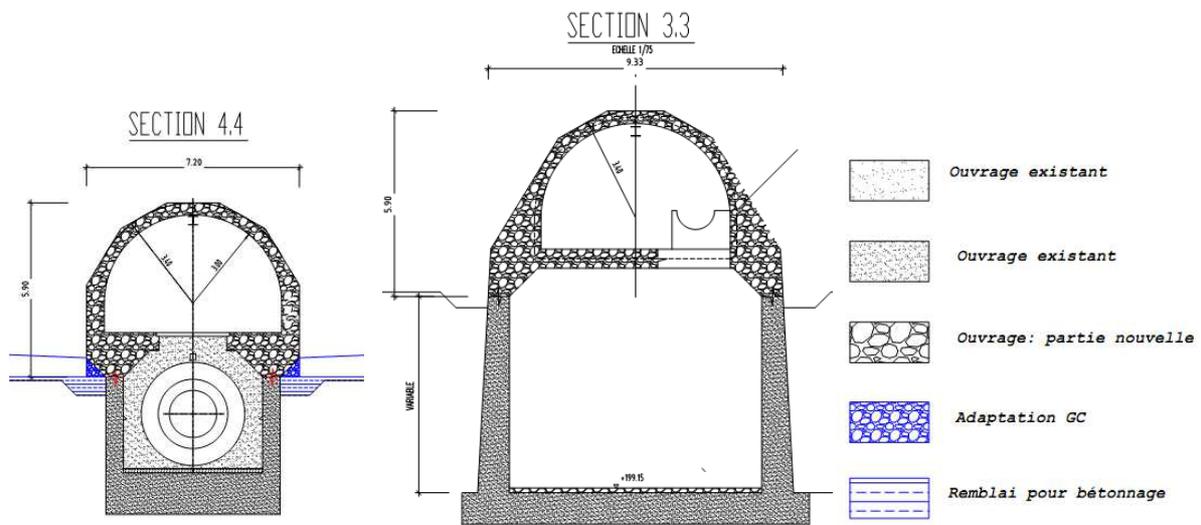


Figure 6 : Tête aval – Coupes de l'ouvrage

2.3.2 Les terrassements

En phase « conception », les études géotechniques portant sur le barrage existant et sur les zones d'emprunt ont conduit à prescrire essentiellement des contraintes d'exécution.

Ces précautions et spécifications particulières d'exécution sont édictées sommairement ci-après:

- Mise en œuvre des matériaux de la nouvelle recharge aval à une teneur en eau comprise entre $W_{opt} - 1\%$ et $W_{opt} + 2\%$;
- Contrôle en temps réel de la pression interstitielle du barrage existant à l'aide d'un réseau de 9 cellules à corde vibrante;
- Limitation des cadences de montée du remblai aux valeurs suivantes :

par jour	par semaine	par mois
2 couches	3,00 m	8 m

3. LE RETOUR D'EXPERIENCE DU CHANTIER

3.1 Reprise sur l'ouvrage de restitution

Cette reprise a consisté à un découpage à la scie diamant de la structure existante en éléments manutentionnables. Les épaisseurs maximales de voile découpé ont été de 80 cm. A partir des plans de récolement de l'ouvrage tant en plan de coffrage qu'en plan de ferrailage, le projet a précisé les cotes de sciage permettant de retrouver une section de béton armé suffisante pour une reprise.



Photo 1 : Reprise au droit des voiles : Découpage et Scellement des attentes

Après repiquage de la surface sciée pour permettre une reprise béton ancien – béton frais, les armatures pour attente ont été scellées à l'aide de produit de scellement à base de liant hydraulique de norme NF. Trois tests d'arrachage non destructifs ont été menés avec succès sur ces attentes.

L'exécution de la structure a pu ensuite être menée de façon classique, un mortier de collage étant mis en œuvre au droit de la reprise. La complexité de l'exécution tant au coffrage qu'au ferrailage a été liée à la variation des sections de béton de la voûte.



Photo 2 : Tête aval : Détail de coffrage de la voûte

Pour reprendre les efforts apportés par la nouvelle structure sur la section en U du bassin de dissipation, il a fallu renforcer son radier. Les travaux ont du être menés à l'abri d'un batardeau, et ont consisté en un repiquage de la surface à reprendre, aux scellements de 1 200 attentes HA 12 à croiser après mise en œuvre d'une nappe d'armatures. S'en est suivi le bétonnage d'une dalle de 15 cm à l'aide d'un béton adjuvanté.

3.2 Quelques points délicats du chantier « terrassement »

Si les contraintes de mise en œuvre de remblais avaient bien été identifiées dans le marché de travaux, certains points ont nécessité une approche de chantier dans un dialogue Maîtrise d'œuvre – Entreprise.

3.2.1 Raccordement du tapis drainant en fond de vallée

Exécuté en zone courante sous la forme d'un tapis tri-couche Sable – gravier – géotextile, nos anciens ingénieurs avait anticipé les difficultés de raccordement en réalisant en pied aval, zone de futur raccordement, un véritable tri couche sable-gravier-sable.

Le travail minutieux de raccordement du tapis tricouche a consisté, après un premier déblai, à tailler le talus à l'aide d'une pelle équipée d'un godet de curage, et ainsi terrasser en marche d'escalier découvrant successivement la première couche de sable, puis celle de gravier et enfin la couche sous-jacente de sable. Le raccordement avec le nouveau tapis a consisté à faire coïncider lors de la mise en œuvre au bull les nouvelles couches avec les anciennes.

Des procédures d'exécution de l'entreprise à la réalisation, un travail minutieux a été entrepris :

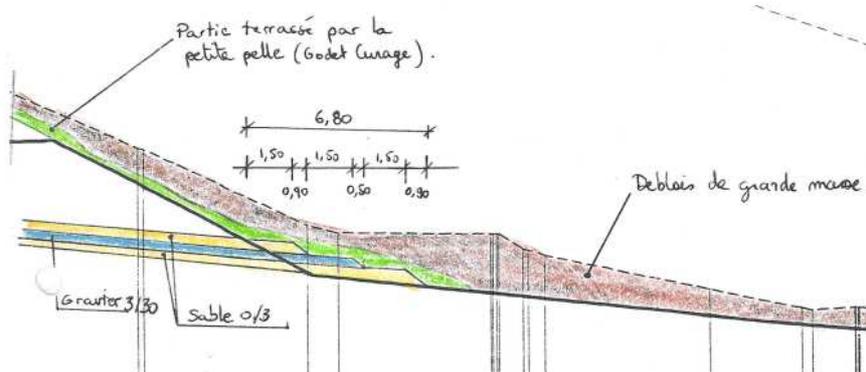


Figure 7 : Travaux préparatoires pour le raccordement du tapis drainant existant : en fond de vallée



Photo 3 : Travaux préparatoires pour le raccordement du tapis drainant existant : en fond de vallée

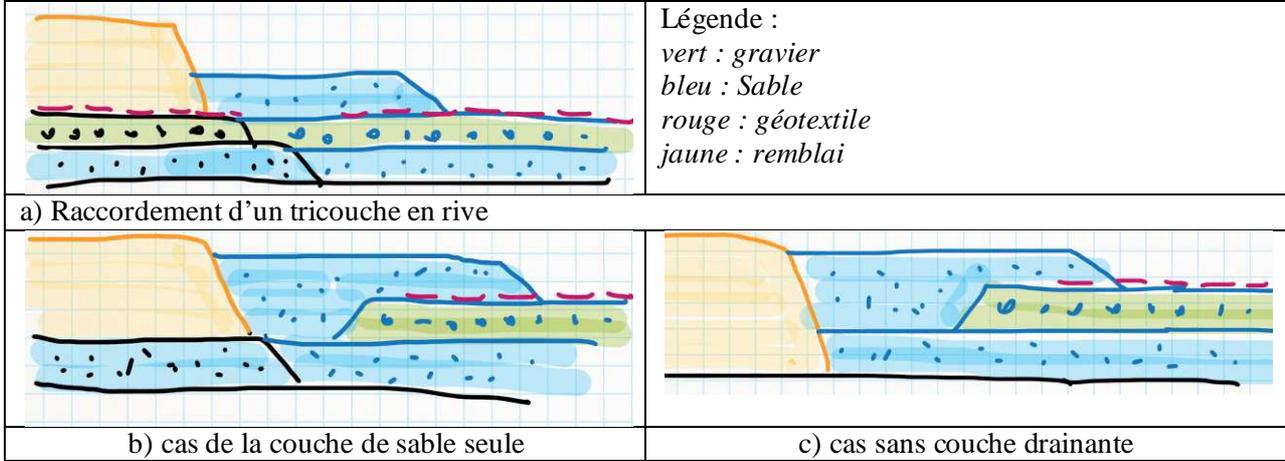
Les contrôles principaux ont porté :

- Sur les granulométries et notamment celle du gravier drainant avant et après mise en œuvre, s'assurant ainsi du respect des spectres granulométriques sans ségrégation majeure. En cas de détection de zone de ségrégation, il a été procédé à la purge des secteurs incriminés.
- Sur la géométrie : épaisseur et raccordements à l'ancien, qui a nécessité localement des adaptations.

3.2.2 Raccordement du tapis drainant en rive

En rives, quelle a été la surprise de découvrir dans la zone de raccordement du tapis tricouche un géotextile en zone supérieure. Si le sable supérieur de la zone « fond de vallée » avait rendu aisé le découplage remblai-tapis, la présence du géotextile en partie adhérent au remblai a rendu la tâche complexe pour les zones de rive. La difficulté a été de dégager le géotextile sans le blesser et de prévoir des solutions de secours.

Les diverses configurations nous ont conduit à des consignes d'exécution adaptées.



Figures 8: Diverses typologies des raccords



Photo 4 : Difficulté de conserver un géotextile sain

3.2.3 Raccordement de la protection amont

L'histoire de la protection du parement amont de ce barrage est marquée par des travaux modificatifs. Conçu initialement en béton bitumineux, comme pour les ouvrages des Grands Lacs de Seine, ce n'est qu'après de gros désordres suite à la tempête du 7 novembre 1982 qu'a été mise en œuvre une couche d'engrènement.

Dans le projet de surélévation, deux objectifs devaient être atteints :

- La continuité de la protection en engrènement ;
- Une condition de filtre de la couche support des engrènements.

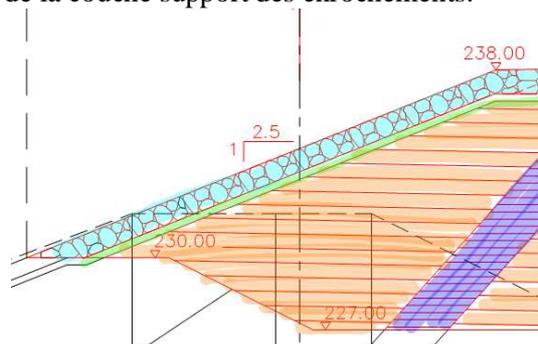


Figure 9 : Raccordement – extrait du plan de projet

En phase chantier, l'incapacité de faire élaborer par les carriers les matériaux pour la couche support a nécessité l'adaptation du projet. Le choix s'est porté sur la mise en œuvre d'un géotextile bicouche : anti poinçonnement et filtre. Un travail particulier du raccordement en a découlé. Pour réaliser une superposition ancienne couche de bitume et géotextile, un nettoyage manuel du raccordement a été nécessaire.

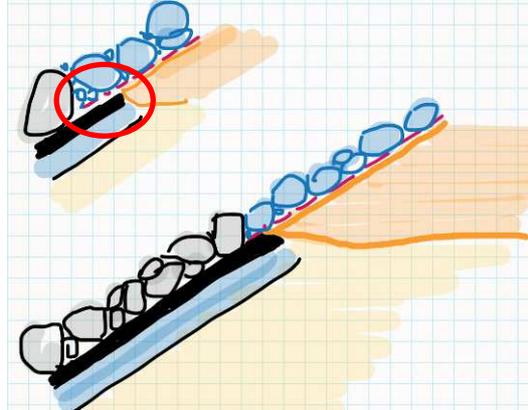


Figure 10: raccordement avec détail



Photo 5 : Protection amont en enrochement : Pose sur géotextile et nettoyages manuel du raccordement

3.3 Un des aléas de l'exécution des parois moulées

Lors de l'exécution des parois moulées (figure 4), il est apparu rapidement que les boues de forage se chargeaient rapidement en éléments très fins. Les dessableurs et désilteurs ne suffisaient plus à régénérer les boues, et la centrifugeuse pour extraire les éléments polluants argileux ne pouvaient avoir un rendement compatible avec le chantier. Il a fallu rapidement trouver des solutions de stockage des boues polluées sous forme de bassins de décantation et convaincre le maître d'ouvrage de les installer en dehors des zones prévues pour les installations.



Photo 6 : Le premier bassin créé

4. CONCLUSIONS

Dans le cas d'une surélévation d'un ouvrage en remblai, le retour d'expérience sur le comportement de l'ouvrage de base permet d'intégrer de nouvelles dispositions techniques telles que la mise en œuvre de couche anti-retrait sur le talus aval et le choix de parois moulées pour étancher les appuis en remplacement d'une solution "voile d'injection".

En phase d'exécution, les adaptations ont porté sur la gestion du traitement de points singuliers et notamment sur les raccordements du dispositif de drainage au droit du tapis drainant tri-couche et de la protection amont.

Ce que nous retiendrons de ces travaux portent sur les deux volets : conception et exécution.

- Nous nous sommes rendu compte, comme cela est souvent le cas, de l'imprécision des plans de récolement qu'ils soient de génie civil ou de terrassement. Il est alors nécessaire en phase étude mais aussi en phase préparatoire de chantier d'essayer de collecter de nouvelles informations permettant d'anticiper les contraintes pour la phase de production.

- La pertinence du choix d'une supervision à Pied d'œuvre mobilisant un personnel *décisionnel* tant du point de vue technique que financier. Ainsi la recherche anticipée de solutions techniques permettant de traduire les plans d'exécution et de les adapter aux réalités du terrain a permis de gérer ce chantier sans arrêt des échelons de production facilitant la maîtrise financière.