COLLECTIVITE EAU DU BASSIN RENNAIS

EAU POTABLE
Réhabilitation du revêtement d'étanchéité de la cuve extérieure du réservoir de Cesson Sévigné

Etude de faisabilité



Dossier	Nom du fichier	Rédacteur	Vérificateur	Date	Indice
O4002.3	Etude de faisabilité	DG/FL	DG	05/01/2023	A

Agence Grand Ouest
5, square du Chêne Germain
35510 Cesson-Sévigné

Tél. 02 23 47 04 90
Fax 02 23 47 03 88
contact@servicad.fr

Servicad Ingénieurs Conseils

Sommaire

1. Préambule 3
2. Contexte de l'opération 3
2.1 Contexte et problématique 3
2.2 Historique 4
3. Désordres constatés suite à la visite du 16/11/2022 4
3.1 Paroi intermédiaire (à partir de 1 m de hauteur par rapport au radier) : 4
3.2 Radier, paroi extérieure (toute hauteur) et jusqu'à 1 m sur la paroi intermédiaire 7
3.3 Précisions sur les désordres constatés 11
4. Description des solutions de réhabilitation envisageables 14
5. Description détaillée de la solution technique préconisée 18
5.1 Prix généraux de chantier 18
5.1.1 Installation de chantier 18
5.1.2 Etudes et documents d'exécution 18
5.1.3 Protection de la cuve intérieure 18
5.1.4 Dossier des ouvrages exécutés 20
5.2 Décapage des parois 20
5.3 Démolition des manchettes existantes 21
5.4 Mise en place d'un revêtement d'étanchéité par membrane flexible polyoléfine (FPO) 21
5.5 Test d'étanchéité de la cuve extérieure 23
6. Phasage des travaux 24
7. Chiffrage de la solution technique préconisée 24

1. Préambule

La Collectivité Eau du Bassin Rennais (CEBR) a consulté Servicad Ingénieurs Conseils en mai 2022 pour la réalisation d'une étude de faisabilité pour la réhabilitation du revêtement d'étanchéité de la cuve extérieure du réservoir de Cesson Sévigné.

Une offre (mémoire technique + devis) a été fourni par Servicad Ingénieurs Conseils en juin 2022.

Cette offre a été validée et notifiée par CEBR à Servicad Ingénieurs Conseils en octobre 2022.

Aussi, l'objet du présent mémoire est de détailler (techniquement et financièrement) la solution optimale pour réaliser la réhabilitation du revêtement de la cuve extérieure du réservoir de Cesson Sévigné.

2. Contexte de l'opération

2.1 Contexte et problématique

La Collectivité Eau du Bassin Rennais est propriétaire du réservoir de stockage d'eau potable de Cesson Sévigné situé rue du Patis Tatelin. Cet ouvrage mis en service en 2013 présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Type ouvrage : réservoir sur tour de forme hyperbole ;
- ✓ Mise en service : avril 2013 ;
- ✓ Capacité sur double cuve concentrique :
  - Volume cuve intérieure : 1 158 m^3
  - Volume cuve extérieure : 1 927 m^3
- ✓ Hauteur totale : 39 m ;
- ✓ Hauteur des cuves : 7 et 8 m ;
- ✓ Pas de précontrainte.

Plan de situation



Depuis 2015, La Collectivité Eau du Bassin Rennais observe des désordres évolutifs conséquents sur le revêtement d'étanchéité de la cuve extérieure :

- ✓ Problématique d'adhérence de la couche de finition sur le voile intermédiaire des deux cuves (revêtement d'imperméabilisation) ;
- ✓ Problématique de résurgences sur le voile extérieur armé ;
- ✓ Problématique de cloquages sur le voile extérieur armé.

2.2 Historique

Suite aux désordres observés par la Collectivité Eau du Bassin Rennais, le réservoir de Cesson Sévigné est actuellement soumis à expertise judiciaire (tribunal administratif de Rennes – n° RG 2000765 – ordonnance de référé instruction du 17 juin 2020).

Dans ce cadre, la Collectivité Eau du Bassin Rennais a fait réaliser par l'entreprise GINGER CEBTP (dit sapiteur dans la note d'expert n°5), la réalisation d'essais d'adhérence sur les cuves intérieures et extérieures du château d'eau de Cesson Sévigné. Ce rapport a été remis en janvier 2022.

Suite à la remise du rapport du sapiteur et du devis de Servicad Ingénieurs Conseils, l'expert souhaite que la présente étude de faisabilité concerne uniquement la reprise complète de l'étanchéité de la cuve extérieure.

Suite à la signature du devis par CEBR pour Servicad Ingénieurs Conseils, il a été programmé une inspection de la cuve extérieure (cuve vide) en date du 16/11/2022 au matin. Lors de cette inspection les personnes présentes étaient :

- ✓ CEBR : Maxime ROINNEL ;
- ✓ SERVICAD INGENIEURS CONSEILS : Damien GUILLEMINEAU et François LEMARCHAND.

3. Désordres constatés suite à la visite du 16/11/2022

Date d'inspection : mercredi 16 novembre 2022 de 10h à 12h.

Cuve inspectée : cuve extérieure (la cuve intérieure était en eau lors de notre inspection).

NOTA : le présent chapitre a pour objectif de faire une synthèse des désordres observés, afin de définir la solution de réhabilitation à mettre en œuvre.

3.1 Paroi intermédiaire (à partir de 1 m de hauteur par rapport au radier) :

Il est constaté les points suivants :

- ✓ Cloquage sur le revêtement existant ;
- ✓ Décollement de la couche de finition ;
- ✓ Empreinte du mode constructif nettement visible (malgré une reprise des empreintes des structures de coffrage via un ragréage en KRISTOLITHE 3), avec un défaut de planéité du support (nombreuses aspérités et bullage du béton).

Ce constat a été réalisé sur toute hauteur et sur toute la surface (pas de zone / orientation préférentielle).





Dans le rapport du sapiteur et de l'expert, il est indiqué que l'étanchéité est assurée par :

- ✓ Les parois en béton armé de classe A qui assurent une étanchéité dans la masse. Il est précisé que cette étanchéité a été acquise :
  - à la réception par le béton brut de décoffrage ;
  - par rebouchage du bullage au mastic (mortier époxy STRUPOX J) et par un pontage des fissures détectées suite à la première mise en eau

  puis a été améliorée par :
  - une reprise des empreintes des structures de coffrage (KRISTOLITHE 3) et un rebouchage du bullage au mastic (STRUPOX J)
- ✓ La mise en place d'un revêtement d'imperméabilisation souple (RIS) en 2 couches (pas de résistance à la fissuration) :
  - 1 couche de primaire d'imprégnation en STRAKO PRIM d'une épaisseur de 0,225 mm ;
  - 1 couche de finition STRAKO F1 d'une épaisseur de 0,800 mm,
    Soit une épaisseur totale théorique de 1,025 mm.

De plus, dans le rapport du sapiteur, il est indiqué que 2 essais d'adhérence ont été réalisés au droit de cette paroi :

	Aspect de la zone	Hauteur de l'essai	Valeur de traction	Type de rupture	Commentaires
Essai 1	Zone altérée	1,82 m	2,12 MPa	Rupture adhésive à l'interface entre la colle de la pastille et le revêtement	Résistance à la traction de la colle inférieure à celle du revêtement Aucune épaisseur n'a pu être relevé
Essai 5	Zone altérée	1,48 m	2,62 MPa	Rupture adhésive à l'interface entre la colle de la pastille et le revêtement	Résistance à la traction de la colle inférieure à celle du revêtement Aucune épaisseur n'a pu être relevé

Aussi, au regard de ce constat, il n'est pas possible de confirmer que l'épaisseur du revêtement est cohérente avec l'épaisseur théorique indiquée dans la fiche technique des produits utilisés.
De plus, la valeur à la traction est supérieure et compatible aux performances à respecter selon la fiche technique du produit STRAKO F1 (valeurs supérieures à 1 MPa).

Un prélèvement a également été effectuée par le sapiteur au droit de la paroi intermédiaire. **Ce prélèvement révèle la présence d'eau entre le ragréage et le complexe d'imperméabilisation, l'eau s'infiltrant jusqu'au voile béton.**

Selon la fiche technique du produit STRAKO PRIM (fiche technique de 2017) :

- ✓ Préparation du support béton :
  - Le support doit être propre, sain, sans laitance ni remontées capillaires ;
  - Les bétons doivent être âgés d'au moins 28 jours ;
  - La teneur en eau libre doit être inférieure à 4 % de la masse sèche ;
  - Le support doit présenter une résistance en compression ≥ 25 MPa et en traction ≥ 1 MPa ;
  - Le support doit être préparé par tous les moyens mécaniques appropriés tel que sablage, ponçage, lavage haute pression, de manière à avoir un aspect le plus continu possible sans cavités ;
- ✓ Consommation : 250 g/m², variable en fonction de la porosité du support
- ✓ Conditions d'application :
  - Température d'application : + 10 °C à + 40 °C (+/- 1 °C) ;
  - Hygrométrie de 75 % maxi (+/- 5 %) ;

- Température supérieure de + 3°C au point de rosée.

Selon la fiche technique du produit STRAKO F1 (fiche technique de 2017) :

- ✓ Préparation du support béton :
  - Le support doit être propre, sain, sans laitance ni remontées capillaires ;
  - Les bétons doivent être âgés d'au moins 28 jours ;
  - La teneur en eau libre doit être inférieure à 4 % de la masse sèche ;
  - Un primaire spécifique peut être nécessaire ;
  - Le support doit présenter une résistance en compression ≥ 25 MPa et en traction ≥ 1 MPa ;
  - Le support doit être préparé par tous les moyens mécaniques appropriés tel que sablage, ponçage, lavage haute pression, de manière à avoir un aspect le plus continu possible sans cavités ;
- ✓ Consommation : 900 à 1200 g/m², selon le système retenu ;
- ✓ Conditions d'application :
  - Température d'application : + 10 °C à + 40 °C (+/- 1 °C) ;
  - Hygrométrie de 75 % maxi (+/- 5 %) ;
  - Température supérieure de + 3°C au point de rosée.

Les consommations devant être respectées sont réaffirmées dans le Cahier des Clauses Techniques STRAKO agrée CEBTP (Avis sur procédé CEBTP SOLEN N° BP18-07-093/1 Validité : 30 octobre 2014) et à savoir dans le cas d'un revêtement d'imperméabilisation d'ouvrage :

- ✓ STRAKO PRIM : 250 g/m² ;
- ✓ STRAKO F1 : 1200 g/m².

L'épaisseur totale théorique est supérieure à 0,8 mm.

De plus, il est indiqué que le délai de mise en service est à minima de 8 jours à 20 °C / 12 jours à 10 °C, et qu'avant remplissage, un lavage complet du revêtement sera effectué.





Bilan :

Au regard de notre constat sur site et des différents rapports déjà effectués, il est mis en évidence :

- ✓ Présence de nombreuses aspérités et d'un bullage du béton, laissant supposer que le rebouchage du bullage au mastic a été uniquement partiel = **préparation du support béton non compatible avec le revêtement d'imperméabilisation ;**
- ✓ Présence des empreintes du mode constructif nettement visible, laissant supposer un ragréage « incomplet » réalisé en travaux = **préparation du support béton non compatible avec le revêtement d'imperméabilisation ;**

- ✓ Conditions de mise en œuvre du complexe d'imperméabilisation non indiquées dans les comptes-rendus de chantier / DOE du chantier = **impossibilité de vérifier si les conditions d'application sont compatibles avec celles à respecter selon les fiches techniques des produits utilisés.**

Aussi, une présence d'eau est observée **entre le ragréage et le complexe d'imperméabilisation, traduisant une inefficacité du complexe d'imperméabilisation.**

3.2 Radier, paroi extérieure (toute hauteur) et jusqu'à 1 m sur la paroi intermédiaire

Préambule : dans le rapport n°5 de l'expert, il est indiqué qu'un revêtement d'imperméabilisation souple est présent en partie supérieure des parois (à partir de 1 m de hauteur), soit pour la paroi intermédiaire, mais également pour la paroi extérieure. Au regard des photos du rapport GINGER, ce constat est valable pour la paroi intermédiaire, mais est inexact pour la paroi extérieure, une armature étant visible sur certaines photos. Aussi, nous considérons qu'un revêtement d'étanchéité adhérent a bien été mis en œuvre sur la paroi extérieure.

Il est constaté les points suivants :

- ✓ Cloquage sur le revêtement existant ;
- ✓ Décollement de la couche de finition ;
- ✓ Empreinte du mode constructif nettement visible (malgré une reprise des empreintes des structures de coffrage via un ragréage en KRISTOLITHE 3), avec un défaut de planéité du support (nombreuses aspérités et bullage du béton) ;
- ✓ Traces de coulures d'eau en paroi ;
- ✓ Protubérances jaunâtres

Ce constat a été réalisé sur toute hauteur et sur toute la surface (pas de zone / orientation préférentielle).

Par ailleurs, lors de notre inspection il n'a pas été mis en évidence une « ligne de démarcation claire » sur la paroi intermédiaire entre le revêtement d'imperméabilisation et le revêtement d'étanchéité**. Aussi, il n'est pas possible d'affirmer que le revêtement d'étanchéité soit mis en place jusqu'à 1 m de hauteur.**

Dans le rapport du sapiteur et de l'expert, il est indiqué que l'étanchéité est assurée par :

- ✓ Les parois en béton armé de classe A qui assurent une étanchéité dans la masse. Il est précisé que cette étanchéité a été acquise :
  - à la réception par le béton brut de décoffrage ;
  - par rebouchage du bullage au mastic (mortier époxy STRUPOX J) et par un pontage des fissures détectées suite à la première mise en eau

  puis a été améliorée par :
  - une reprise des empreintes des structures de coffrage (KRISTOLITHE 3) et un rebouchage du bullage au mastic (STRUPOX J)
- ✓ La mise en place d'un revêtement d'étanchéité adhérent (REA) et armé en 4 couches (résistance à la fissuration jusqu'à 0,5 mm) :
  - 1 couche de primaire d'imprégnation en STRAKO PRIM d'une épaisseur de 0,225 mm ;
  - 1 première couche de stratification STRAKO SC1 d'une épaisseur de 0,57 mm ;
  - Une armature biaxiale en fibre de verre ARMAVER BX550 ACS d'une épaisseur de 0,4 mm ;
  - 1 couche de saturation de la stratification STRAKO SC1 d'une épaisseur de 0,43 mm sauproudré de silice ;
  - 1 couche de finition STRAKO F1 d'une épaisseur de 0,60 mm,
    Soit une épaisseur totale théorique de 1,825 mm (hors armature biaxiale).

De plus, dans le rapport du sapiteur, il est indiqué que 8 essais d'adhérence ont été réalisés au droit de la paroi extérieure :

	Aspect de la zone	Hauteur de l'essai	Valeur de traction	Type de rupture	Commentaires rapport GINGER	Commentaires SERVICAD
Essai 2	Zone saine	1,43 m	1,26 MPa	Rupture adhésive à l'interface entre la couche de finition et la couche de saturation de la stratification	Couche de finition superficielle mesurée à 1 mm	-
Essai 3	Zone altérée	1,77 m	1,34 MPa	Rupture adhésive à 80 % entre la couche de finition et la couche de saturation de la stratification Rupture à 20 % cohésive dans l'entoilage sous-jacent	Couche de finition superficielle + couche de saturation de la stratification mesurées entre 1 et 2,5 mm	La photo 3464 du rapport de GINGER laisse supposer que l'armature a été enlevée à 100 %
Essai 4	Zone altérée	2,10 m	1,33 MPa	Rupture adhésive à l'interface entre la couche de finition et la couche de saturation de la stratification	Couche de finition superficielle mesurée à 1 mm	-
Essai 6	Zone altérée	1,68 m	**0,52 MPa**	Rupture adhésive à l'interface entre la couche de finition et la couche de saturation de la stratification	Couche de finition superficielle mesurée à 1 mm	-
Essai 7	Zone altérée	1,35 m	1,72 MPa	Rupture adhésive à l'interface entre la couche de finition et la couche de saturation de la stratification	Couche de finition superficielle mesurée à 1 mm	-
Essai 8	Zone saine	1,56 m	2,05 MPa	Rupture adhésive à l'interface entre la couche de finition et la couche de saturation de la stratification	Couche de finition superficielle mesurée à 1 mm	La photo 3489 du rapport GINGER met en évidence la présence de l'armature (en bas à droite), mais également des traces de sablage au niveau de la couche de saturation, laissant supposer qu'un sablage a été réalisé et que la

						couche d'imprégnation, pose de l'armature et couche de saturation n'ont pas été effectuées en même temps
Essai 9	Zone saine	2,05 m	1 MPa	Rupture adhésive à 50 % entre la couche de finition et la couche de saturation de la stratification Rupture à 50 % cohésive dans l'entoilage sous-jacent	Couche de finition superficielle + couche de saturation de la stratification mesurées à 1 mm	La photo 3495 met en évidence une rupture à 50 % dans l'entoilage, laissant supposer que la couche d'imprégnation, pose de l'armature et couche de saturation n'ont pas été effectuées en même temps
Essai 10	Zone altérée	0,76 m	2,07 MPa	Rupture adhésive à l'interface entre la colle de la pastille et le revêtement	Résistance à la traction de la colle inférieure à celle du revêtement Aucune épaisseur n'a pu être relevé	-

Aussi, au regard de ce constat, il est confirmé que l'épaisseur du revêtement est cohérente avec l'épaisseur théorique indiquée dans la fiche technique des produits utilisés.
De plus, la valeur à la traction est globalement supérieure et compatible aux performances à respecter selon la fiche technique du produit STRAKO F1 (valeurs supérieures à 1 MPa, **sauf pour l'essai 6).**

Un prélèvement a également été effectuée par le sapiteur au droit de la paroi extérieure. **Ce prélèvement révèle la venue d'eau dès la découpe des rainures obliques faites en partie supérieure du prélèvement, avec de l'eau pénétrant jusqu'au béton du voile, tout en étant présente au sein du complexe d'étanchéité.**

Selon la fiche technique du produit STRAKO PRIM (fiche technique de 2017) :

- ✓ Préparation du support béton :
  - Le support doit être propre, sain, sans laitance ni remontées capillaires ;
  - Les bétons doivent être âgés d'au moins 28 jours ;
  - La teneur en eau libre doit être inférieure à 4 % de la masse sèche ;
  - Le support doit présenter une résistance en compression ≥ 25 MPa et en traction ≥ 1 MPa ;
  - Le support doit être préparé par tous les moyens mécaniques appropriés tel que sablage, ponçage, lavage haute pression, de manière à avoir un aspect le plus continu possible sans cavités ;
- ✓ Consommation : 250 g/m², variable en fonction de la porosité du support
- ✓ Conditions d'application :
  - Température d'application : + 10 °C à + 40 °C (+/- 1 °C) ;
  - Hygrométrie de 75 % maxi (+/- 5 %) ;
  - Température supérieure de + 3°C au point de rosée.

Selon la fiche technique du produit STRAKO SC1 (fiche technique de 2017) :

- ✓ Préparation du support béton :

- Le support doit être propre, sain, sans laitance ni remontées capillaires ;
- Les bétons doivent être âgés d'au moins 28 jours ;
- La teneur en eau libre doit être inférieure à 4 % de la masse sèche ;
- Un primaire spécifique peut être nécessaire ;
- Le support doit présenter une résistance en compression ≥ 25 MPa et en traction ≥ 1 MPa ;
- Le support doit être préparé par tous les moyens mécaniques appropriés tel que sablage, ponçage, lavage haute pression, de manière à avoir un aspect le plus continu possible sans cavités ;

✓ Consommation : 1400 à 2000 g/m², selon le système retenu ;
✓ Conditions d'application :
- Température d'application : + 10 °C à + 40 °C (+/- 1 °C) ;
- Hygrométrie de 75 % maxi (+/- 5 %) ;
- Température supérieure de + 3°C au point de rosée.

Selon la fiche technique du produit STRAKO F1 (fiche technique de 2017) :

✓ Préparation du support béton :
- Le support doit être propre, sain, sans laitance ni remontées capillaires ;
- Les bétons doivent être âgés d'au moins 28 jours ;
- La teneur en eau libre doit être inférieure à 4 % de la masse sèche ;
- Un primaire spécifique peut être nécessaire ;
- Le support doit présenter une résistance en compression ≥ 25 MPa et en traction ≥ 1 MPa ;
- Le support doit être préparé par tous les moyens mécaniques appropriés tel que sablage, ponçage, lavage haute pression, de manière à avoir un aspect le plus continu possible sans cavités ;

✓ Consommation : 900 à 1200 g/m², selon le système retenu ;
✓ Conditions d'application :
- Température d'application : + 10 °C à + 40 °C (+/- 1 °C) ;
- Hygrométrie de 75 % maxi (+/- 5 %) ;
- Température supérieure de + 3°C au point de rosée.

Les consommations devant être respectées sont réaffirmées dans le Cahier des Clauses Techniques STRAKO agrée CEBTP (Avis sur procédé CEBTP SOLEN N° BP18-07-093/1 Validité : 30 octobre 201) et à savoir dans le cas d'un revêtement d'étanchéité adhérent résistant à 5/10ème :

✓ STRAKO PRIM : 250 g/m² ;
✓ STRAKO SC1 : 800 g/m² ;
✓ ARMAVER BX 550 ;
✓ STRAKO SC1 : 600 g/m² ;
✓ STRAKO F1 : 900 g/m².

L'épaisseur totale théorique est de 1,6 mm, mais en pratique 2 mm

De plus, il est indiqué que le délai de mise en service est à minima de 8 jours à 20 °C / 12 jours à 10 °C, et qu'avant remplissage, un lavage complet du revêtement sera effectué.

Bilan :

Au regard de notre constat sur site et des différents rapports déjà effectués, il est mis en évidence :

✓ Présence de nombreuses aspérités et d'un bullage du béton, laissant supposer que le rebouchage du bullage au mastic a été uniquement partiel = **préparation du support béton non compatible avec le revêtement d'étanchéité adhérent ;**
✓ Présence des empreintes du mode constructif nettement visible, laissant supposer un ragréage « incomplet » réalisé en travaux = **préparation du support béton non compatible avec le revêtement d'étanchéité adhérent ;**

- ✓ Conditions de mise en œuvre du complexe d'étanchéité non indiquées dans les comptes-rendus de chantier / DOE du chantier = **impossibilité de vérifier si les conditions d'application sont compatibles avec celles à respecter selon les fiches techniques des produits utilisés.**

Aussi, une présence d'eau est observée **entre le ragréage et le complexe d'étanchéité, traduisant une inefficacité du complexe d'étanchéité.**

3.3 Précisions sur les désordres constatés

Lors de notre visite du 16 novembre 2022, nous avons constaté que l'étanchéité de toiture était composée :

- ✓ Au niveau du dôme par une étanchéité en membrane bitumineuse ;
- ✓ Au niveau du chéneau par une étanchéité liquide (couleur gris clair), avec remontée sur environ 50 cm sur l'acrotère.

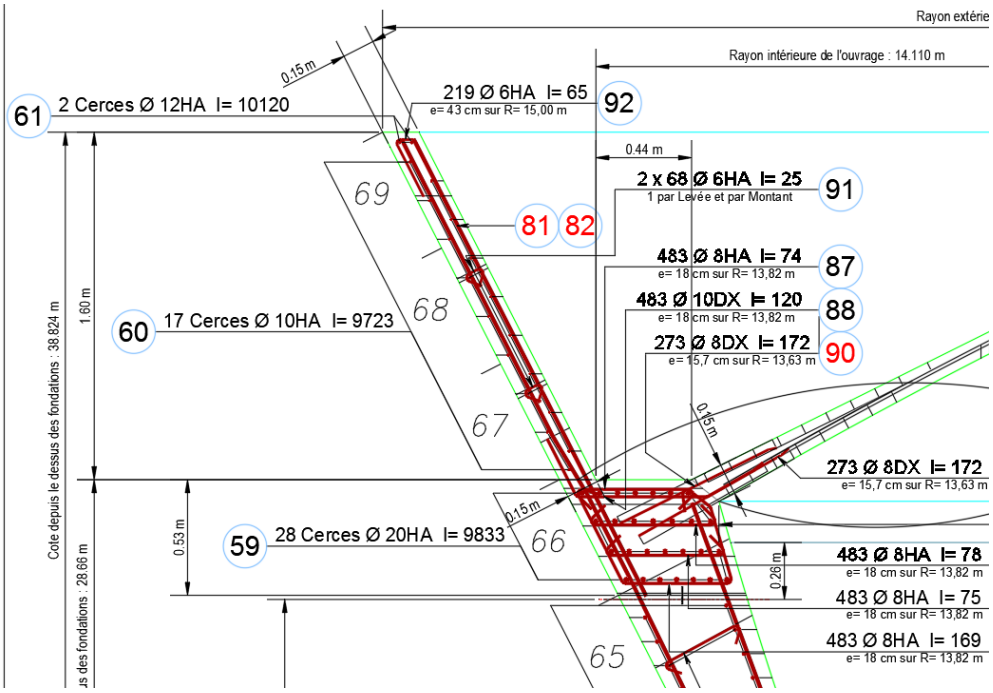
Concernant l'étanchéité par membrane bitumineuse, notre observation sur le terrain n'amène pas de remarque.

Concernant l'étanchéité liquide, nous avons observé à plusieurs endroits des décollements de cette étanchéité (cf photo ci-après). Par ailleurs, depuis le pied de l'ouvrage, il a été observé des traces de calcification, avec coulures orange, au niveau de la jonction bas de l'acrotère / chéneau (au niveau de la jonction entre la levée 66 et la levée 67)

Photo de l'étanchéité au droit du chéneau



Extrait du plan de ferraillage



Photos jonction bas de l'acrotère / chéneau



Par conséquent, au regard des informations en notre possession et de notre constat sur le terrain, nous ne pouvons pas exclure que des venues d'eau proviennent de la toiture du château d'eau.

Aussi, sur ce volet, nous conseillons à la collectivité de réaliser des tests avec des colorants, afin de statuer sur l'efficacité de l'étanchéité de toiture (il est précisé que pour cette opération, un arrêt et une vidange de l'ouvrage est nécessaire).

En effet, s'il s'avère que cette étanchéité de toiture est défectueuse, des circulations d'eau seront toujours observées, même si le nouveau revêtement d'étanchéité de la cuve extérieur est parfaitement étanche.

4. Description des solutions de réhabilitation envisageables

Au regard de notre diagnostic sur site et de l'analyse des différents rapports, dans le cadre de la mise en œuvre d'un nouveau revêtement d'étanchéité de la cuve extérieure, 3 solutions peuvent être envisagées :

- ✓ Système indépendant type membrane flexible polyoléfine (FPO) ;
- ✓ Système indépendant type membrane PEHD ;
- ✓ Système adhérent type résine époxydique armée.

NOTA : comme indiqué précédemment, il est précisé que la mise en place de cette étanchéité n'est pas un gage d'absence de « circulation d'eau », notamment s'il s'avère que l'étanchéité de toiture est défectueuse.

	Système indépendant type membrane flexible polyoléfine (FPO)	Système indépendant type membrane PEHD	Système adhérent type résine époxydique armée
Préparation du support	Pas de préparation lourde du support nécessaire – système d'étanchéité indépendant	Pas de préparation lourde du support nécessaire – système d'étanchéité indépendant	Préparation du support indispensable, avec un ragréage au mortier indispensable, de manière à avoir une cohésion ≥ 1 MPa en tous points avant application du revêtement – système d'étanchéité adhérent Suppression du revêtement d'étanchéité/imperméabilisation à 100%
Manchettes	Remplacement indispensable des manchettes existantes, pour permettre le raccordement de la membrane au droit des canalisations par pincement entre bride et contre bride spécifiques	Remplacement indispensable des manchettes existantes, avec mise en place de canalisations en PEHD au droit des manchettes, afin d'assurer l'étanchéité entre les canalisations et la membrane	Conservation possible des manchettes existantes
Fissuration	Résistance élevée à la fissuration (capacité d'allongement de 550 %) Risque de rupture des soudures (si soudures mal réalisées)	Non sujet à la fissuration – plaques de 4 mm d'épaisseur Risque de rupture des soudures entre les plaques en cas de fissuration importante et évolutive sur le support béton	Système adhérent ayant une fonction de renfort qui réduit l'ouverture des fissures (suivant la limite de fissuration du système mis en place)
Conditions de mise en œuvre	Pose non soumise à des conditions d'hygrométrie et de température dans la cuve et sur les parois Pose pouvant être effectuée avec une cuve en eau Traitement des points singuliers complexe, avec la réalisation de soudures	Pose non soumise à des conditions d'hygrométrie et de température dans la cuve et sur les parois Pose pouvant être effectuée avec une cuve en eau Traitement des points singuliers complexe, avec la réalisation de soudures	Pose soumise à des conditions d'hygrométrie et de température dans la cuve et sur les parois Pose ne pouvant pas être effectuée avec une cuve en eau – risque de passage d'eau ne permettant pas la mise en place de l'étanchéité en respectant les conditions d'hygrométrie et de température

Contrôle	Possibilité de contrôler l'étanchéité de la cuve via le système de drainage sous la membrane. Identification des points de fuite moins complexe que l'étanchéité PEHD (possibilité de passage sous la membrane et vérification du géotextile et traces d'humidité). A contrario, la membrane masque le support béton (pas de contrôle visuel de l'état du support possible)	Possibilité de contrôler l'étanchéité de la cuve via le système de drainage sous la membrane. Identification des points de fuite plus complexe que la membrane FPO (pas de géotextile pouvant conserver l'humidité, impossible d'accéder entre plaques et génie civil). A contrario, la membrane masque le support béton (pas de contrôle visuel de l'état du support possible)	Pas de contrôle possible de l'étanchéité via un système de drainage (défauts constatés via un bullage ou autre sur l'étanchéité)
Durée de vie / pérennité de l'ouvrage dans le temps	Durée de vie généralement rencontrée de 20 ans Epaisseur de 1,5 mm : risque de déchirure lors d'un passage régulier sur la membrane (notamment avec un caillou sous une chaussure)	Durée de vie annoncée par le fournisseur supérieure à 50 ans (pas de retour d'expérience sur cette durée par le fournisseur pour confirmer cette donnée) Epaisseur importante des plaques (4 mm), avec forte résistance en cas de passage régulier dessus	Durée de vie généralement rencontrée de 20 ans
Risque de condensation	Risque de condensation d'eau entre la membrane et le support, avec risque de formation de nids à bactéries Système pour récupérer les eaux de condensation, mais également les eaux en cas de fuites	Risque de condensation d'eau entre la membrane et le support, avec risque de formation de nids à bactéries Système pour récupérer les eaux de condensation, mais également les eaux en cas de fuites	Pas de risque de condensation d'eau entre le revêtement et le support Pas de système pour récupérer les eaux de condensation En cas de fuite, l'eau reste emprisonnée dans le revêtement afin création d'un bullage. Ce bullage peu éclater et libérer de l'eau potentiellement contaminée dans la cuve
Délais	Pas de délai de séchage avant la mise en eau	Pas de délai de séchage avant la mise en eau	Délai de séchage avant la mise en eau : délai fonction de la température mais généralement à minima de 8 jours à 20

			°C et 12 jours à 10 °C (fonction du produit utilisé)
Environnement	Economie d'énergie pour la pose du revêtement, car pas de nécessité de mettre en place des déshydrateurs et des chauffages Peu d'emballage au regard du conditionnement de la membrane en rouleaux	Economie d'énergie pour la pose du revêtement, car pas de nécessité de mettre en place des déshydrateurs Un chauffage reste nécessaire pour permettre d'avoir la même température lors de la pose (dilatation des plaques). Peu d'emballage au regard du conditionnement de la membrane en rouleaux	Energie nécessaire importante afin de maintenir les conditions optimales de pose de la résine (hygrométrie et température) Beaucoup de déchets au regard du conditionnement de la résine en bidons
Hygiène / sécurité	Pas de produit toxique lors de la mise en œuvre – uniquement soudures des membranes entre elles Revêtement relativement glissant	Pas de produit toxique lors de la mise en œuvre – uniquement soudures des membranes entre elles Revêtement relativement glissant Nécessite moyen d'accès, atelier de découpe/formage des plaques	Lors de la mise en œuvre des produits, le personnel doit être protégé (gants, masques) pour éviter le contact de la résine avec la peau et éviter l'inhalation de gouttelettes de résine
Divers	-	Perte légère du volume de stockage – épaisseur total du complexe d'étanchéité de 15 mm	-
Coût d'investissement	Solution la moins onéreuse en investissement # système résine époxydique	Solution la plus onéreuse # facteur 1,5 par rapport aux autres solutions	Solution la moins onéreuse en investissement # système membrane flexible polyoléfine
Bilan	**Solution préconisée dans le cas présent**	**Solution pouvant être mise en place dans le cas présent, mais engendrant un surcoût d'investissement important**	**Solution non adaptée dans le cas présent, notamment au regard du maintien indispensable de la cuve intérieure en eau**

5. Description détaillée de la solution technique préconisée

Les travaux à prévoir comprennent :

- ✓ Prix généraux de chantier ;
- ✓ Décapage des parements ;
- ✓ Mise en place d'un revêtement d'étanchéité par membrane flexible polyoléfine (FPO) ;
- ✓ Test d'étanchéité de la cuve extérieure.

5.1 Prix généraux de chantier

5.1.1 Installation de chantier

Cette prestation comprend notamment :

- ✓ L'établissement des documents SPS (PPSPS...) et suivi sécurité,
- ✓ L'établissement et le fonctionnement du PAQ,
- ✓ L'établissement des DICT,
- ✓ La réalisation d'un état des lieux préalable (par huissier),
- ✓ La fourniture et la mise en place pendant toute la durée des travaux, d'un bureau de chantier de 10 m² meublé (table, chaises, rangement…), éclairé,
- ✓ La mise en place sur le chantier des équipements sanitaires (W.C., poste d'eau, vestiaires, réfectoires…),
- ✓ La mise en place d'une nacelle sur porteur PL ou grue / échafaudage mobile nécessaires aux travaux (notamment pour manutention des équipements / produits vers le haut de l'ouvrage),
- ✓ La mise en place des dispositifs de sécurité,
- ✓ La réalisation d'un plan de prévention des risques,
- ✓ Les demandes d'abonnements et de raccordements et, le règlement des consommations,
- ✓ L'enlèvement, en fin de chantier, de tous les matériels, matériaux et la remise en état d'origine des lieux.

5.1.2 Etudes et documents d'exécution

Cette prestation comprend la réalisation de toutes les études nécessaires à la bonne exécution des travaux. Il comprend :

- ✓ Les fiches produits (ACS),
- ✓ Les plans de phasages des travaux, dont protection de la cuve intérieure,
- ✓ Tous les plans de détails nécessaires à l'exécution des travaux.

5.1.3 Protection de la cuve intérieure

Afin d'assurer la protection de la cuve intérieure (qui restera en eau durant les travaux de la cuve extérieure), une protection de cette cuve est indispensable.

Aussi, un platelage bois provisoire reposant sur des poutres sera mis en place depuis la passerelle de circulation jusqu'à la paroi intermédiaire.

Ce platelage bois devra être spécialement confectionnée pour répondre aux caractéristiques de la cuve. Ce platelage bois devra être posé à plat.

En amont de la pose de ce platelage bois, il sera nécessaire de prévoir une dépose provisoire de l'échelle d'accès à la cuve intérieure. Le garde-corps, l'éclairage et le chemin de câble pourront rester en place comme à l'existant.

Un delta de hauteur de l'ordre de 30 cm étant présent entre le haut de la passerelle de circulation et le haut de la paroi intermédiaire, il sera nécessaire de prévoir des sabots pour la pose des poutres à plats. Les sabots seront fixés au niveau de la passerelle intermédiaire.

Un échafaudage provisoire sera mis en place dans la cuve intérieure pour pose des sabots, des poutres et du platelage depuis cet échafaudage.

L'échafaudage sera ensuite démonté, et la fin du platelage bois sera mis en place depuis la passerelle de circulation.



Exemple de platelage bois provisoire

NOTA : Pour cette phase, l'accès à l'eau (et donc une contamination) de la cuve extérieure est possible. Aussi, un agent de sécurité sera prévu (il sera présent au niveau de la passerelle de circulation), afin de contrôler qu'aucun rejet n'est effectué dans la cuve extérieure.

Par ailleurs, nous tenons à préciser que la phase de protection de la cuve intérieure est une phase critique et qu'il ne sera pas possible d'assurer un risque « zéro » de contamination de la cuve extérieure (poussières, débris de bois…).

5.1.4 Dossier des ouvrages exécutés

Cette prestation concerne la réalisation du dossier des ouvrages exécutés. Il comprend :

- ✓ Rapport du constat d'huissier réalisé au démarrage des travaux,
- ✓ Les plans de détails des travaux réalisés, y compris localisation des réparations,
- ✓ Les fiches techniques de l'ensemble des matériaux et matériels mis en œuvre,
- ✓ Les fiches d'application,
- ✓ Les rapports de contrôles éventuels,
- ✓ Le PV des essais réalisés pendant le chantier,
- ✓ Les notices d'entretien.

5.2 Décapage des parois

Cette prestation comprend :

- ✓ Mise en place d'une protection de la cuve intérieure visant à garantir son maintien en service et la qualité de l'eau distribuée (cf paragraphe 5.1.3).
- ✓ Décapage léger des parois (voiles et radier) afin de dépolir et retirer toutes les particules étrangères pouvant nuire à la mise en œuvre du nouveau revêtement (l'objectif n'est pas d'enlever totalement le revêtement existant si l'adhérence au support existant est bonne).
  Ce décapage sera réalisé par une projection d'eau à très haute pression (pression à définir sur place, l'objectif ici n'étant pas de réaliser un décapage poussé comme en cas de mise en œuvre d'un revêtement adhérent) ;
- ✓ L'évacuation des « boues » et déchets issus du décapage. Ces déchets seront stockés dans des big-bags qui seront évacués depuis la trémie présente en toiture. Les eaux de rejets seront envoyées vers la lagune située en pied de l'ouvrage. Une cuve de décantation avec un filtre en sortie au droit du rejet sera mis en œuvre, afin d'éviter toute pollution du milieu récepteur ;
- ✓ Nettoyage général du support (voiles et radier), avec rejet des eaux de nettoyage via la canalisation de vidange, pour rejet en extérieur du réservoir ;
- ✓ Le dépôt des déchets en décharge spécialisée ;
- ✓ L'assèchement hygrométrique de la surface des parois.

Trémie utilisable pour l'évacuation des déchets

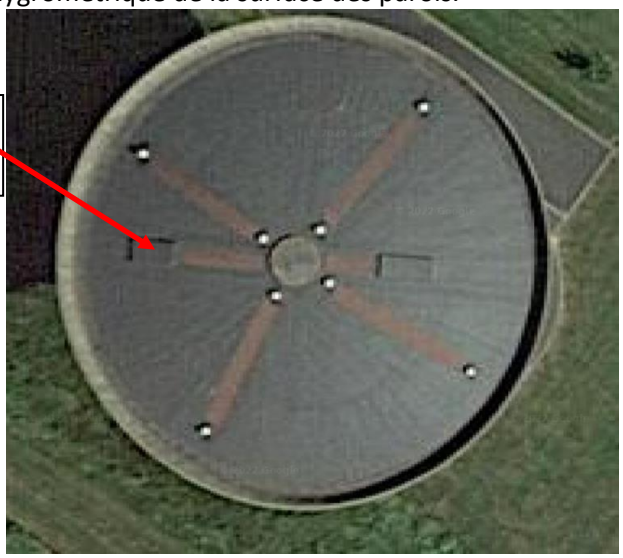


Photo vue aérienne du réservoir

5.3 Démolition des manchettes existantes

Afin d'assurer l'étanchéité au droit des traversées des parois, une dépose des manchettes existantes est indispensable. Les manchettes concernées sont :

- La vidange en DN 150 mm (passage au niveau du radier) – longueur de la manchette de 1,20 m ;
- Le refoulement en DN 350 mm (passage au niveau du radier) – longueur de la manchette de 1,20 m ;
- La distribution DN 400 mm (passage au niveau du radier) – longueur de la manchette de 1,20 m.

Pour ce faire, la dépose des manchettes existantes (jusqu'à la bride sous cuve) sera réalisée par dépiquetage (au regard de la forte épaisseur des voiles) depuis l'intérieur de la cuve extérieure.

Un élingage provisoire des canalisations devra être réalisés afin de les maintenir en position existante. Après dépose de la manchette sur le refoulement, une plaque pleine devra être prévue sur cette canalisation (ne sachant pas si la vanne sous cuve est totalement étanche), afin de supprimer le risque de venue d'eau.



Photo d'une manchette existante

Concernant le trop-plein en DN 350 mm, celui-ci passe au niveau de la paroi intermédiaire, vers la cuve intérieure. Aussi, afin d'assurer la continuité de service (cuve intérieure en eau), la dépose de la manchette ne pourra pas être réalisée.

Pour ce faire le trop-plein existant sera coupé depuis la cuve extérieure. Une bride fixe sera mise en place, ainsi qu'une contre bride spécifique pour la membrane FPO, afin de relier la membrane à la canalisation de trop-plein.

5.4 Mise en place d'un revêtement d'étanchéité par membrane flexible polyoléfine (FPO)

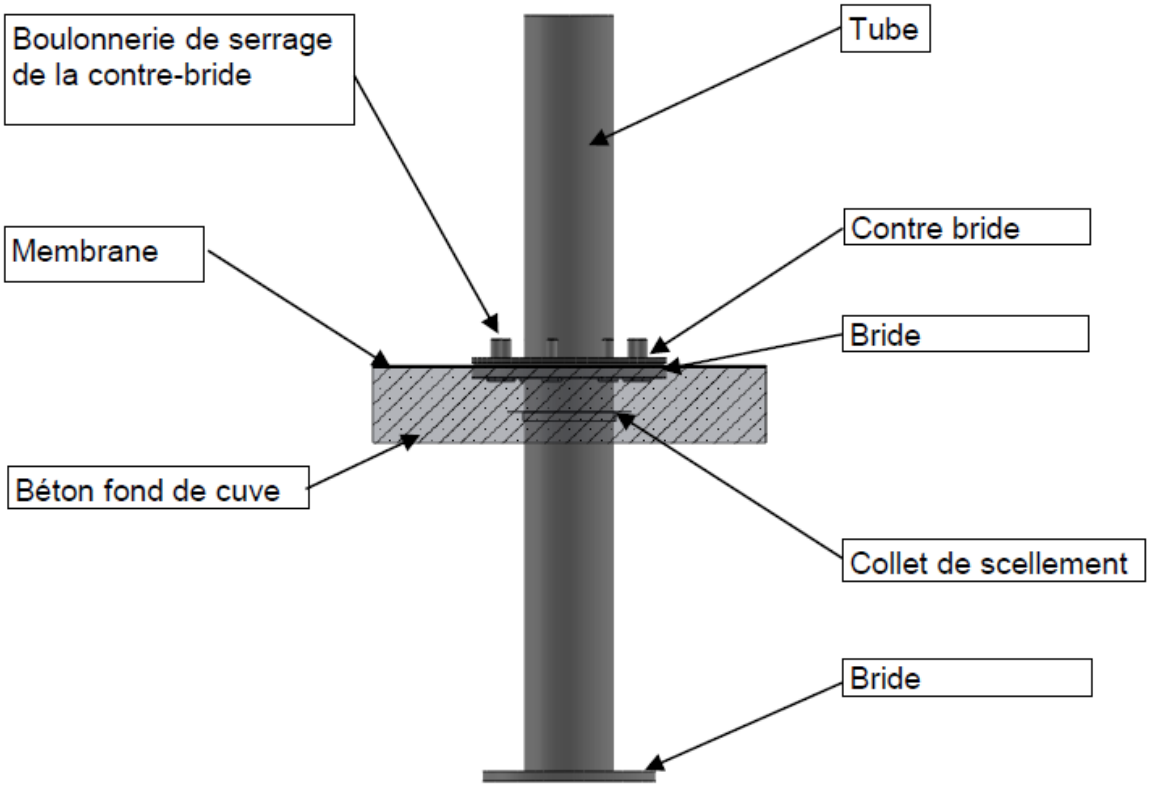
Le nouveau revêtement d'étanchéité sera mis en place sur l'ensemble des zones en eau + 0,2 mètre (niveau trop-plein + 0,2 m).

Cette prestation comprend :

- ✓ Le renforcement des angles saillants par un profilé en polypropylène fixé par collage ;
- ✓ La mise en œuvre d'un dispositif d'évacuation des eaux « de condensation » du béton sous la membrane par plusieurs percements du fond de cuve et raccordement au réseau de trop-plein sous les cuves. Un système avec te et vannes démontables devra être prévu afin de vérifier les éventuels défauts d'étanchéité ;

- ✓ La mise en place d'un géotextile d'égalisation (500 g/m²) fixé mécaniquement ;
- ✓ Au fond de la cuve extérieure (radier), la mise en place d'une grille de drainage et filtrant en polyéthylène tressé recouvert d'un géotextile ;
- ✓ La fixation en tête des parois d'un profilé en polypropylène, à l'aide de fixations mécaniques ;
- ✓ La mise en place d'une membrane armé flexible polyoléfine (FPO) composée de lés de 2 m reliés entre eux et sur les profilés en polypropylène par fusion des bordures ;
- ✓ Le raccordement au droit des canalisations par pincement entre bride et contre bride spécifiques. Les canalisations concernées sont :
  - La vidange en DN 150 mm (passage au niveau du radier) ;
  - Le refoulement en DN 350 mm (passage au niveau du radier) ;
  - La distribution DN 400 mm (passage au niveau du radier) ;
  - Le trop-plein DN 350 mm (cf paragraphe 5.3).

Schéma de principe de la manchette par pincement entre bride et contre bride spécifique



Photos exemple paroi après mise en œuvre géotextile d'égalisation



Photos pose membrane en cours et pose finalisée





5.5 Test d'étanchéité de la cuve extérieure

Via le dispositif de drainage raccordé au niveau du trop-plein, il est possible de contrôler visuellement si des fuites sont apparues.

Pour ce faire, il convient de remplir progressivement en eau la cuve extérieure, jusqu'au niveau trop-plein.

Une constatation des éventuelles fuites est effectuée contradictoirement 7 jours après la fin du remplissage (contrôle niveau + contrôle taux de fuite au niveau du réseau de drainage).

Une fois la constatation d'étanchéité effectuée, un nettoyage et une désinfection de la cuve sera réalisée avant remise en service de l'ouvrage.

6. Phasage des travaux

Afin d'assurer la continuité de service, avec à minima une cuve en eau pendant la totalité des travaux, un phasage est indispensable (fonctionnement en mode dégradé pendant la totalité des travaux avec une seule cuve).

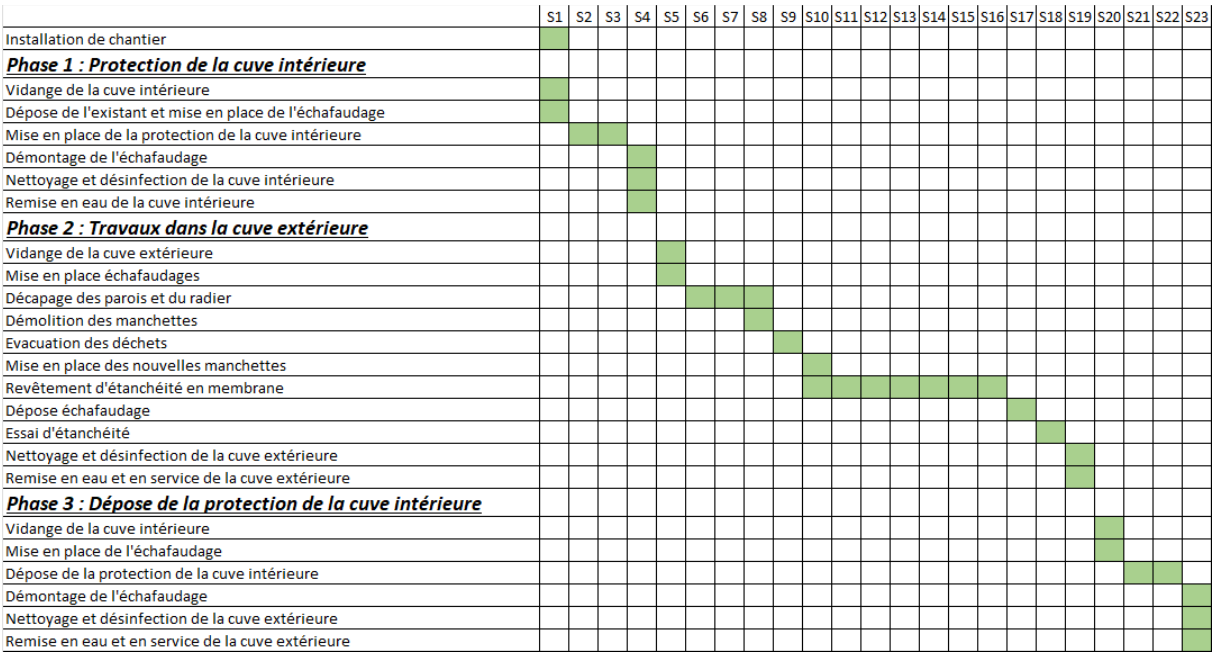
Le phasage des travaux sera le suivant :

- ✓ Phase 1 : protection de la cuve intérieure :
  - Vidange de la cuve intérieure et maintien en eau de la cuve extérieure ;
  - Mise en place de la protection de la cuve intérieure ;
  - Nettoyage et désinfection de la cuve intérieure ;
  - Remise en eau et en service de la cuve intérieure.

  Pour cette première phase, l'accès à l'eau (et donc une contamination) de la cuve extérieure est possible. Aussi, un agent de sécurité sera prévu, afin de contrôler qu'aucun rejet n'est effectué dans la cuve extérieure.
- ✓ Phase 2 : travaux dans la cuve extérieure :
  - Vidange de la cuve extérieure et maintien en eau de la cuve intérieure ;
  - Travaux dans la cuve extérieure ;
  - Nettoyage et désinfection de la cuve extérieure ;
  - Remise en eau et en service de la cuve extérieure.
- ✓ Phase 3 : dépose de la protection de la cuve intérieure :
  - Vidange de la cuve intérieure et maintien en eau de la cuve extérieure ;
  - Dépose de la protection de la cuve intérieure ;
  - Nettoyage et désinfection de la cuve intérieure ;
  - Remise en eau et en service de la cuve intérieure.

  Pour cette dernière phase, l'accès à l'eau (et donc une contamination) de la cuve extérieure est possible. Aussi, un agent de sécurité sera prévu, afin de contrôler qu'aucun rejet n'est effectué dans la cuve extérieure.

La durée totale des travaux est estimée à 5 mois, suivant le planning ci-après :



7. Chiffrage de la solution technique préconisée

Le coût global du projet exposé ci-après est estimé sur la base des conditions économiques du mois de janvier 2023.