

RETENUE D'ALTITUDE DE L'ADRET DES TUFFES : UNE ÉTANCHÉITÉ PAR DOUBLE GÉOMEMBRANE INTÉGRALEMENT EN GÉOSYNTHÉTIQUES

ADRET DES TUFFES' RESERVOIR : A DOUBLE GEOMEMBRANE SEALING SYSTEM INTEGRALLY MADE OF GEOSYNTHETIC PRODUCTS

François DELORME¹, Alexandre LOCHU¹, Pierre KRAEMER¹, Alberto SCUERO², Gabriella VASCHETTI², Sylvain PROST³, Piergiorgio RECALCATI⁴

¹ EDF-CIH, Le Bourget du Lac, France

² Carpi Tech SA, Chiasso, Suisse

³ SLEG, Ambérieu-en-Bugey, France

⁴ TENAX, Vigano, Italie

RÉSUMÉ – La sensibilité à l'eau de certains terrains rencontrés en fondation de ce réservoir destiné à la production de neige artificielle pour la station des Arcs (Savoie), a rendu nécessaire la mise en place d'une double étanchéité, associée à un double drainage. Une variante innovante des entreprises a permis de remplacer les couches de drainage granulaire spécifiées en solution de base, par des géocomposites drainant, tout en respectant les contraintes de frottement imposées par le Maître d'Œuvre pour assurer la stabilité des matériaux de couverture sans mise en traction des géomembranes. Le contrôle qualité poussé exercé pendant la mise en œuvre des 60 000 m² d'étanchéité a permis de respecter largement les limites de fuite contractuelles durant la mise en eau partielle effectuée à l'automne 2008.

Mots-clés : étanchéité, géomembrane, géocomposite, géodrain

ABSTRACT – The water-sensitivity of a part of this reservoir foundation, intended for the production of artificial snow of the Arcs ski resort (France), required installing a double total geomembrane sealing system, associated with a double draining system. An innovative alternative proposed by the Contractors allowed replacing the granular draining layers specified in initial design, with draining geocomposites, while matching the friction requirements of the Engineer in order to ensure the stability of the cover layers without causing any tension in the geomembranes. The extensive quality control carried on during the realization of the 60 000 m² of geomembrane sealing system allowed fully respecting the contractual leakage levels when the reservoir was partially filled in the beginning of 2008 fall.

Keywords: sealing, geomembrane, geocomposite, geodrain

1. Présentation de l'ouvrage

La retenue d'altitude de l'Adret des Tuffes, dont la construction s'est achevée à l'automne 2008, est un ouvrage de stockage d'eau destiné à la production de neige artificielle pour le domaine skiable des Arcs, en Savoie. D'une capacité utile de 400 000 m³, c'est à l'heure actuelle la plus grande retenue du genre en Europe. Son implantation, à une altitude de 2 200 m, et en amont des stations d'Arc 2000 et 1950, a par ailleurs conduit les services de l'Etat à solliciter sur l'ouvrage l'avis du Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH), garant de sa bonne conception vis-à-vis de la sécurité publique. Dans ce contexte, le Maître d'Ouvrage – la Société les Montagnes de l'Arc (SMA) – a confié en février 2006 la mission complète de Maîtrise d'Œuvre au Centre d'Ingénierie Hydraulique d'EDF (EDF-CIH).

La retenue est créée par surcreusement d'une dépression naturelle et mise en remblai des matériaux morainiques extraits sur deux digues, l'une de 21,7 m sur fondation faisant barrage à l'aval, l'autre de 10 m sur fondation faisant pare-blocs et paravalanche à l'amont. L'étanchéité des digues est assurée sur leur parement amont par un Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane (DEG), si bien que les remblais assurent simplement une fonction de résistance mécanique. La perméabilité relativement importante des terrains en place nécessite par ailleurs la prolongation du DEG des digues sur l'ensemble de la surface du réservoir. D'autre part, il se trouve que cette retenue se situe dans un contexte géologique très particulier, au droit d'une zone de contact géologique régional (non active) entre formations du Lias (micaschistes) et du Trias (dolomies, cargneules). La sensibilité à l'eau et l'érodabilité des cargneules et altérites de cargneules ont conduit le Maître d'Œuvre à prévoir le doublement de l'étanchéité sur ces terrains, afin de s'assurer que les fuites éventuelles de l'étanchéité principale seraient intégralement

recueillies par le système de drainage (entre les deux étanchéités), et ne pourraient en aucun cas alimenter la fondation et conduire à un risque d'érosion interne. La complexité géométrique du contact, mise en évidence lors des reconnaissances en 2006, puis confirmée sur une plus grande échelle encore lors de l'ouverture des fouilles en 2007 (présence de chicots, de chevauchements, de franges fortement tectonisés, de karsts) a conduit à recommander ce principe de la double étanchéité de manière systématique, y compris sur les zones en remblai où, bien que non indispensable, elle apporte également une sécurité supplémentaire. Cette sensibilité de la fondation a également conduit le Maître d'Œuvre à prévoir un revêtement complet du double DEG, notamment vis-à-vis du risque de perforation par la glace lors du marnage hivernal de la retenue. Les surfaces concernées représentent environ 15 000 m² pour le fond du réservoir et 45 000 m² sur les talus.

2. La conception de base du double DEG

Pour l'étanchéité principale, le Maître d'Œuvre a spécifié une géomembrane en PVC en raison de ses qualités mécaniques, de sa facilité de mise en œuvre, et de sa possibilité de contre-collage sur géotextile. Conformément aux recommandations de la CIGB (bulletin 135 en cours de parution), une épaisseur de 2 mm a été spécifiée pour ce matériau.

L'étanchéité principale est surmontée d'un géotextile anti-poinçonnant la protégeant de la couche de couverture de 30 cm de graviers 0/30 mm, elle-même protégée de l'action du battillage et de la glace par 50 cm d'enrochements 30/400 mm (sur les talus).

Le drainage de l'étanchéité principale est effectué sur toute la surface par une couche de 15 cm de graviers 0/30 mm. Un géotextile anti-poinçonnant placé sous la géomembrane principale permet de la protéger de l'agressivité du drain granulaire. La collecte des fuites est organisée en pied de talus et suivant des épis sur le fond, par des tuyaux en PEHD annelés perforés. La surface du réservoir est découpée en 6 zones de collecte indépendantes, débouchant dans le local des vannes au pied aval du barrage principal. La présence d'une étanchéité secondaire intégrale permettant de s'assurer de l'exhaustivité de la collecte des fuites, le système de drainage joue par conséquent également un rôle essentiel dans le dispositif d'auscultation.

L'étanchéité secondaire, d'une épaisseur minimale spécifiée de 1,2 mm, est protégée du poinçonnement de la couche de drainage de l'étanchéité principale et du support sur chaque face par un géotextile. Selon la perméabilité de la fondation, le support de l'étanchéité secondaire est constitué soit d'une simple couche de forme en matériaux fins (zones naturellement perméables de type cargneule), soit d'une couche drainante de 15 cm de graviers 0/30 mm posée sur un géotextile de filtration, permettant d'éviter le développement de sous-pressions alimentées par des nappes de versants situées dans les terrains morainiques. Les zones bénéficiant d'un drainage secondaire sont équipées de collecteurs (en pied de talus) permettant d'assurer l'exhaure des eaux captées à l'aval du barrage principal.

Concernant la stabilité sur talus du DEG, la conception retenue par le Maître d'Œuvre, et approuvée par le CTPBOH, consiste à assurer la stabilité de la couverture en reprenant les sollicitations tangentielles dues au poids des matériaux, par frottement sur chaque interface, jusqu'à la fondation. Ainsi, d'une part les géomembranes ne sont pas sollicitées en traction et n'assurent donc qu'une fonction d'étanchéité, d'autre part le DEG ne nécessite pas d'ancrage en tête.

Par ailleurs, afin d'éviter toute mise en traction accidentelle des géomembranes, le Maître d'Œuvre a spécifié en plus un deuxième critère de dimensionnement, qui impose que le coefficient de frottement le plus faible du complexe corresponde à l'interface supérieure de la géomembrane principale, avec une marge de 3 ° au minimum par rapport aux autres interfaces.

Afin de pouvoir obtenir un coefficient de sécurité de l'ordre de 1,5 en conditions statiques à l'interface la plus critique, le fruit des talus a été fixé à 3 H/1V, ce qui se traduit par la nécessité d'un angle de frottement supérieur à 26 ° entre la face supérieure de la géomembrane PVC et son géotextile anti-poinçonnant. En solution de base, le second critère de dimensionnement a été respecté en spécifiant un contre-collage du géotextile de protection inférieur sur la sous-face de la géomembrane principale, et un contre-collage des géotextiles de protection de la géomembrane secondaire sur chaque face.

Le double DEG complet de la solution de base spécifiée à l'appel d'offres est représenté sur la figure 1 ci-après.

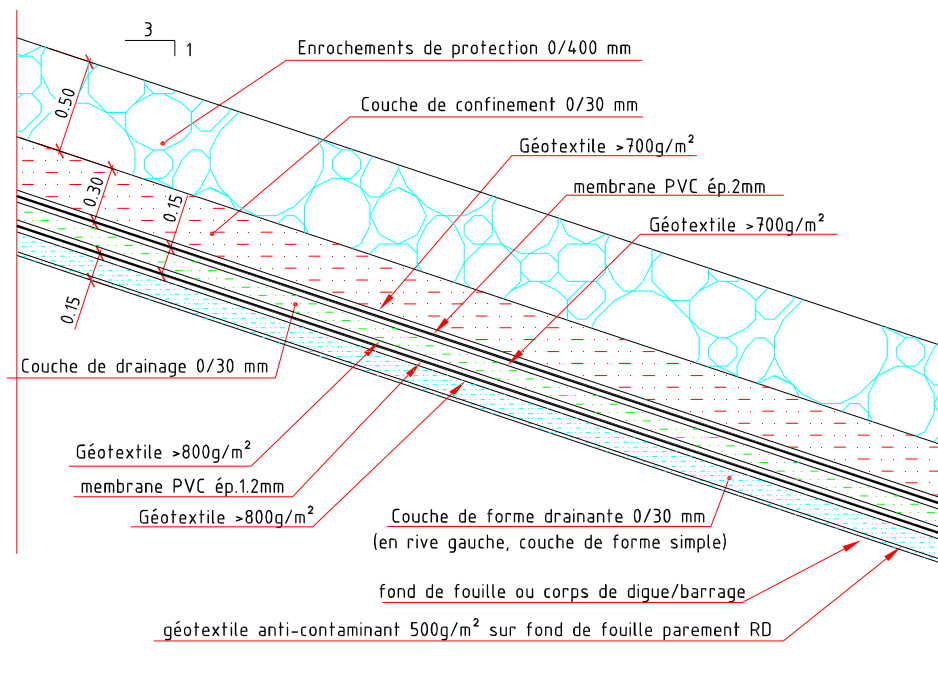


Figure 1- Solution de base du double DEG sur talus

3. La variante "Entreprise", basée sur un drainage par géosynthétiques

Le lot étanchéité du marché de travaux a été attribué en 2007, sur cette solution de base, au groupement d'entreprises CARPI / SLEG. La difficulté prévisible de mise en œuvre des deux couches de drainage granulaires de 15 cm, avec le risque associé d'endommagement des géomembranes, ainsi que l'économie potentielle sur l'élaboration des granulats, ont incité par la suite le groupement à proposer une variante remplaçant ces deux couches granulaires par des géocomposites drainants produits par la société italienne TENAX.

Le géocomposite drainant principal, le TDP 700/140/1, est constitué d'une géogridde contre-collée sur un géotextile de 140 g/m² (Figure 2). Il a la particularité de présenter des picots sur la face supérieure de la grille, lui conférant un excellent coefficient de frottement au contact du géotextile inférieur contre-collé en usine à la géomembrane principale.

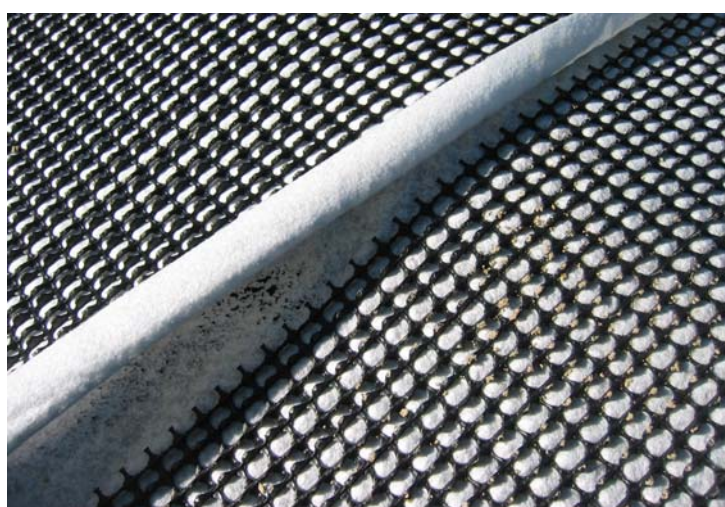


Figure 2- Géocomposite drainant TDP 700/140/1

À l'interface inférieure du géocomposite drainant, c'est à dire au contact de la géomembrane secondaire, le respect du second critère de dimensionnement nécessite l'obtention d'un frottement plus élevé qu'à l'interface supérieure de la géomembrane principale, PVC vs géotextile. La solution a été trouvée par le groupement en substituant la géomembrane secondaire en PVC par une géomembrane

en VLDPE (Polyéthylène très basse densité), la MST/MSB produite par la société AGRU, présentant un état de surface structuré, plus frottant que celui des différentes géomembranes PVC disponibles sur le marché. Cette membrane MST/MSB étant micro-structurée (Micro-Spike) sur chacune de ses faces (Top et Bottom), elle permet également un frottement suffisant contre le géocomposite drainant secondaire, le Tendrain 750/2, constitué d'une géogrille à trois fils croisés superposés, contre-collée en usine sur chaque face à un géotextile de 120 g/m². Le complexe complet est présenté sur la figure 3.

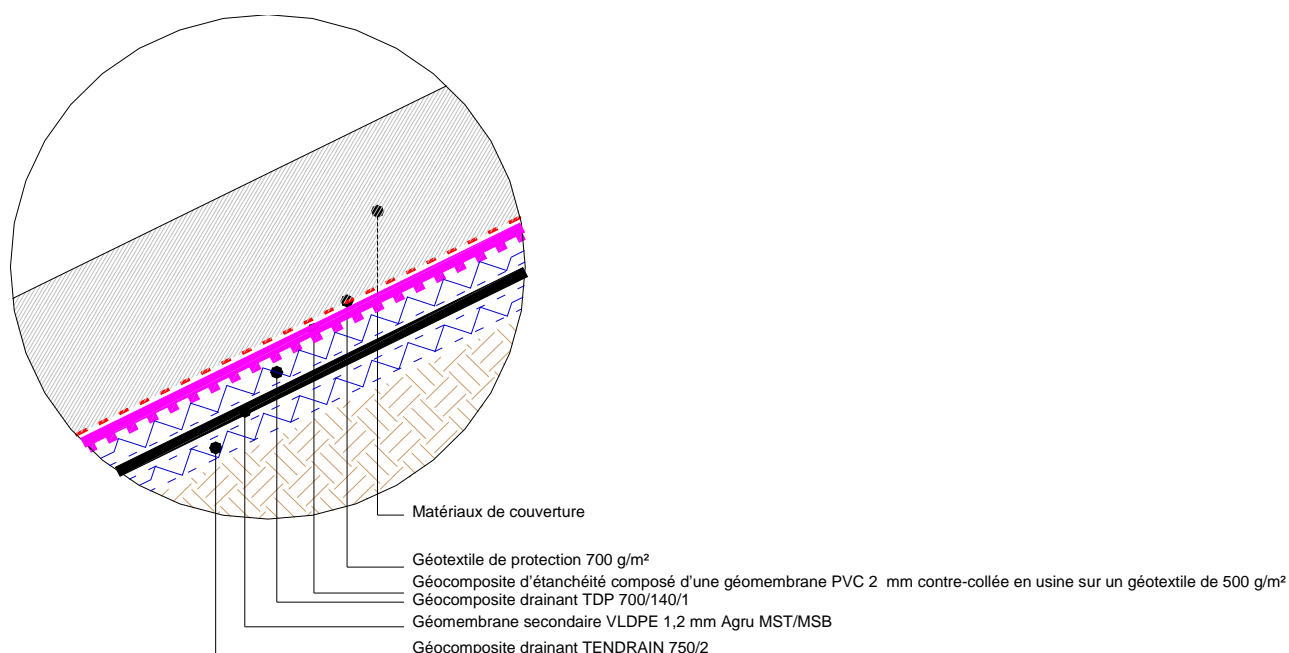


Figure 3- Solution variante du double DEG sur talus

Sur le fond, le géocomposite drainant secondaire, le Tendrain 750/1, est constitué d'une géogrille contre-collée sur sa face inférieure à un géotextile de 120 g/m². La géomembrane secondaire en VLDPE est lisse sur ses deux faces ; le géocomposite drainant principal, le CE 750, est constitué d'une simple géogrille à deux fils ; la géomembrane principale n'est pas contre-collée à un géotextile et repose directement sur la géogrille CE 750.

Cette solution supprime totalement le drainage granulaire, sauf en enrobage des tuyaux collecteurs. Les tranchées dans lesquelles ces derniers prennent place sont équipées de chaussettes en géotextile permettant d'éviter tout poinçonnement des géomembranes.

Du point de vue de la capacité de drainage, ces géocomposites drainants répondent aux exigences issues du dimensionnement validé par le CTPBOH, données d'une part par le débit de fuite total à évacuer en fonction d'hypothèses sur le nombre et la taille des trous de l'étanchéité, et d'autre part par les conditions de vidange rapide. Cette adéquation a été démontrée notamment par des essais hydrauliques spécifiques réalisés par le laboratoire du producteur, en suivant le protocole de la norme ISO 12958, mais en plaçant les géocomposites drainants en « contexte », c'est à dire entre les géocomposites d'étanchéité prévus, et non entre deux surfaces rigides. Ces essais ont montré par exemple une perte de capacité d'un facteur supérieur à 2 sur le TDP 700/140/1 entre l'essai standard et l'essai en « contexte », du fait de la perte d'espace créée par la pénétration du géotextile contre-collé à la géomembrane principale à l'intérieur des picots de la géogrille.

Afin de justifier de la stabilité au glissement de cette variante, le Maître d'Œuvre a par ailleurs exigé que les caractéristiques de frottement de chaque interface mise en jeu soient déterminées à partir d'essais de cisaillement, en conditions sèches et humides pour les interfaces le justifiant. Pour cet ouvrage, l'intervalle de variation de la contrainte normale appliquée variant de 5 à 170 kPa le long des talus, ces essais n'ont pas pu être entièrement réalisés sur plan incliné, qui ne permet guère en effet de dépasser des contraintes de l'ordre de 15 à 20 kPa. Bien que moins représentatif des conditions réelles de sollicitation des géosynthétiques, l'essai direct de cisaillement à la boîte a donc été utilisé pour les contraintes supérieures à 20 kPa, la contrainte normale de 20 kPa servant de point de comparaison entre les deux méthodes.

Afin de fiabiliser les caractéristiques retenues pour le calcul, les essais ont été effectués en parallèle par le laboratoire du producteur des géocomposites drainants, et par les laboratoires du CEMAGREF de

Bordeaux pour le plan incliné, et d'Aix en Provence pour la boîte. Concernant les essais sur plan incliné, l'équipement situé à Bordeaux présente l'avantage d'offrir une surface d'essai de 1 x 1 m², plus représentative que celle de 0,3 x 0,3 m² de l'équipement mis en œuvre par le producteur.

Pour chaque interface, une courbe intrinsèque a ensuite été établie sur la base de l'ensemble des résultats, en conservant pour chaque type d'essai les résistances au cisaillement les plus faibles obtenues entre les deux laboratoires. La valeur de 20 kPa commune aux deux types d'essais donnant par ailleurs systématiquement des valeurs différentes, les courbes présentent donc une discontinuité non physique à 20 kPa, qui est toujours du côté de la sécurité (baisse de la résistance au cisaillement par rapport à l'essai de référence). Le premier segment de la courbe passe par l'origine et est défini uniquement par un angle de frottement. Le deuxième segment est défini par un angle de frottement et une « cohésion » numérique.

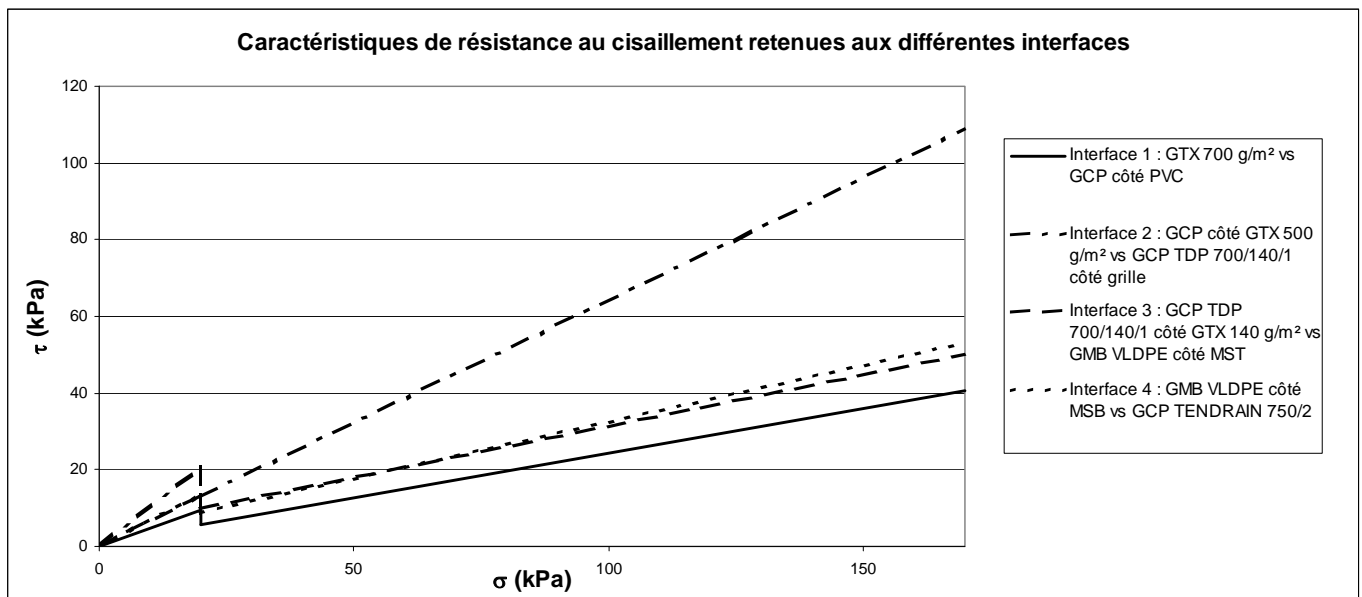


Figure 4- Courbes intrinsèques des différentes interfaces de la variante

Les courbes intrinsèques retenues étant bilinéaires (Figure 4), les critères de dimensionnement présentés initialement au CTPBOH ont dû être développés légèrement car ils ne peuvent plus être exprimés directement en termes d'angle de frottement. La méthode consiste en fait à démontrer qu'en tout point du DEG :

- la résistance au cisaillement de l'interface supérieure est au moins de l'ordre de 1,5 fois plus élevée que la sollicitation tangentielle induite par le poids de la couverture ;
- la marge de résistance au cisaillement des autres interfaces par rapport à celle de l'interface supérieure est d'au moins 14 %

$$\left(\frac{\tan(26 + 3)}{\tan(26)} = 1,14 \right)$$

Le graphique suivant (figure 5) présente l'évolution de la sollicitation tangentielle et de la résistance au cisaillement le long d'un talus. La première discontinuité correspond à celle des courbes intrinsèques. La seconde correspond au déjaugage intervenant sous le niveau de l'eau pour l'interface située au-dessus de l'étanchéité principale.

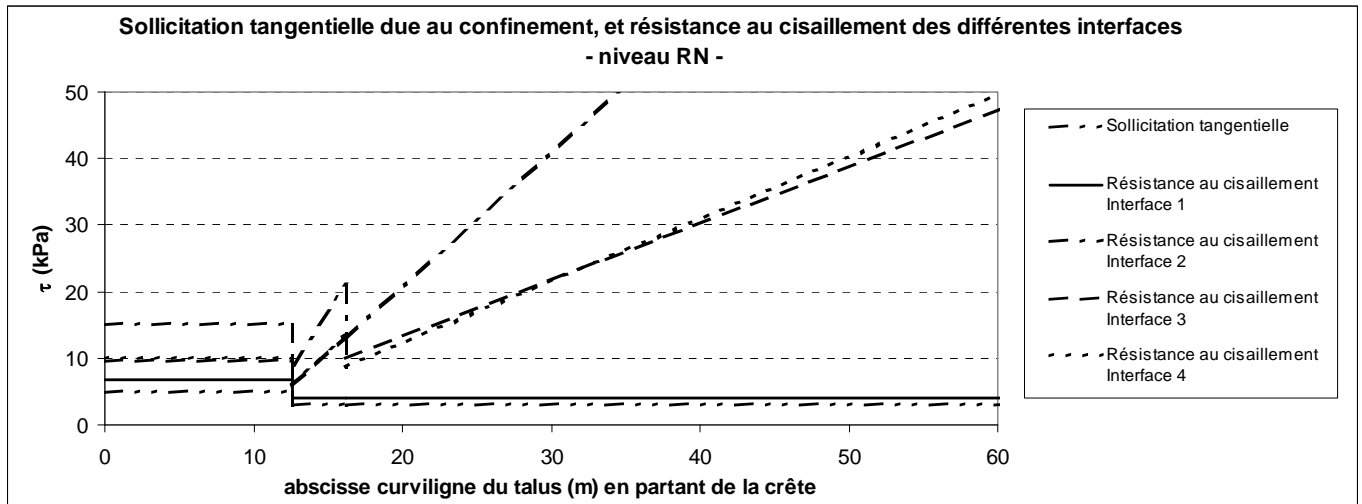


Figure 5. Résistance au cisaillement mobilisable le long d'un talus

Le graphique de la figure 6 présente l'évolution du coefficient de sécurité au glissement le long d'un talus, pour chaque interface. On note que le coefficient de sécurité le plus faible est de 1,4.

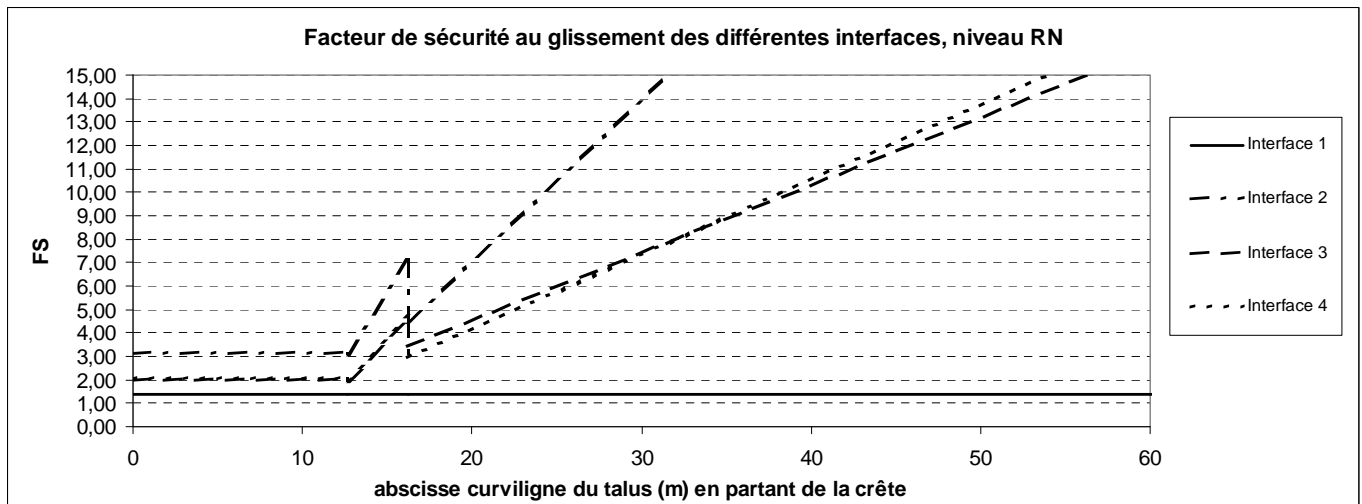


Figure 6. Facteurs de sécurité le long d'un talus

La stabilité de ce complexe a également été démontrée par le groupement au travers de planches d'essai, réalisées sur site à l'automne 2007. Ces planches d'essai ont permis de tester in situ la solution de base et la variante sur des longueurs réelles de talus, soit environ 60 m. Pour chacune des solutions, deux planches ont été réalisées, l'une avec risberme intermédiaire permettant de recouper le talus en deux pour faciliter la mise en œuvre des couches granulaires, et l'autre sans risberme. Les solutions avec risberme ont été rapidement abandonnées du fait du danger et de la difficulté induits pour les poseurs et soudeurs par les ruptures de pente, sans pour autant apporter un réel avantage en terme de facilité de mise en œuvre des couches granulaires (approvisionnement des matériaux difficile).

Les planches ont permis de mettre en évidence le caractère « fusible » de l'interface supérieure, qui est la seule à avoir connu des mouvements, provoqués par des sollicitations dynamiques difficilement évitables lors de mouvements « brusques » de pelles. Cette constatation a amené à prévoir la mise en œuvre d'une lyre en crête de talus sur le géotextile de protection supérieur de la géomembrane principale.

En ce qui concerne le poinçonnement, les planches d'essai ont mis en évidence une absence totale de marques dues aux granulats sur la géomembrane principale de la variante, tandis que la géomembrane était relativement marquée dans la solution de base (bien qu'aucune perte d'épaisseur n'ait été mesurée par la suite sur les essais en laboratoire).

Les planches ont enfin mis en évidence la tendance des géomembranes en VLDPE à faire des plis du fait des fluctuations quotidiennes de température. Cependant, des essais en laboratoire ont montré

l'absence de fissure après un cycle de 10 pliages/dépliage réalisés sous une température de 4 °C, selon la norme EN 495-5.

In fine, fort de tous ses résultats présentés sous forme d'un dossier d'agrément adressé au service de contrôle par le groupement sous couvert du Maître d'Œuvre, la variante proposée par les Entreprises a été retenue par le Maître d'Ouvrage pour étancher les 60 000 m² du réservoir.

4. Mise en œuvre

La mise en place du complexe d'étanchéité a été réalisée sur une période de 3 mois durant l'été 2008.

Elle a demandé la mise en œuvre d'un phasage précis des travaux pour pouvoir être réalisée correctement et dans les temps. On peut citer par exemple la réalisation des drains de pied de talus (Figure 7). Cet atelier nécessite en effet les interventions successives de nombreuses équipes différentes pour être mené à bien :

- Terrassiers réalisant le fossé de pied de talus ;
- Équipe de VRD mettant en place le drain secondaire (matériaux granulaires et collecteur à l'intérieur d'une chaussette en géotextile) ;
- Étancheurs réalisant le complexe d'étanchéité secondaire ;
- Équipe de VRD mettant en place le drain primaire (matériaux granulaires et collecteur à l'intérieur d'une chaussette en géotextile) ;
- Étancheurs réalisant le complexe d'étanchéité primaire ;
- Terrassiers mettant en place les couches de couverture.

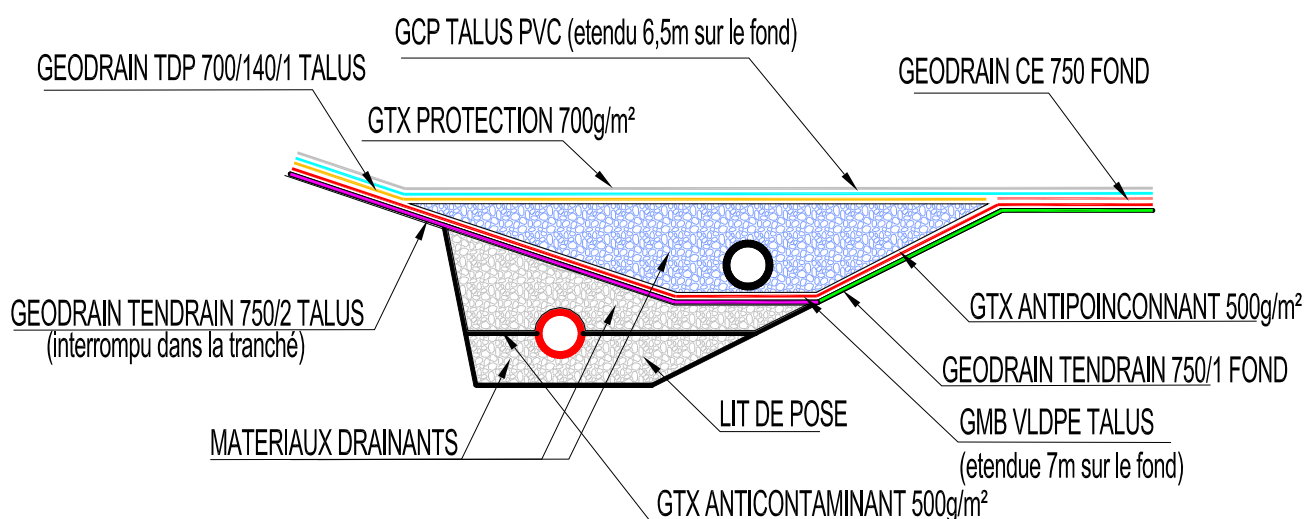


Figure 7- Facteurs de sécurité le long d'un talus

La protection des surfaces mises en place devant être faite rapidement, une forte coordination et une forte réactivité de ces différentes équipes étaient nécessaires afin de minimiser les « temps morts » où les surfaces étaient laissées à l'air libre. Une équipe de VRD a donc été détachée à la réalisation « à l'avancement » de ces différents drains afin de s'adapter aux cadences des équipes d'étancheurs, ce qui a permis de réaliser l'ensemble de l'étanchéité du bassin dans les délais impartis.

La réalisation des différents terrassements liés à la mise en place du D.E.G. a nécessité l'utilisation de techniques spécifiques pour assurer le respect de la qualité et des délais. Une grande partie de ces terrassements a été réalisée grâce à des pelles mécaniques guidées par G.P.S. Ce système novateur mis en place par le groupement titulaire du lot terrassement (entreprises BIANCO, GUINTOLI, BENEDETTI, EHTP, RAZEL) consiste à installer sur l'engin un système de positionnement G.P.S. permettant au conducteur de connaître en temps réel et avec une précision centimétrique, la position du godet par rapport au projet. L'utilisation de cette technique a permis une réalisation précise et rapide des différentes couches de couverture, mais aussi un réglage très fin de la couche de support. Elle a également permis d'éviter durant tout le chantier les agressions accidentelles de la membrane par les pelles mécaniques, en permettant au chauffeur de connaître la position relative de son outil par rapport à

elles. Des consignes strictes ont d'ailleurs été appliquées tout au long du chantier pour éviter les agressions de membranes par les pelles :

- Réalisation d'une surépaisseur des couches de couverture, depuis le bas du talus en remontant, pour permettre le roulement des pelles sur les talus et éviter le poinçonnement des membranes (surépaisseur enlevée par la suite en redescendant) ;
- Interdiction des déplacements transverses ou diagonaux des pelles sur les talus pour limiter les efforts dynamiques et le poinçonnement sur les membranes. Il est à noter qu'aucun glissement de l'interface supérieure n'a ainsi été constaté durant le chantier : ceci est aussi lié au fait que, sur les planches d'essais, la pelle circulait sur une bande de largeur limitée (environ 6 m) alors que sur le chantier, les sollicitations dynamiques générées par les pelles étaient réparties sur une surface beaucoup plus importante (couverture mise en œuvre sur plus de 10 m de part et d'autre de la pelle lors des travaux) ;
- Réalisation quasi-systématique d'une couche de forme pour assurer une bonne assise, homogène malgré la grande variété des terrains rencontrés, et une non-agression des membranes par la fondation. Elle a été réalisée par substitution du terrain en place par des matériaux fins (quartzite disponibles sur le site) sur le fond du bassin, et par passage d'un broyeur « casse-caillou » sur les talus, permettant d'obtenir une surface non agressive en brisant et en enfouissant les cailloux dans le sol.

Durant ces 3 mois, les équipes ont dû faire face à des difficultés de mise en œuvre spécifiques à la haute altitude de ce chantier. On peut citer, sans être exhaustif, les points suivants :

- Les fortes variations de températures spécifiques à la saison d'été en haute altitude (pouvant atteindre une vingtaine de degrés dans une même journée) ont produit sur le VLDPE des séries de dilatations et rétractations importantes. Ces variations ont entraîné la présence de plis dans la membrane (voir figure 8), pouvant empêcher sa soudure, mais également la présence de surtensions apparaissant lors du refroidissement des membranes. La mise en place des lés de VLDPE a donc eu lieu aux heures les plus « tempérées » de la journée afin de minimiser l'apparition postérieure de plis et de surtensions, et les soudures ont été réalisées le plus rapidement possible après la mise en place des lés afin d'en faciliter la réalisation. Cette procédure a ainsi permis la réalisation de soudures de bonne qualité et a évité l'apparition de surtensions nocives pour les membranes.
- Les vents violents typiques à cette altitude ont entraîné l'arrachage de plusieurs lés de VLDPE en tout début de chantier, malgré la mise en place d'un dispositif de lestage qui s'est avéré insuffisant. Durant tout le chantier, une attention toute particulière a donc été portée à ce point, et chaque couche posée était immédiatement et lourdement lestée, notamment à l'aide de big-bags en crête.
- Les intempéries violentes spécifiques au milieu montagnard (orages, grêle...) ont entraîné à plusieurs reprises un ravinement des talus du support réglés finement par passage du casse-caillou. Là encore, une bonne coordination entre les équipes de terrassiers et de soudeurs a été la clé permettant de minimiser le temps d'exposition de ces surfaces, et donc de minimiser les dégâts dus aux intempéries.



Figure 8. Plis dans la membrane VLDPE exposée au soleil

D'autres difficultés, spécifiques aux chantiers d'étanchéité, sont apparues au cours des travaux et ont dû être résolues :

- Au début du chantier, le géotextile de protection de l'étanchéité primaire s'est révélé comporter en son sein de nombreuses aiguilles métalliques (agressives et de taille centimétrique) provenant des machines d'aiguilletage du manufacturier. Elles auraient pu agresser la membrane PVC en contact avec ce géotextile, bien que des essais en laboratoire demandés par le Maître d'Œuvre aient montré que le risque était relativement limité, notamment en raison du fait que ces aiguilles incluses étaient plutôt parallèles au géotextile. Ces aiguilles ont été détectées au cours d'une inspection visuelle de contrôle alors que de nombreux lés de ce géotextile avaient déjà été mis en place. Une inspection soigneuse (recherche visuelle, puis au détecteur de métaux, puis de nouveau recherche visuelle) a été réalisée pour retirer toutes les aiguilles des lés déjà mis en place. Le manufacturier a également modifié sa chaîne de production pour tenter de remédier à ce problème, mais cela n'a eu que peu d'effet puisque des aiguilles étaient encore présentes dans les nouveaux lots de géotextiles livrés après modification. Un contrôle poussé de chaque lé de géotextile mis en place a donc dû être maintenu tout au long du chantier afin de s'assurer qu'il était exempt de ces aiguilles.
- Le fond du bassin ayant été réalisé en dernier pour assurer l'évacuation des eaux, il a fallu raccorder des membranes fraîchement posées à des membranes posées plusieurs jours voire semaines auparavant. Ces raccordements ont posé de nombreux problèmes de soudure : les membranes plus anciennes étaient très rigides et nécessitaient un nettoyage très fin et relativement long avant soudage. L'expérience des soudeurs et la vigilance du Maître d'Œuvre ont été la clé de la réalisation correcte de ces raccords.
- Les raccordements sur l'ouvrage béton en fond de bassin intégrant la prise d'eau de la vidange de fond ont également présenté des difficultés. En effet, cette zone a été raccordée en dernier afin de permettre l'évacuation gravitaire de l'eau du réservoir le plus longtemps possible. Pour réaliser les soudures et les raccordements à cet endroit, il était prévu de mettre en place un pompage et d'obtenir ainsi une mise au sec de la zone, permettant la réalisation des soudures dans de bonnes conditions. Les intempéries de cette période et la configuration des membranes dans cette zone (plis nombreux dus aux raccordements « cône » sur plan dans les angles, recouvrements) ont toutefois perturbé la réalisation correcte de cette mise à sec, ce qui a rendu très difficiles les soudures à cet endroit.

Une attention toute particulière a été par ailleurs portée au suivi de la qualité durant les travaux.

En amont, le Maître d'Œuvre avait demandé que chaque soudeur intervenant sur le chantier possède la qualification ASQUAL. De plus, chaque machine de soudure était étalonnée sur un banc certifié, avant chaque reprise d'atelier et en tenant compte des variations rapides de la température ambiante, afin de s'assurer de la qualité des soudures réalisées.

Les soudures entre lés de membranes étaient réalisées par machine de soudure automatique à air chaud ou à fer chaud. L'utilisation de ces machines permet la réalisation de deux bandes de soudures séparées par un canal non soudé. Le test de l'étanchéité de ce type de soudures consiste à mettre sous pression d'air ce canal (voir figure 9) : si elle ne présente pas de fuite lors de ce test à l'air, la soudure est acceptée, et si elle présente une fuite, la soudure est reprise et réparée. Sur le chantier de l'Adret des Tuffes, 100 % des soudures réalisées ont été testées par le groupement en charge de l'étanchéité.

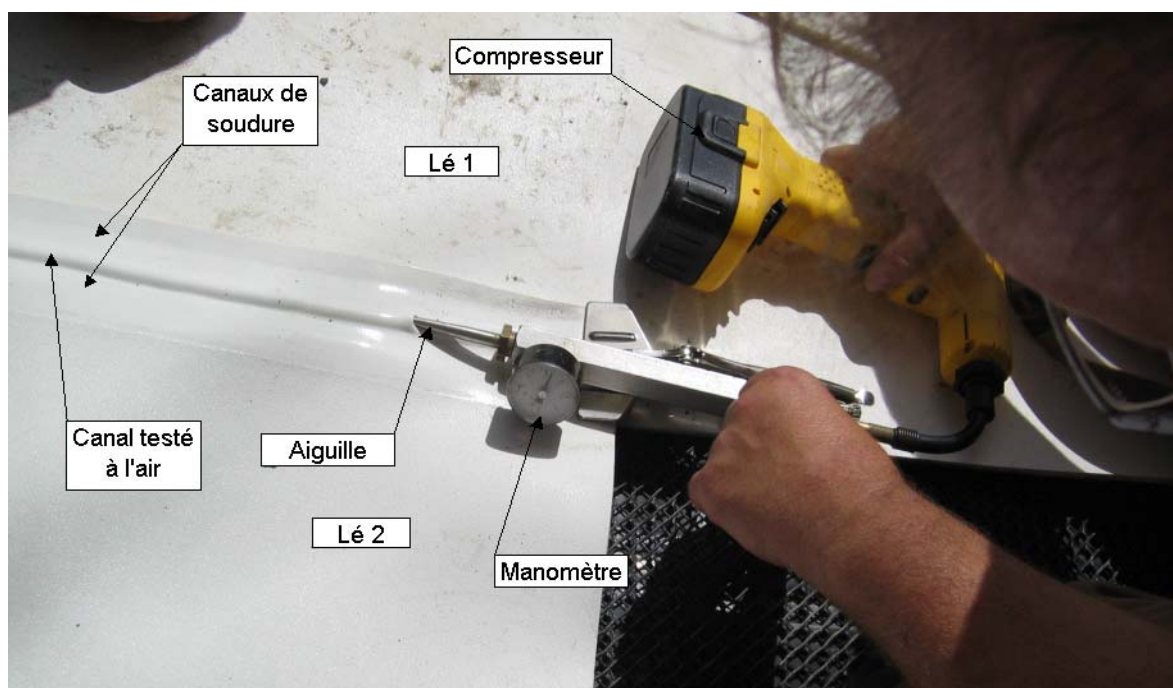


Figure 9. Essai à l'air comprimé d'une soudure sur membrane PVC

L'ensemble des points singuliers de l'étanchéité (points triples, réparations de type « rustine »...) a été contrôlé par cloche à vide, en présence d'un représentant du Maître d'Œuvre.

Ainsi, grâce à cette présence permanente du Maître d'Œuvre, et à un contrôle qualité interne poussé du groupement CARPI / SLEG, 100 % des soudures et des points singuliers ont pu être contrôlés durant la réalisation de la retenue. Le contrôle qualité a également été soigneusement réalisé en ce qui concerne les autres étapes de la mise en place du D.E.G. (réception des surfaces de pose, réception des fournitures...).

5. Mise en service

Une mise en eau partielle de l'ouvrage (par manque d'apport lors de cette phase) s'est déroulée à l'automne 2008. Elle a permis dans un premier temps de stocker 130 000 m³ dans la retenue (soit 1/3 de son volume total et la moitié de sa hauteur). C'est alors que le contrôle qualité poussé réalisé durant les travaux et le soin apporté à la résolution des problèmes rencontrés pendant le chantier ont pu montrer leur bonne efficacité : les débits de fuites totaux observés n'ont pas dépassé 3 l/min, soit 5 % du débit de fuite total maximal admissible pour l'ouvrage (60 l/min). Seuls 2 des 6 drains ont donné un débit (Q4 collecte les fuites de la digue amont et Q3 de la rive gauche du bassin entre les deux digues).

On trouvera ci-dessous (figure 10) la courbe donnant les débits de fuite de la retenue en fonction de la cote. On peut noter l'apparition d'un phénomène de « colmatage » (visible tout particulièrement sur la courbe du débit de fuite Q3). En effet, au début de la mise en eau, le débit de fuite semblait croître avec la charge d'eau, comme supposé dans les hypothèses de dimensionnement. Cependant, à partir de la cote 2 200 NGF, on assiste à une baisse de ce débit de fuite et donc au colmatage de la fuite dans la

membrane. Ce phénomène peut être dû d'une part à l'accumulation de fines (provenant des couches de couverture) dans la fuite, ce qui peut tendre à la colmater, et d'autre part à l'augmentation de la pression qui peut conduire à « plaquer » les membranes l'une contre l'autre et donc à diminuer la section de passage. Ces résultats mettent en évidence que le dimensionnement hydraulique du réseau de drainage est bien du côté de la sécurité car il suppose une augmentation de ces débits de fuites tout au long du remplissage, sans prendre ce phénomène de « colmatage » en compte.

Un peu avant d'atteindre la cote 2 204 NGF, un défaut localisé a été rencontré qui a conduit à une alimentation notable de 0,5 l/min dans le collecteur Q3. Celui-ci s'est rapidement arrêté probablement sous l'effet de l'augmentation de la pression d'eau.

Le drain Q4 a un comportement singulier puisqu'il montrait un débit au tout début de la mise en eau (évacuation possible d'une partie de l'eau stockée entre les deux membranes pendant les intempéries durant la fin de la pose du DEG) alors que la zone de la digue amont était hors d'eau. Il s'agit probablement d'un petit défaut au niveau du raccordement du collecteur avec la prise d'eau, mais qui n'évolue pratiquement pas et avec un « captage » possible des fuites faibles collectées par Q3 à proximité de cette zone de raccordement.

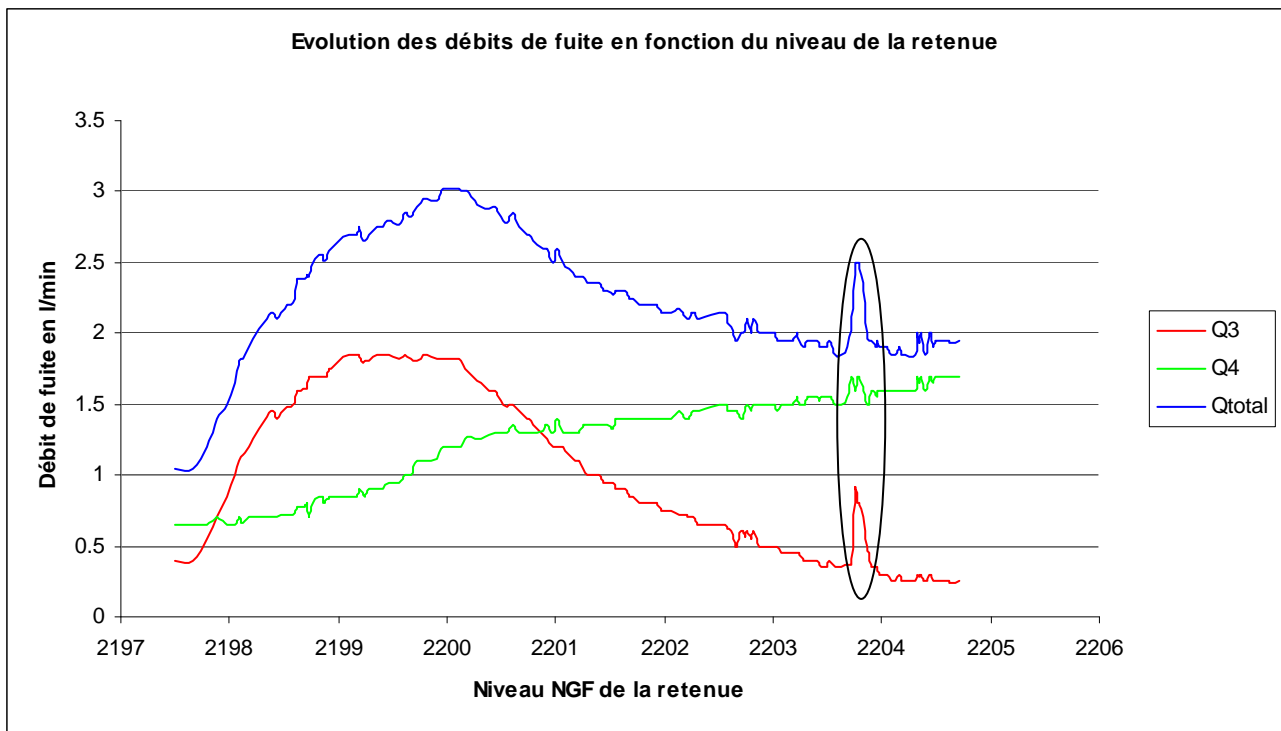


Figure 10. Évolution des débits de fuite en fonction du niveau de la retenue

Le comportement général de l'ouvrage a donc été très satisfaisant durant cette première mise en eau partielle. L'étanchéité de la moitié supérieure sera quant à elle testée lors de la mise en eau complète, au printemps 2009, mais la qualité de réalisation obtenue sur les zones les plus critiques (raccordement talus/fond et raccordement à l'ouvrage de prise), qui sont déjà en eau, ne laisse pas présager de difficulté particulière pour cette dernière phase.



Figure 11- La retenue de l'Adret des Tuffes à la fin de la mise en eau partielle le 25/10/2008