

RÉSERVOIRS D'EAU POTABLE – ÉTANCHÉITE INTÉRIEURE ET EXTÉRIEURE PAR GÉOSYNTHÉTIQUES

DRINKING WATER TANK – INTERNAL ET EXTERNAL SEALING WITH GEOSYNTETICS

Sébastien MATTLIN, Agru Environnement, Perpignan, France
Denis SAVOYE, Altereo, Clermont-Ferrand, France
Carine CASTELLI, Altereo, Toulouse, France

RÉSUMÉ – La ville d'Albi a décidé de procéder, à partir de 2016, à des travaux de réhabilitation des réservoirs de stockage d'eau potable enterrés de Lavazière. Le site comprend deux cuves, R1 et R2, construites en 1886 de 2000 m³ de capacité unitaire et deux cuves, R3 et R4 construites en 1947 de 3000 m³ de capacité unitaire. Les géosynthétiques ont trouvé une application à la fois en termes d'étanchéité intérieure et en termes d'étanchéité de couverture. Concernant le revêtement d'étanchéité intérieure des cuves R2 et R3, le choix s'est porté sur un système thermoplastique avec attestation de conformité sanitaire. Ce système, sous forme de plaques, est plébiscité depuis de nombreuses années pour sa facilité d'installation et d'entretien ainsi que son excellente résistance au chlore. Concernant, l'étanchéité des couvertures, le choix s'est porté sur une étanchéité de type parapluie sous remblai, constituée d'une géomembrane de bitume élastomère spécifique aux ouvrages enterrés et disposée entre deux géotextiles de protection.

Mots-clés : réservoirs, réhabilitation, étanchéité, plaques, géomembrane.

ABSTRACT – The city of Albi decided to proceed, from 2016, to rehabilitation work on the underground drinking water storage tanks of Lavaziere. The site includes two tanks, R1 and R2, built in 1886 of 2000 m³ of unit capacity and two tanks, R3 and R4 built in 1947 of 3000 m³ of unit capacity. Geosynthetics have found application both in terms of interior waterproofing and in terms of roof waterproofing. Regarding the interior sealing coating of the R2 and R3 tanks, the choice fell on a thermoplastic system with health conformity certificate. This system of plates is acclaimed for many years for its ease of installation and maintenance as well as its excellent resistance to chlorine. Regarding the waterproofing of the roofs, the choice fell on an umbrella type waterproofing under backfill, consisting of an elastomeric bitumen geomembrane specific to buried structures and placed between two protective geotextiles.

Keywords: tanks, rehabilitation, sealing, plates, geomembrane.

1. Le contexte

La ville d'ALBI possède sur le site de Lavazière au sud de l'agglomération, quatre cuves de stockage d'eau potable enterrées surmontées deux par deux, d'une enceinte murée. Deux cuves ont été construites en 1886 et deux autres cuves ont été construites en 1947.

Les cuves de 1886 ont un radier et des murs poids construits en moellons jointoyés au mortier de chaux. Leurs piliers et leur couverture constituée de voûtes en arc de cloître sont en briques. Elles n'ont pas de revêtement d'étanchéité intérieur. Seul le radier et les murs poids avec une forme de toboggan à la base sont revêtus d'un mortier de liant hydraulique épais.

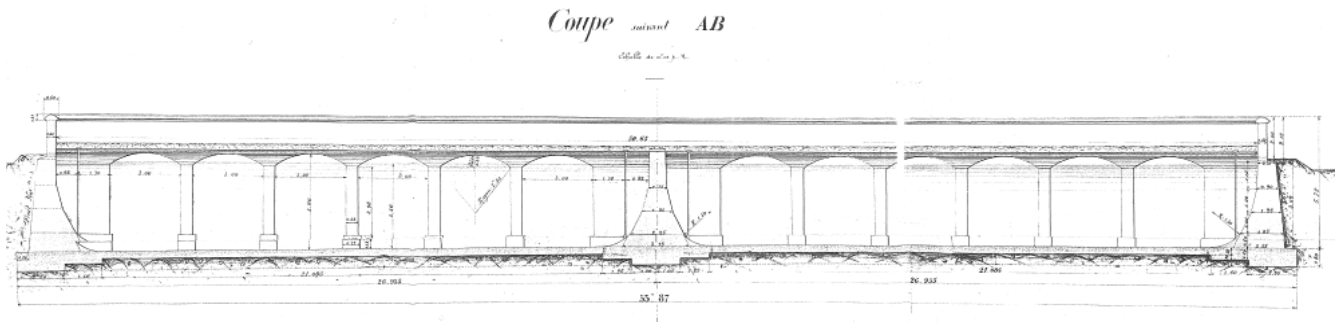


Figure 1. Coupe sur réservoir de 1886

Les cuves de 1947 ont un radier, des parois inclinées ou un mur poids de séparation, ainsi que des piliers construits en moellons jointoyés au mortier de chaux. La couverture, de type multi-voûtes est constituée de voûtes longitudinales juxtaposées réalisées en béton armé coulé en place. Les cuves n'ont pas de revêtement d'étanchéité intérieur. Le radier, les piliers et les parois inclinées sont entièrement revêtus d'un mortier de liant hydraulique épais.

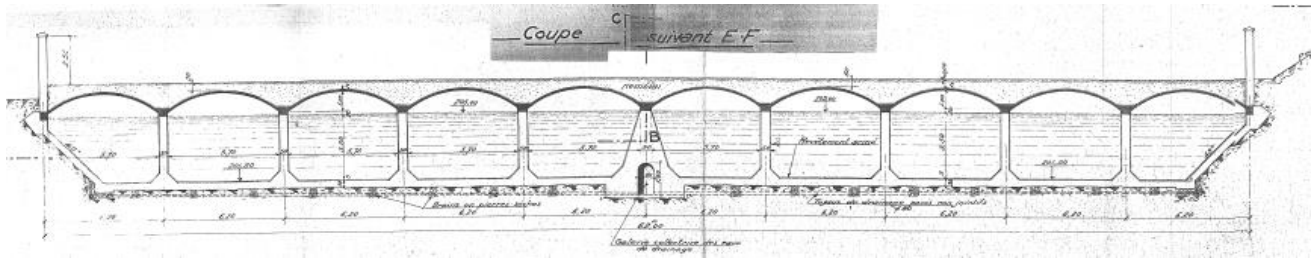


Figure 2. Coupe sur réservoir de 1947

Des fuites importantes, liées principalement à la fissuration des radiers et des murs poids ou parois inclinées à l'intérieur des cuves, ont été mises en évidence dans le cadre de l'exploitation. Ces fuites ont même conduit à la mise hors service temporaire de la cuve n°2 de 1886, avec un débit estimé de près de 50 m³/h.

De nombreuses traces d'infiltrations d'eaux météoriques et des pénétrations racinaires ont été également mises en évidence sur les couvertures voûtées en briques des cuves de 1886.

2. Études préalables

2.1. Diagnostic

Les quatre cuves ont fait l'objet d'un diagnostic approfondi des ouvrages, comprenant un examen visuel détaillé et une auscultation de structure ciblée. La cuve R3 de 1947 a fait en plus l'objet d'un diagnostic géotechnique ponctuel lié au tassement important d'un des angles qui a nécessité un confortement de sol par injection et la mise en œuvre de boulons d'ancrage dans la maçonnerie destinés à bloquer les déformations.

2.2 Solutions techniques préconisées

Les travaux de réhabilitation qui ont été définis portent sur :

- les réparations structurales ;
- le traitement des fissures par injection ;
- la mise en œuvre d'une étanchéité complète à l'intérieur des cuves ;
- la mise en œuvre d'une étanchéité complète sur les couvertures ;
- le remplacement et la modification de certains équipements comme les moyens permanents d'accès ou les équipements hydrauliques.

3. Étanchéité des cuves

3.1. Justification du choix technique

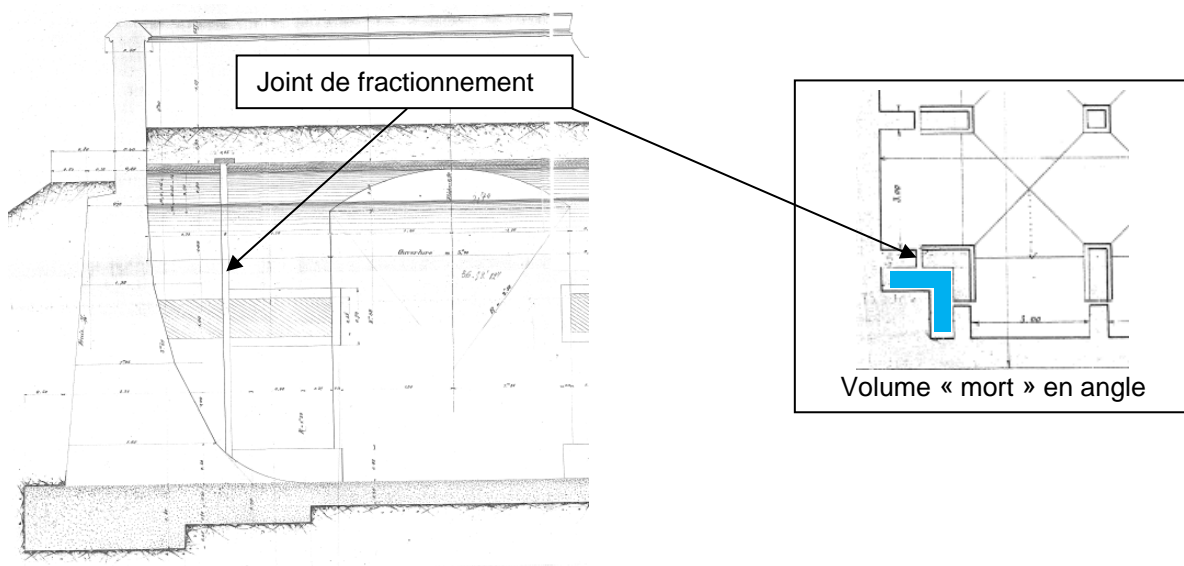
À l'époque, les différents systèmes de revêtement d'étanchéité disponibles sur le marché pour assurer l'étanchéité de cuves pour le stockage de l'eau destinée à la consommation humaine et disposant donc d'une attestation de conformité sanitaire (ACS), sont :

- les systèmes de liant de synthèse stratifiés (aujourd'hui CAD) ;
- les géomembranes ;
- les plaques ;

Les revêtements bi-composants projetés à chaud sont également en train d'émerger.

Le mode constructif des différentes cuves fait appel aux techniques de la maçonnerie. Cette donnée est essentielle car elle oriente les choix techniques.

Pour les cuves de 1886 en particulier, la conception de la cuve sous la forme d'une enceinte en mur poids et d'une couverture multi-voûtes en arc de cloître dissociée de ces murs poids génère un joint de fractionnement périphérique sur tous les piliers. Dans les angles, cela conduit à la création de volumes « morts » cachés par des piliers d'angle, comme le montre les extraits de plan ci-dessous. Ces zones inaccessibles génèrent un gros risque de sous-pressions.



Figures 3 et 4. Coupe et vue de dessus sur cuve de 1886 – Dispositif en angle

On note également de nombreux désaffleurements au niveau de ces joints et pour les quatre cuves, l'ensemble des supports en mortier hydraulique présentent une cohésion superficielle médiocre.



Figures 5 et 6. Cuve R2 de 1886 et cuve R3 de 1947

Face à cette situation et après étude des avantages et inconvénients des différents systèmes d'étanchéité, le choix technique de plaques en polyéthylène haute densité (PEHD) s'est imposé. C'est en effet le système qui offre les meilleures garanties de résultats au vu des différentes contraintes en présence.

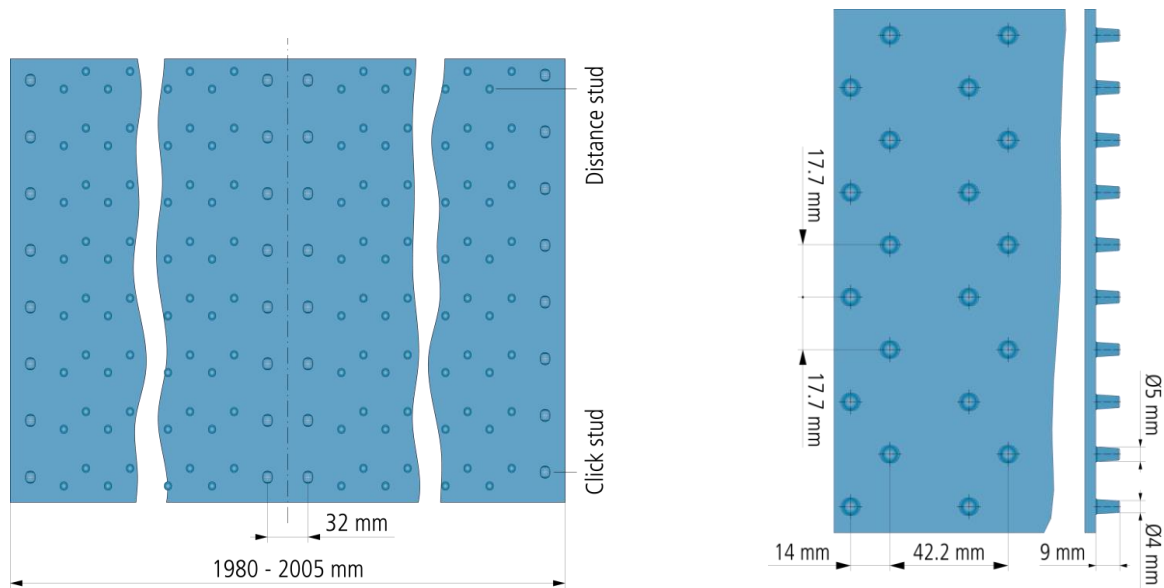
Pour des raisons économiques et d'homogénéisation, Altereo, maître d'œuvre, a proposé au niveau du projet que la totalité des quatre cuves soit traitée de la même manière.

3.2. Caractéristiques techniques du système

L'entreprise retenue a proposé le système Hydroclick commercialisé par AGRU Environnement France. Ce système est composé de plaques extrudées en PE80 bleu d'une épaisseur de 4 mm.

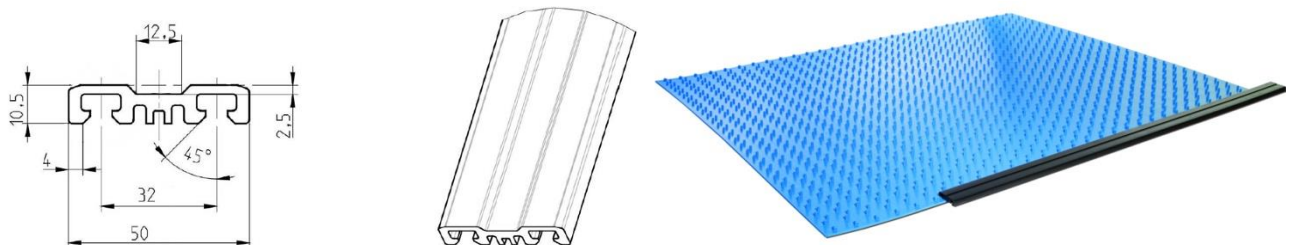
Les plaques sont fabriquées à l'aide d'une technologie d'extrusion utilisant une filière plate, raccordée à une lisseuse, dans un processus continu. La spécification de ce processus de production est que les picots d'écartement ainsi que les picots d'encliquetage avec la contre-dépouille nécessaire dans leur forme finale sont directement fabriqués lors de l'extrusion et non soudés ou formés ultérieurement.

Du côté lisse, un film de protection avec bord perforé est appliqué ; ce dernier empêche toute rayure et salissure durant la pose. Le grand nombre de picots d'écartement (env. 1400/m²) et leur forme spéciale d'une hauteur de 9 mm permet de garantir un espacement défini entre le béton et la plaque. Les picots d'encliquetage présentent une rangée à l'extérieur et deux rangées au centre des plaques.



Figures 7 et 8. Disposition des picots d'encliquetage et détail du bord

Les plaques sont découpées à la demande et clipsées en vis-à-vis sur des rails fixés mécaniquement aux ouvrages. Les plaques sont ensuite assemblées entre elles par des joints en PEHD extrudés.



Figures 9, 10 et 11. Morphologie des profilés et des plaques

La lame d'air continue d'environ 9 mm à l'interface avec le support présente un avantage indéniable dans le drainage des eaux d'infiltrations éventuelles qui parcourent la maçonnerie support. Cela réduit également fortement le risque de sous-press ce qui est fondamental dans le cas d'un revêtement

d'étanchéité indépendant (REI) et fixé mécaniquement comme celui-ci, dans un ouvrage totalement enterré.

Tableau 1. Caractéristiques physiques du produit

Caractéristiques	Normes	Valeurs	Unités
Tolérance de l'épaisseur	ISO 14632	±10	%
Masse volumique	ISO 1183	0,943	g/cm ³
Indice de fusion (MFR) 190°C - 5Kg	ISO 1133	0,4 – 3,0	g/10min
PROPRIETE MECANIQUES			
Résistance à la traction au seuil d'écoulement	ISO 527	≥ 12	MPa
Allongement au seuil d'écoulement	ISO 527	≥ 8	%
Allongement à la rupture	ISO 527	> 400	%
Résistance à l'effritement	ISO 179	+23	°C
Résistance à l'effritement	ISO 179	-30	°C
Test de Rockwell (sureté de pénétration)	ISO 2039-1	36	MPa
Résistance à la flexion (3,5% appliqué)	EN ISO 178	18	MPa
Module d'élasticité	EN ISO 527	750	MPa
PROPRIETES THERMIQUES			
Point de ramollissement Vicat VSB/B/50	ISO 306	63	°C
Température maximale d'utilisation	-	30	°C
Température de fléchissement sous charge HDT/B	ISO 75	60	°C
Coefficient linéaire de dilatation thermique	DIN 53752	1,8	K ⁻¹ .10 ⁻⁴
Conductivité thermique à 20°C	DIN 52612	0,4	W/(m x K)
Inflammabilité	UL94 - DIN4102 - EN13501	94 HB B2	-
PROPRIETES ELECTRIQUES			
Résistance volumique spécifique	VDE0303	> 10 ¹⁶	OHM cm
Résistance surfacique spécifique	VDE0303	> 10 ¹³	OHM
Constante diélectrique relative à 1MHz	DIN53483	2,3	-
Rigidité diélectrique	VDE0303	70	kV/mm
AUTRES PROPRIETES			
Non toxique physiologiquement	EEC 90/128 BGW	Yes	-
Stabilité UV	-	1 an	-
Couleur	-	Bleu RAL5012	-
Catégorie MRS	-	MRS8	MPa
Temps d'oxydation induit (OIT)	EN728	> 20	min

3.3 Modalités de préparation et de mise en œuvre

Une fois le contrôle qualité interne effectué, les lés sont découpés en plaques ou par défaut enroulés sur une bobine et enveloppés avec un film de protection. L'ensemble du matériel de montage doit être transporté, stocké et monté avec précaution. Il convient en particulier de veiller à ce que la surface des plaques ne soit pas endommagée ou rayée.

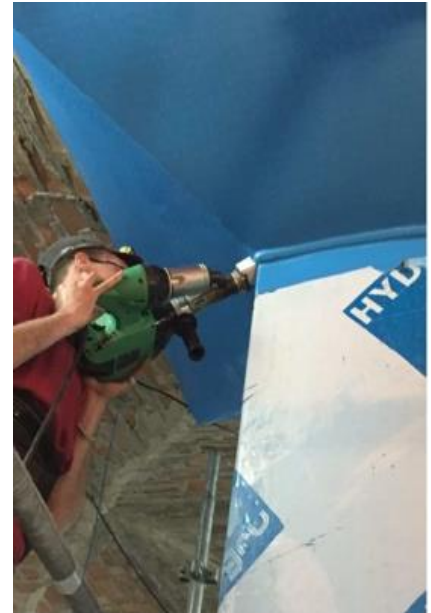
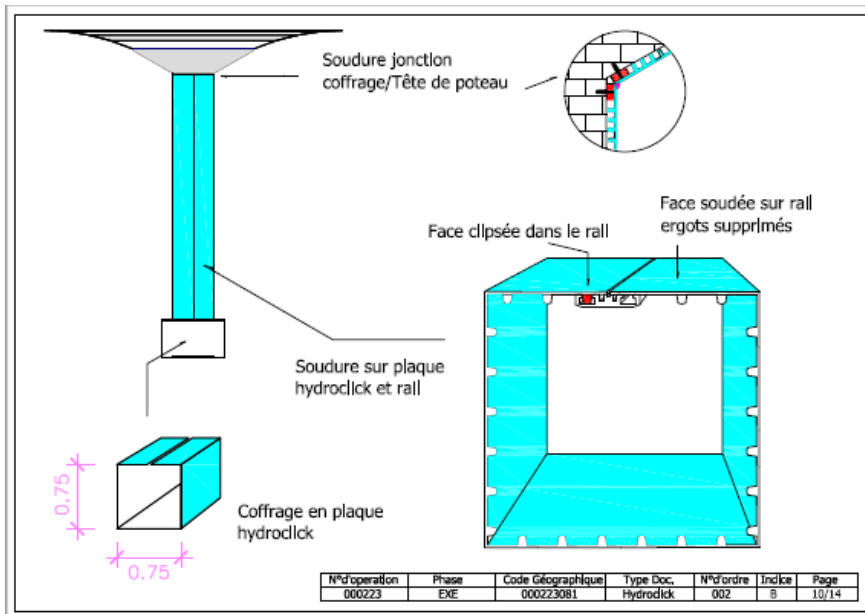


Figures 12, 13 et 14. Modalités de stockage, d'acheminement et de protection

Afin d'éviter toute absorption de chaleur ou de dilatation thermique, il convient en cas d'entreposage en extérieur, de mettre à l'abri les plaques et les rouleaux du rayonnement solaire direct. Cette précaution doit être prise en compte en particulier juste avant l'installation, sans quoi il est impossible d'atteindre la précision d'assemblage adéquate.

Avant de commencer le montage, une mise à la température ambiante des éléments découpés et préparés en extérieur, est primordiale et il convient de préparer et nettoyer soigneusement les supports.

La pose des plaques s'effectue sur le chantier, d'après un carnet de plans d'ensemble et de détails qui doit permettre de reconnaître la disposition des joints, l'emplacement de toutes les soudures. Une marque d'identification unique doit être attribuée à chaque soudure. Cette mesure permettra à l'installateur de documenter son dossier de récolement au moyen de rapports de soudage en lien avec le carnet de plans d'exécution.



Figures 15 et 16. Exemple de plan de détail et de soudure de sommier sur cuve de 1886

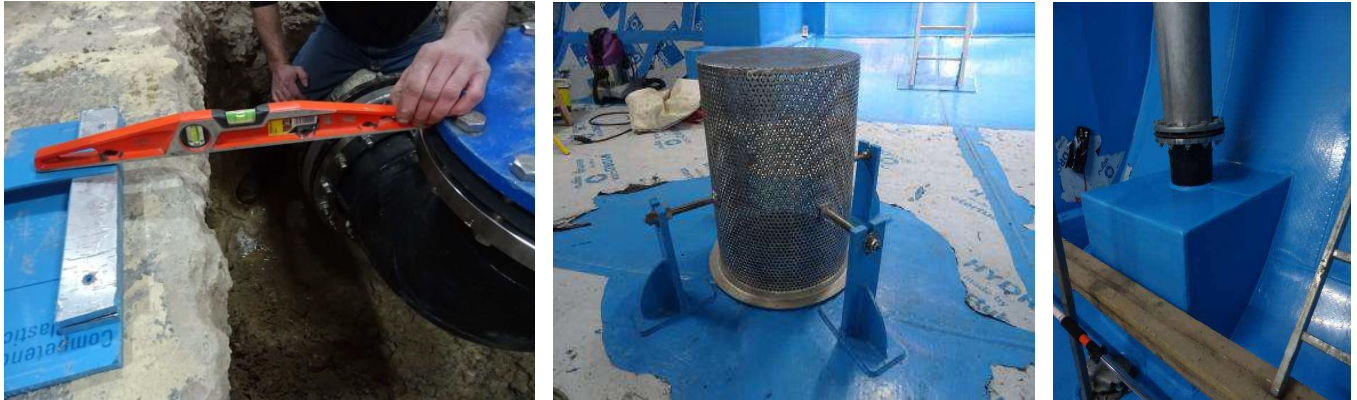
La formation des angles du réservoir et des piliers s'effectue de préférence par thermoformage. Cette technique de pose permet de compenser au mieux les tolérances de cote en matière d'angles et de dimensions.



Figures 17,18 et 19 – Illustrations des problématiques d'angles

Le traitement des points singuliers comme les traversées de parois par les canalisations, la fixation des moyens d'accès permanents, les formes de toboggan sur la base des murs poids périphériques ou les semelles et les sommiers des piliers ou encore les naissances des voûtes par rapport au niveau du trop-plein pour le R2, les embases de piliers sur le R3, ont été définies en concertation avec l'entreprise,

le fournisseur et la maîtrise d'œuvre, avec un niveau d'exigences très élevé, notamment en termes de détails, afin d'assurer le résultat. Malgré la très grande adaptabilité du système, des modifications ont été nécessaires sur les équipements existant afin de les rendre « revêtement compatibles ».



Figures 20, 21 et 22. Exemples de traitement de points singuliers (équipements hydrauliques)



Figures 23, 24 et 25. Exemples de traitement de points singuliers (moyens d'accès)

3.4 Contrôles de la réalisation

Les principaux contrôles prescrits par le maître d'œuvre portent sur :

- le contrôle des fournitures ;
- le respect du plan de calepinage ;
- la détermination de la résistance à l'arrachement des fixations des profilés ;
- le contrôle permanent des conditions d'ambiance ;
- le contrôle visuel de la totalité des parties courantes ;
- le contrôle visuel et au balai haute tension de la totalité du linéaire de joints ;
- l'essai d'étanchéité avec contrôle du débit à l'exutoire des eaux de drainage.

4 Étanchéité des couvertures

4.1 Justification du choix technique

Des sondages manuels révèlent que la couverture des réservoirs de 1886 dans l'emprise du mur maçonné est constituée d'une simple chape de ciment plus ou moins horizontale, recouverte par un remblai de plus de 0,40 m d'épaisseur renfermant quelques éléments grossiers.

Pour ce qui concerne les deux cuves de 1947, les sondages manuels révèlent que le remblai a directement été réalisé sur les voûtes, une chape en ciment recouvrant chaque extradoss. L'épaisseur du remblai est donc relativement importante en pieds de voûtes et plus faible en clé.



Figure 26 . Emprises couvertures – Sondages dans les remblais des cuves 1886 et 1947

Pour des questions de sollicitations sur les voûtes, le terrassement ne peut être entrepris qu'avec des moyens limités et dans tous les cas similaires à ceux utilisés pour l'entretien des espaces verts sur les emprises.

Le choix technique du maître d'œuvre se porte donc sur un système d'étanchéité de type « parapluie » avec une géomembrane, spécifiquement prévue pour les ouvrages enterrés. Cette solution semble également la plus économique. Au préalable, un reprofilage du remblai et un aménagement de plusieurs exutoires au-delà des murs d'enceinte est nécessaire.

Sur la base des prescriptions du maître d'œuvre, l'entreprise propose un système certifié ASQUAL composé d'un géotextile de protection non tissé aiguilleté en fibres de polypropylène, d'une membrane de bitume élastomère SBS puis d'un second géotextile de protection identique au premier. Les relevés sur les murs d'enceinte sont traités par des feuilles préfabriquées en bitume élastomère telles que prévues dans l'avis technique de la géomembrane.

4.2 Modalités de préparation et de mise en œuvre

La terre végétale est déblayée et mise en stockage avant réemploi. Le remblai est ensuite reprofilé. La figure 27 précise par exemple le profil de terrassement retenu pour les réservoirs de 1886.

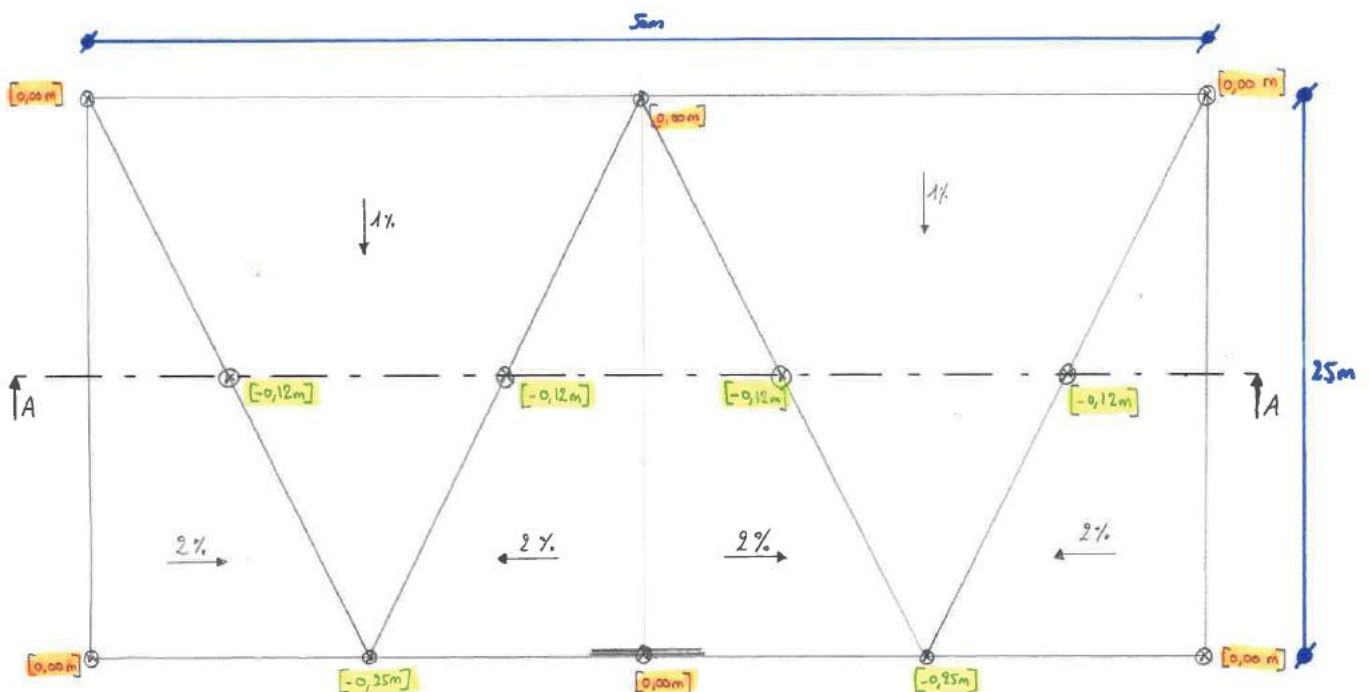


Figure 27. Plan de terrassements sur cuves R1 et R2 de 1886

Les lignes principales d'écoulement d'eau sont terrassees sous forme de fossés et reçoivent des drains reliés aux exutoires à l'extérieur des murs d'enceinte.



Figures 28 et 29. Terrassements emprises R1 et R2 – Profilage pour l'évacuation des eaux pluviales

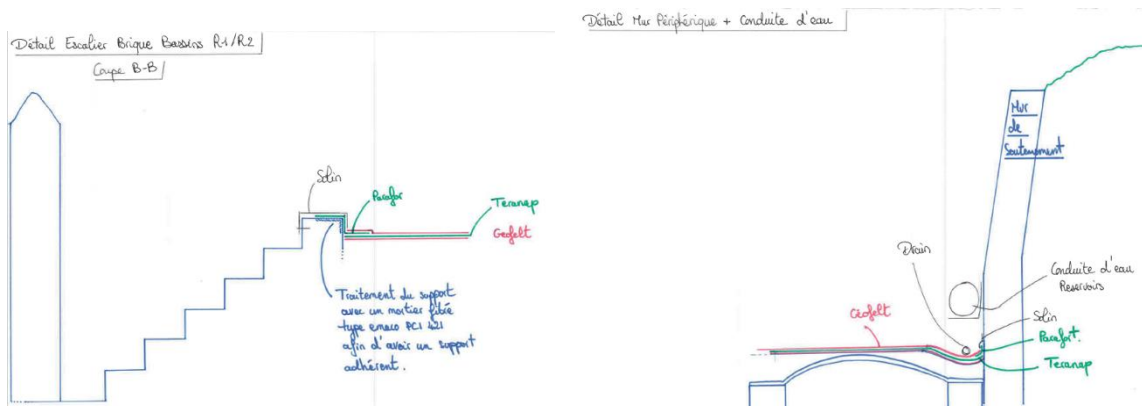
Les géotextile et géomembrane, livrés en rouleaux et suspendus par des élingues, sont mis en œuvre à l'aide d'une grue PL télescopique positionnée à l'extérieur des enceintes comme le montre la figure suivante :



Figure 30. Vue d'ensemble mise en œuvre étanchéité sur cuves R1 et R2

Les points singuliers sont nombreux et font chacun l'objet de plans de détail d'exécution. Ils concernent :

- les relevés sur les murs d'enceinte ;
- les relevés sur les édicules ou les lanterneaux ;
- les relevés sur les cheminées d'aération ;
- les raccords sur les seuils des portails ou des escaliers d'accès ;
- les raccords sur les exutoires d'eaux pluviales ...



Figures 31 et 32. Exemples de détails de raccordement
Raccordement sur escalier accès enceinte R1 et R2 – Raccordement sur mur d'enceinte R4

À l'intérieur des enceintes des réservoirs R1/R2 d'une part et R3/R4 d'autre part, sur le linéaire total des murs et sur une hauteur d'environ 40 cm au-dessus du TN après reprofilage, l'enduit existant est

retiré. Un nouvel enduit épais est rapporté et lissé pour permettre le collage en plein des relevés avec la maximum d'efficacité.



Figures 33, 34 et 35. Traitement des points singuliers

Afin d'éviter la détérioration des relevés par les coupes bordures lors de l'entretien des espaces verts, des feuilles en zinc découpées à la demande sont disposées verticalement contre les relevés apparents, calées par le remblai en partie basse et glissées sous la bande solin en partie haute.

4.3 Contrôles entrepris sur le DEG

Les principaux contrôles prescrits par le maître d'œuvre portent sur :

- le contrôle des fournitures ;
- le respect du plan de calepinage ;
- le contrôle visuel de la totalité des parties courantes et des relevés ;
- les contrôles à la pointe sèche de la totalité des soudures.

5 Conclusion

La réhabilitation des réservoirs de Lavazière à Albi a offert l'occasion de mettre en valeur les solutions géosynthétiques dans la problématique d'étanchéité, qu'il s'agisse de stockage d'eau destinée à la consommation humaine ou de protection contre les infiltrations et les sources de pollution extérieures.

Malgré les nombreuses difficultés, liées à la morphologie très particulière des ouvrages et aux différents points singuliers, le système en plaques PE80 avec ACS a donné entière satisfaction. Il facilite aujourd'hui de manière très significative le travail de l'exploitant lors du nettoyage annuel. Il apporte également des garanties bien supérieures en termes de qualité d'eau par rapport à la situation précédente (absence de volumes morts dans R2). Le développement de cette solution technique à l'avenir est cependant conditionné à l'amélioration des modes opératoires permettant de la rendre plus attractif au plan économique.

L'étanchéité parapluie réalisée dans les enceintes murées a quant à elle permis de supprimer totalement le risque d'infiltrations au niveau des couvertures en minimisant les coûts de terrassements.

La réflexion importante engagée par le maître d'œuvre, les fournisseurs et les entreprises applicatrices dans le traitement de nombreux et très divers points singuliers permet d'envisager une durabilité très satisfaisante pour cette réhabilitation d'ampleur.

6 Références bibliographiques

- AFTES (mai/juin 2000) Recommandation GT9R10F1 - *Étanchéité et drainage des ouvrages souterrains*
AFTES (avril/mai 2004) Recommandation GT9R15F1 - *Dimensionnement des écrans de protections des DEG*
AFTES (sept/oct 2009) Recommandation GT9R17F1 - *Dimensionnement de la protection supérieure des dispositifs d'étanchéité synthétiques*
Cahier des Clauses Techniques Générales (mai 2018) Fascicule 67 titre III – *Étanchéité des ouvrages souterrains*
Cahier des Clauses Techniques Générales (octobre 2021) Fascicule 74 – *Construction des réservoirs en béton et réhabilitation des réservoirs en béton ou en maçonnerie.*