



Affaire n° **T2300544** du **03/07/2024**

AVP MEMOIRE TECHNIQUE

SPEPAA REHABILITATION RESERVOIR
DE LESCAT A AUCH -T2300544



REALISATION DES TRAVAUX DE POSE DE CONDUITE, CONSTRUCTION
D'UN RESERVOIR ET REHABILITATION DES RESERVOIRS DE LESCAT

LOT 1 : Réhabilitation des réservoirs de Lescat à Auch (32)

Historique des révisions				
VERSION	DATE	COMMENTAIRES	RÉDIGÉ PAR :	VÉRIFIÉ PAR :
0	24/06/2024	Création de document	VFn	PMY
1	03/07/2024	Rq MOA et AMO	PMY	PMY

Maître d'ouvrage : SPEPAA Réhabilitation réservoir de Lescat à Auch -T2300544

Mission : Lot 1-AVP v1

Affaire n° : T2300544

En date du : 03/07/2024

Contact : Philippe MERLEY – Chef de projet

Adresse : NALDÉO
Direction Opérationnelle Sud-Ouest
265 Rue de la Découverte- Bâtiment A, 31670 Labège
Tél. 05 61 39 88 88

Clause de confidentialité

Les informations contenues dans la présente affaire sont strictement confidentielles et sont réservées à l'usage exclusif de la personne destinataire. Celle-ci s'engage à ne pas les divulguer ou à ne pas les communiquer à des tiers, par quelque moyen que ce soit.

Table des matières

1	PRESENTATION GENERALE	4
	Contexte	4
	Objectif de l'AVP	4
	Données pré-AVP	5
2	CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES	6
1.1	Caractéristiques des ouvrages	6
1.2		
1.3		
2.1.1	Points d'accès aux cuves	7
2.1.2	Equipements	9
2.1.3	Cheminées d'aérations	14
2.1	Investigations réalisées	15
2.2.1	Investigations réalisées pendant la phase DIAG (rappels)	15
2.2	Investigations réalisées pendant la phase AVP	17
3	PROPOSITION DE TRAVAUX	22
	Reprise de l'étanchéité des cuves	22
3.1		
3.1.1	Mise en œuvre de Plaque en PEHD	23
3.1.2	Mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité par résine époxy :	31
3.1.3	Reprise au mortier hydraulique de cuvelage (imperméabilisation)	36
3.2		
3.3	Reprise des radiers des deux cuves	40
3.4	Reprise des piliers	42
	Amélioration de la circulation de l'eau dans les cuves	44
3.4.1	Le modèle	44
3.5	Résultats	45
3.6	Conclusion	55
	Amélioration de la circulation d'air dans les cuves	56
	Drainage des eaux météorologiques	58
4	RECAPITULATIF DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS	59
5	ANNEXES	61

1 PRESENTATION GENERALE

Contexte

La commune de AUCH a transféré la compétence « Distribution » au Syndicat de Production Eau Potable Auch-Aubiet (SPEPAA).

- La présente mission concerne l'étude pour la réhabilitation (reprise de l'étanchéité, agrandissement et l'aménagement des accès aux réservoirs, reprises des conduites, ...) du réservoir d'eau potable de Lescat situé sous les courts du Tennis Club Auscitain (TCA).

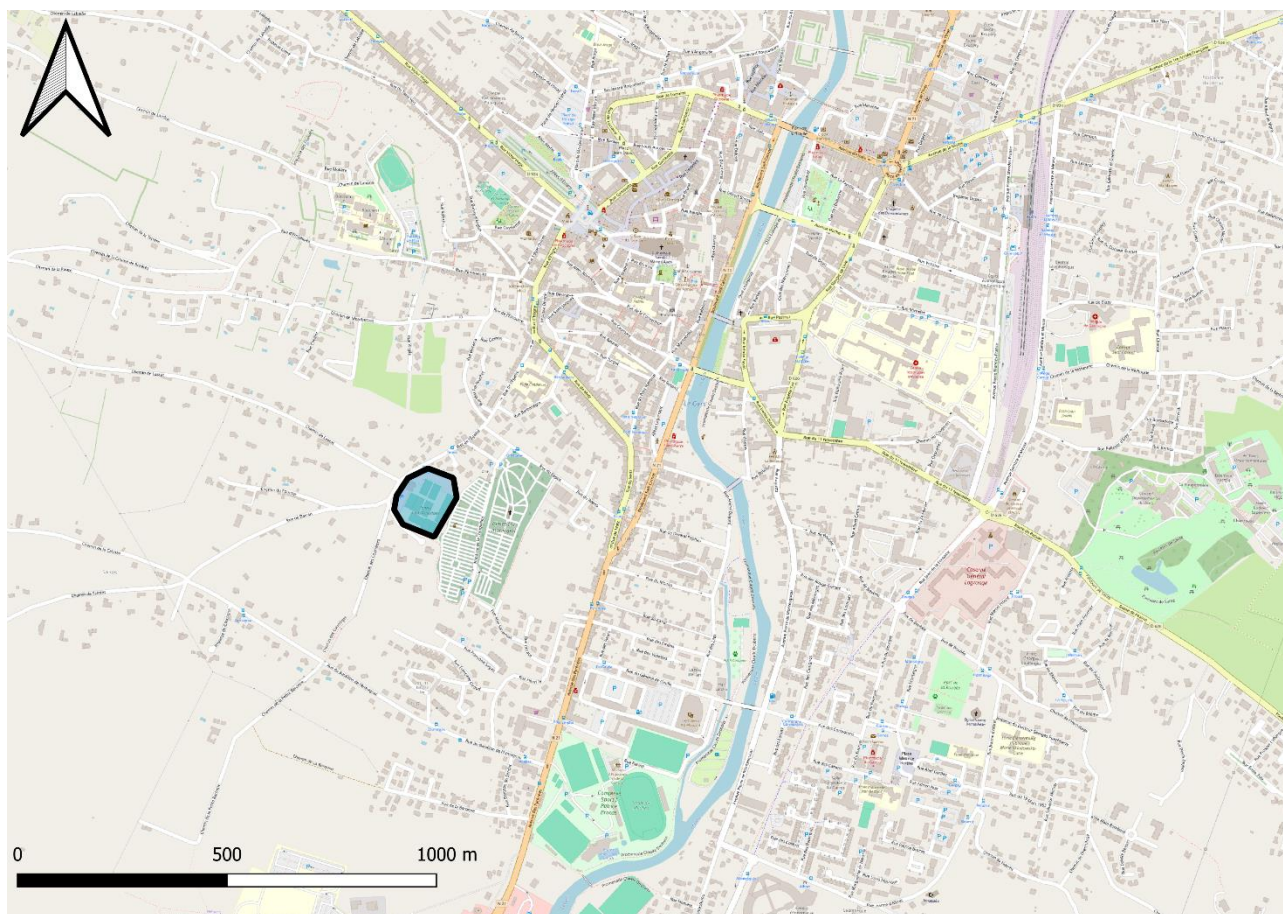


Figure 1 : Situation des ouvrages

- Les ouvrages de stockage de Lescat sont composés de 2 cuves enterrées (petite et grande cuve), reliées par une canalisation d'équilibre. Le site est situé en périphérie immédiate du centre-ville de Auch (Sud-Est) sur la parcelle n°0669 -section AY.

Une phase DIAGNOSTIC a été réalisée par Naldeo en date du 26 janvier 2024 ce document constitue la phase AVP de l'étude.

Objectif de l'AVP

Suite à la réalisation du diagnostic des ouvrages, l'objectif de ce document d'Avant-Projet est de définir les futurs travaux de réhabilitation envisagés concernant :

- La reprise de l'étanchéité des ouvrages (voiles, radier, sous-toiture...)
- La mise en œuvre d'une forme de pente en radier ;
- La reprise des conduites (vidange, distribution existante) ;
- La mise en place d'équipements assurant la ventilation des réservoirs et une meilleure circulation hydraulique ;
- L'agrandissement et l'aménagement des accès aux réservoirs ;

Données pré-AVP

Les données recueillies sont les suivantes :

- 1.3
- Relevées topographiques réalisées par XMGE Géomètre expert ;
 - Etudes Préliminaires EGIS -Décembre 2022
 - Schémas de fonctionnement (réseaux)
 - Un diagnostic amiante réalisé en octobre et novembre 2023 par Socotec.
 - Un diagnostic structurel réalisé en décembre 2023 par le LERM
 - Plan d'archives du réservoir datant des années 1880
 - Une étude géotechnique de type G2 AVP, - Géotechnique SAS – v2 du 17/06/2024, afin de préciser notamment les caractéristiques du sous-sol à proximité des ouvrages.

2 CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES

Caractéristiques des ouvrages

Pour rappel, les principales caractéristiques de l'ouvrage sont détaillées dans le tableau suivant :

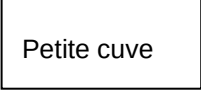
2.1

Caractéristiques	Petit réservoir	Grand réservoir
Période de construction	1864 à 1868	1894 à 1908
Capacité	7 000 m ³	15 800 m ³
Dimensions intérieures	34,4 x 44, 4 = 1 616 m ²	44,4 x 80,4 = 3 570 m ²
Niveau d'eau maximale	5 m	5 m
Hauteur d'eau maximale	4,80 m	5,05 m
Cote radier	169,70 à 169,63 m NGF	169,70 à 169,63 m NGF
Cote sous voûte	175 m NGF	176 m NGF
TN des terrains de tennis	176,5 m NGF	176 m NGF
Poteaux carrés	63 U – 1 x 1 m En pierre maçonnée Distance entre poteaux 3 m	162 U – 1 x 1 m En pierre maçonnée Distance entre poteaux 3 m
Contreforts latéraux	32 U – 2,7 x 2,7 m En pierre maçonnée	54 U 2,7 x 2,7 m En pierre maçonnée
Massifs d'angle	4 U – 2,7 x 2,7 m	4 U – 2,7 x 2,7 m
Anciens événements circulaires	8	8
Adduction	Fonte 300 mm	Fonte 300 mm
Radier	Béton de 30 cm d'épaisseur recouvert d'un enduit de 3 cm	Béton de 30 cm d'épaisseur recouvert d'un enduit de 3 cm

Tableau 1 : Caractéristique des ouvrages

Ci-après, un plan de localisation des cuves enterrées des réservoirs ainsi que les terrains de tennis présents en surface sont présentés.

Il apparaît qu'une très grande partie des terrains de tennis est située au-dessus des 2 cuves.



3

Version du 03/07/2024 - 7 (61)

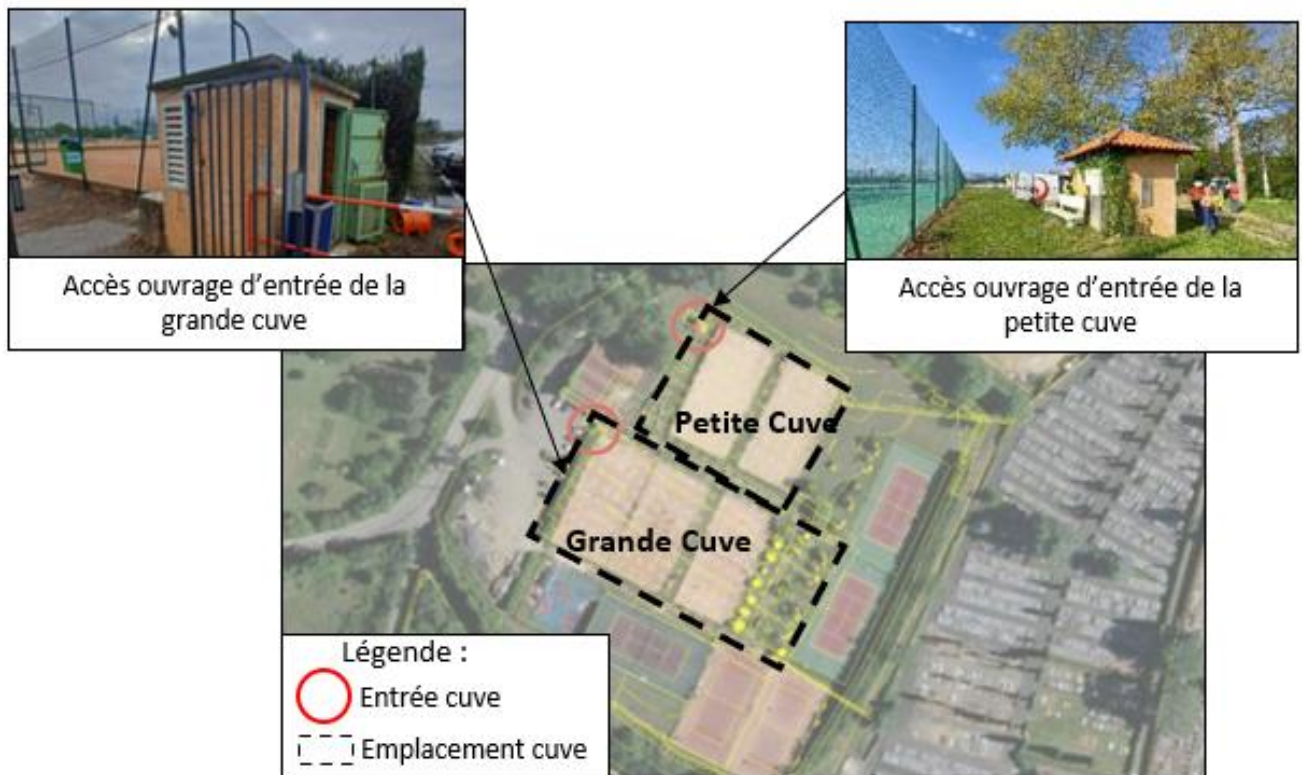


Figure 3 : Accès des ouvrages

Les dimensions de l'ouvrage d'accès aux cuves sont :

- Longueur = 1,8 m ;
- Largeur = 1,5 m ;
- Hauteur sous plafond de 1,80 m et de toiture de 1,90 m.

L'accès s'effectue par l'intermédiaire d'une porte (Largeur utile = 0,58 m et hauteur = 1,64 m).

S'ensuit un escalier composé de 6 marches (en pierres), permettant d'accéder à une plateforme intermédiaire et à une échelle à crinoline permettant d'accéder à la cuve. Cette échelle possède une hauteur d'environ 4,80m.

Une chambre est également présente en entrée de chacune des 2 cuves. Elles sont accessibles depuis la plateforme intermédiaire par un escalier. Les canalisations d'alimentation, de vidange traversent ces chambres.

Le plan ci-dessous est extrait des documents d'archives et offre une représentation de la structure située sous l'ouvrage d'accès.

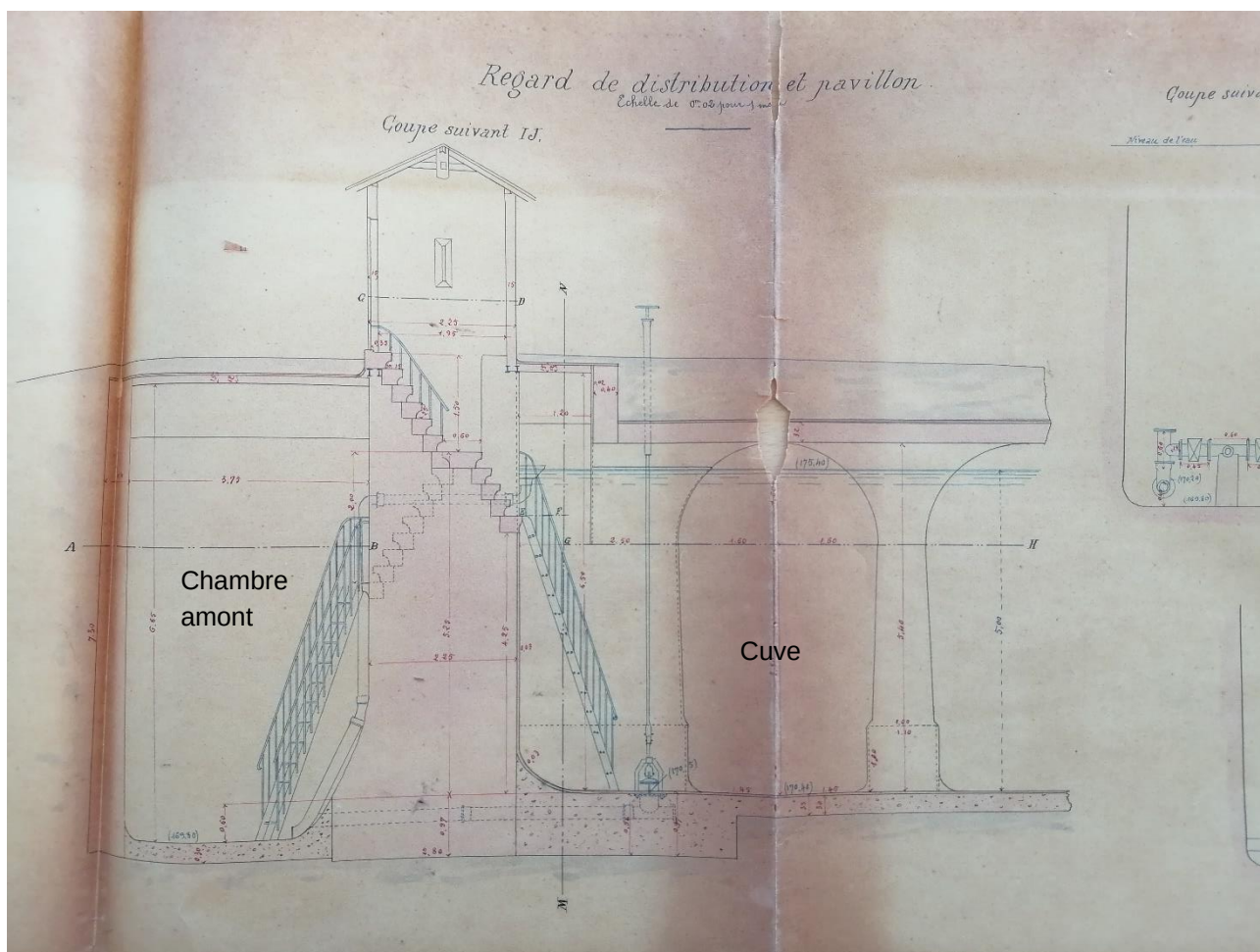


Figure 4 : Plan d'archive (1881)

Les accès seront repris dans le cadre des travaux de création d'une station de pompage objet du lot 2 de la maîtrise d'œuvre.

2.1.2 Equipements

La grande cuve est composée de :

- Une échelle d'accès avec crinoline, dans un état moyen, sans traces de corrosion mais sans échelons antidérapants ;
- Une canalisation d'adduction DN 300 mm en bon état provenant de l'usine de production d'eau potable de St Martin, une canalisation de distribution DN 300 mm avec crépine fortement corrodée, et une bonde de fond au niveau de la canalisation de vidange DN 150 mm également fortement corrodées ;
- Un trop-plein fortement corrodé comprenant une vasque DN 500 mm et une canalisation DN 160 mm placée contre le voile ;
- Une sonde de niveau en bon état et de poires permettant le contrôle du remplissage de l'ouvrage.
- Un point d'injection de chlore.



Une ancienne canalisation présente à côté de l'adduction n'est plus utilisée et pourra être supprimée.

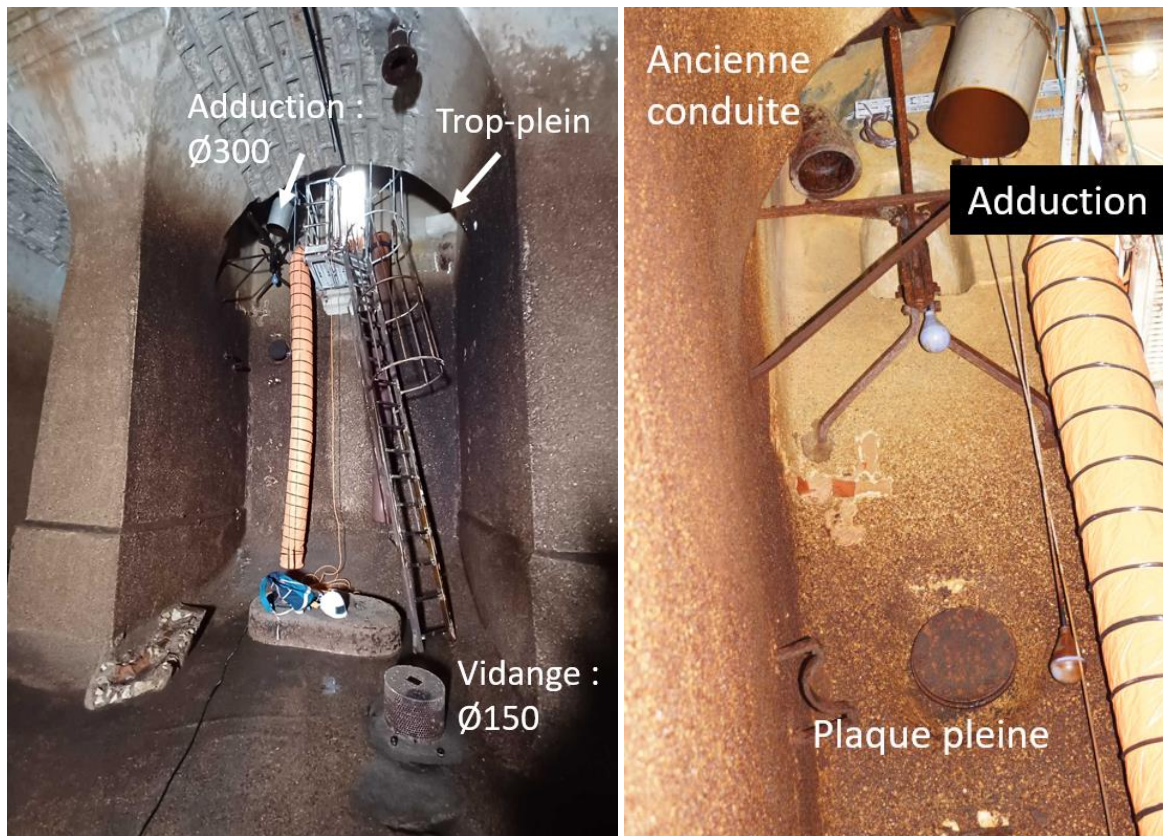


De l'autre côté de la cuve, se trouve une chambre, cette chambre amont permettait la gestion des vannes et de l'adduction. Aujourd'hui, cette chambre n'est plus utilisée. Elle comprend les équipements listés ci-après :

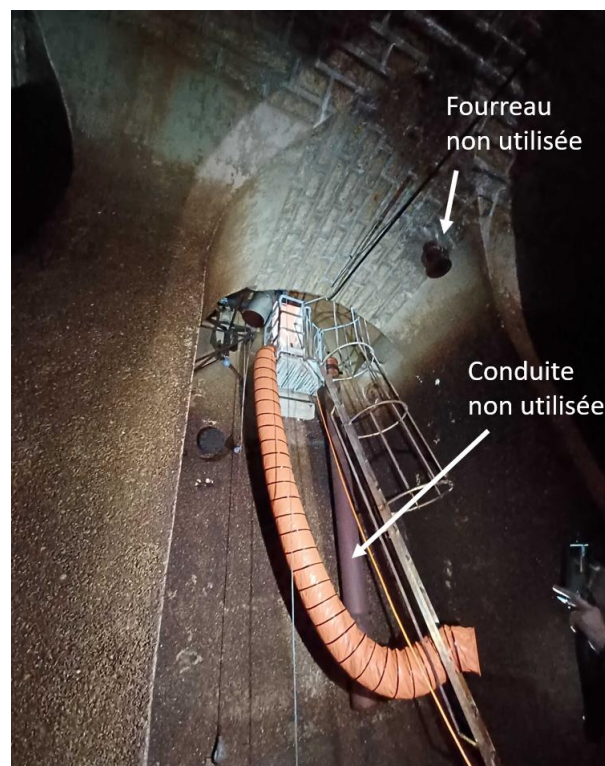


La configuration de la **petite cuve** comprend :

- Une échelle avec une crinoline ; depuis le palier jusqu'en fond de cuve
- Une canalisation d'adduction DN 300 mm provenant de l'usine de production d'eau potable de St Martin, une canalisation de distribution DN 300 mm, et une canalisation de vidange DN 150 mm avec une crépine ;
- Un trop-plein composé d'un ouvrage maçonné relié à une canalisation de vidange de diamètre inconnu (possiblement 160 mm) ;
- Des poires de niveau et une sonde pour contrôler le remplissage de l'ouvrage ;
- Un point d'injection de chlore.
- D'anciennes conduites non utilisées.



Un fourreau est présent au dessus de la vidange, il permettait de manoeuvrer la vanne de la vidange, aujourd'hui il n'est plus utilisé.



De même, de l'autre côté de la cuve, se trouve une chambre. La vanne permettant de gérer la vidange se trouve dans cette chambre. Il y a aussi des installations non utilisées actuellement.



L'évacuation du trop-plein se fait par une conduite noyée à l'intérieur du mur, il est possible que le trop-plein se raccorde à la vidange avant la vanne de manœuvre, dans ce cas le trop plein serait inutile, la vanne étant normalement fermée (sauf en cas de vidange).

Les figures insérées ensuite, présentent schématiquement les tracés des conduites d'alimentation et de distribution des ouvrages.

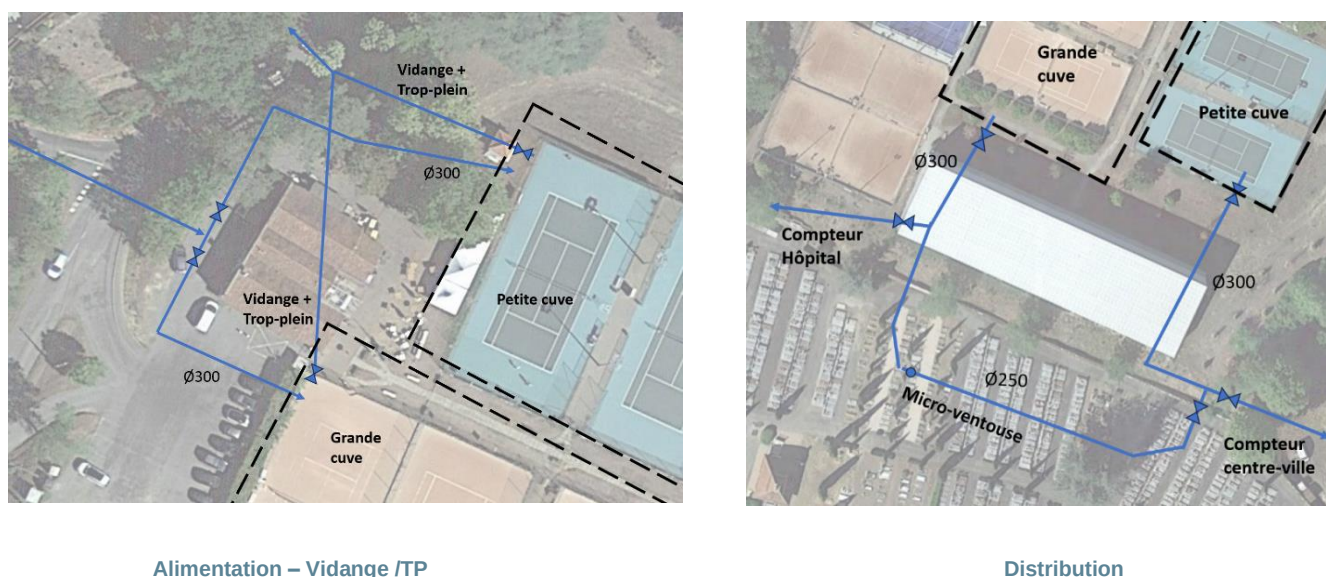


Figure 5 : Représentation schématique des tracés des conduites extérieures ouvrages

2.1.3 Cheminées d'aérations

Selon les spécifications du plan projet (archives) des cheminées ont été créées soit permettre la réalisation des travaux, soit pour permettre une aération des cuves.

Par suite de la création des courts de tennis, les cheminées étant recouvertes, elles ne peuvent plus remplir leur fonction de ventilation. Le plan ci-dessous indique la présence de :

- 8 cheminées sur la petite cuve ;
- 18 cheminées sur la grande cuve.

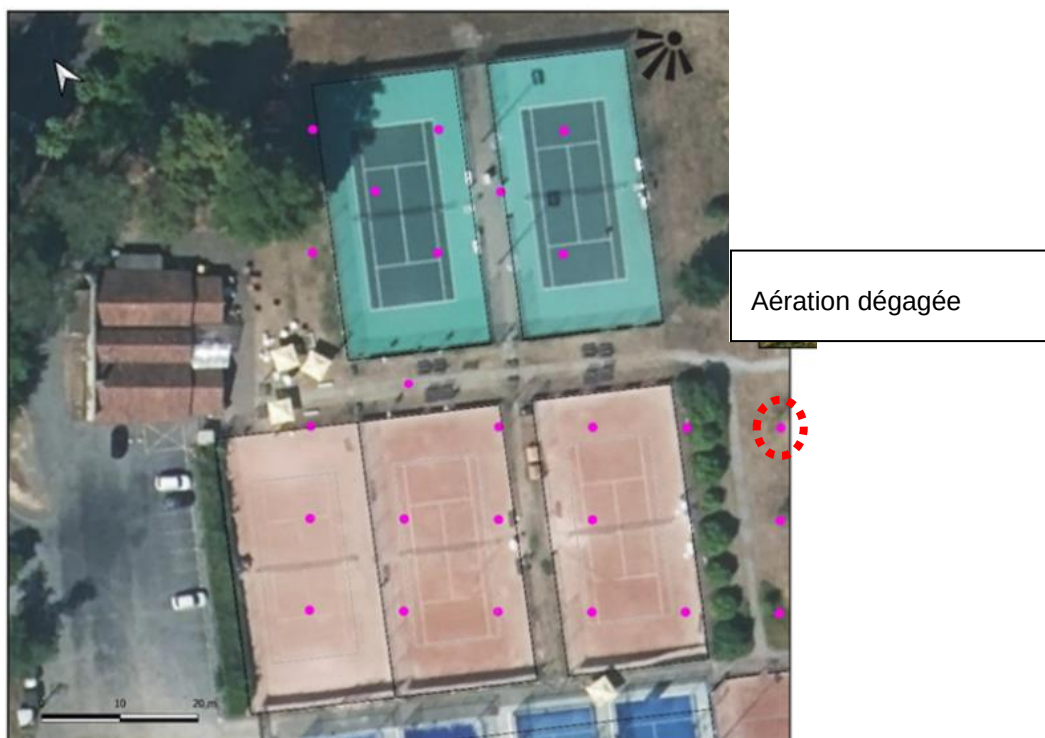


Figure 6 : Localisation des aérations

Des sondages ont été réalisés le 02/05/2024 dans le cadre de l'étude géotechnique sur le site, et une cheminée a été dégagée.

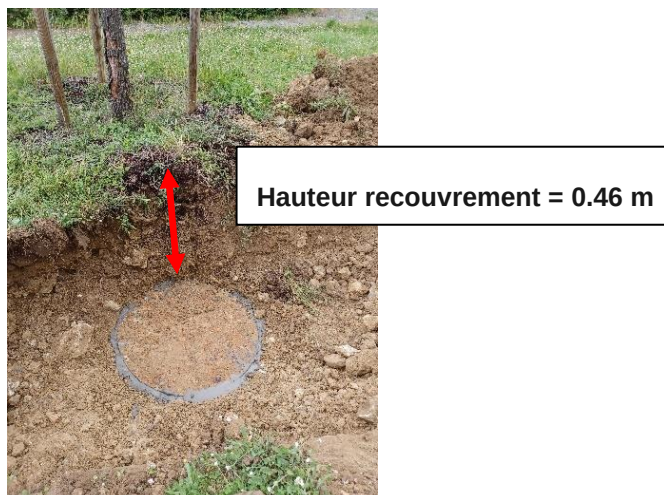


Cette cheminée est constituée d'une partie en pierre de 32 cm (en partie basse) puis d'une épaisseur de 87 cm de béton au dessus.

De plus les dimensions mesurées sont :

- Diamètre intérieur : Ø62 cm
- Epaisseur béton : 12 cm (Ø Ext : 86 cm)
- Diamètre de la plaque métallique : Ø83 cm
- Hauteur recouvrement de la plaque : 46 cm
- Profondeur partie basse cheminée par rapport au TN : 1.65 m

Après investigation, pour limiter les risques d'introduction de terre dans le réservoir lors du remblaiement, la plaque a été fixée au béton à l'aide d'un mortier.



Investigations réalisées

2.2

2.2.1 Investigations réalisées pendant la phase DIAG (rappels)

2.2.1.1 Diagnostic d'amiante :

Deux diagnostic Amiante (un par cuve), ont été réalisés par **l'entreprise SOCOTEC**, afin de déterminer la présence ou non d'amiante dans les ouvrages existants, avec :

- Le 1er a été réalisé sur la petite cuve (date d'intervention : 09/10/2023 – référence rapport : 2310COCTO - BI9600000000760) avec un total de 15 échantillons prélevés et analysés.
- Le second a été réalisé sur la grande cuve (date d'intervention : 20/11/2023 – référence rapport : 2310COCTO - BI9600000000761) avec un total de 34 prélèvements.

Les deux rapports réalisés révèlent **l'absence de matériaux ou de produits contenant de l'amiante sur les ouvrages existants.**

2.2.1.2 Synthèse des résultats des mesures et investigations sur le génie civil

Les ouvrages par leur nature, conception, situation et accès présentent des particularités et contraintes qui ont été mises en évidence dans ce rapport.

Il n'a pas été mis en évidence de défauts structurels majeurs qui nécessiteraient des reprises préalables sur la structure des ouvrages (hors chambre amont).

Par ailleurs compte tenu des observations, mesures et investigations réalisées, **les différentes solutions techniques de réhabilitation** (étanchéité via un revêtement de type résine époxy, un mortier hydraulique, la mise en œuvre de plaque PEHD...) **sont à ce stade techniquement envisageables.**

Globalement, nous pouvons retenir les principaux éléments suivants :

- **Absence de matériaux ou de produits contenant de l'amiante** sur les 2 ouvrages existants.
- **Absence de vides et de zone de creux** sur les voiles et poteaux des 2 cuves. De ce fait, aucun travail de confortement ou renforcement n'apparaît nécessaire.

Radier -Voiles périphériques

- Présence d'un radier général en bon état structurel (peu de fissures) sur la grande cuve, mais recouvert d'eau sur la majorité de sa surface (problème de pente généralisé) ;
- Présence d'un radier général fissuré sur la petite cuve et recouvert d'eau, mais dans des proportions inférieures à la grande cuve (problèmes de pente localisés sur 2 secteurs).
- Présence de voiles périphériques globalement en bon état, mais présentant des traces de calcite dues aux infiltrations, notamment sur la grande cuve, aux jonctions d'angles et sur les fissures constatées. Ces voiles sont composés de pierres calcaires recouvertes d'un enduit de mortier et d'un revêtement grossier d'imperméabilisation (hauteur variante de 3.80 à 4.80 m). De fortes zones d'humidité ont également été relevées sur la grande cuve.

Voûtes

- Présence de voûtes avec de nombreuses traces de calcites dues aux infiltrations – Ce phénomène est d'autant plus visible dans la grande cuve.

Essais arrachements / Laboratoire (voile, radier, pierres)

- Les mesures d'arrachement réalisées sur la petite cuve indiquent les valeurs de résistance moyennes suivantes :
 - 0.64 MPa sur les voiles testés & 0.73 MPa sur le radier ;
 - 0.84 kN au niveau des tests « chevilles » réalisés ;Néanmoins, ces valeurs sont soumises à des variations en fonction des secteurs testés et du niveau d'humidité
- Les mesures d'arrachement réalisées sur la grande cuve indiquent les valeurs de résistance moyennes suivantes :
 - 1.87 MPa sur les voiles testés & 0.51 MPa sur le radier ;
 - 0.96 kN au niveau des tests « chevilles » réalisés ;Néanmoins, ces valeurs sont soumises à de fortes variations en fonction des secteurs testés, notamment sur le radier, et du niveau d'humidité
- Les essais en laboratoire réalisés indiquent une masse volumique apparente des pierres situées autour de 2 400 kg / m³ et une porosité moyenne globale d'environ 10%.
- L'observation au microscope réalisée sur ces dernières indique également la présence d'argile sensible aux cycles rapides et répétés d'assèchements / humidification.

Enfin, la chambre adjacente à la grande cuve montre **des signes avancés de détérioration**, avec des infiltrations d'eau depuis la clé de voûte, entraînant une corrosion prononcée des poutres métalliques, parfois associée à des pertes de sections importantes.

Cette situation précaire requiert la mise en œuvre d'actions immédiates de sécurisation, avec la mise en place d'un barriérage et de la réalisation de travaux de reprise de la structure porteuse, qui ont depuis été réalisés.

2.2.2 Investigations réalisées pendant la phase AVP

2.2.2.1 Etude géotechnique de conception G2

Des sondages pressiométriques, des sondages semi destructifs ainsi que des sondages à la pelle mécanique et carottés ont été réalisés.

L'étude soulève les points d'attention suivant :

- Les sondages montrent la présence de remblai au-dessus des cuves. Des variations rapides et de forte amplitude sont attendues au voisinage des cuves ;
- La réalisation des futures tranchées va nécessiter des terrassements concernant des argiles à cailloutis, argile graveleuse, marron, beige, gris, rouille, remaniées et les argiles marneuses, argile sableuse à cailloutis calcaire. Ainsi sauf affleurements rocheux, la réalisation des déblais concernant les sols du site ne devrait pas poser de problème particulier au déblaiement ;
- Aucune arrivée d'eau n'a été observée dans les sondages lors des investigations ;
- La classe de sols estimée est E, caractérisant un sol comprenant une couche superficielle d'une épaisseur comprise entre 5 et 20 m reposant sur un matériau plus raide.

2.2.2.2 Sondage reconnaissance du mur extérieur

Deux sondages ont été réalisés pour observer l'état du mur extérieur des deux cuves, le 02/05/24 pour la petite cuve et le 13/05/24 pour la grande. L'objectif de ces sondages était d'observer l'état et les dimensions du mur en les comparant à un plan d'archive datant de 1881 :

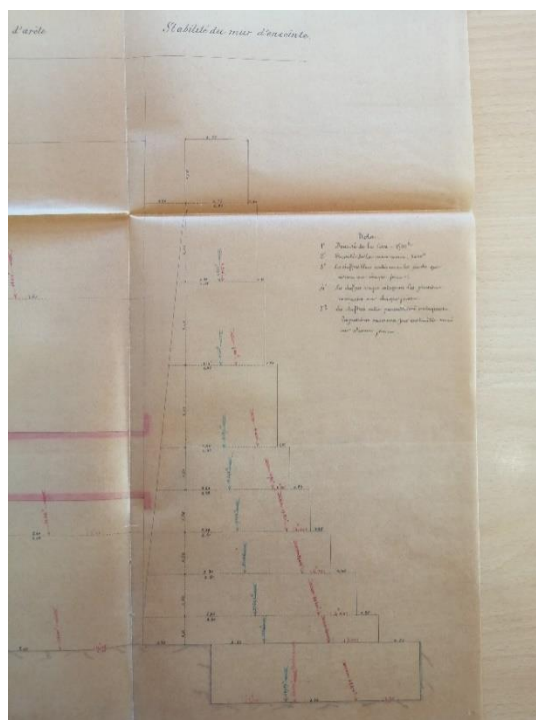


Figure 7 : Extrait plan d'archive

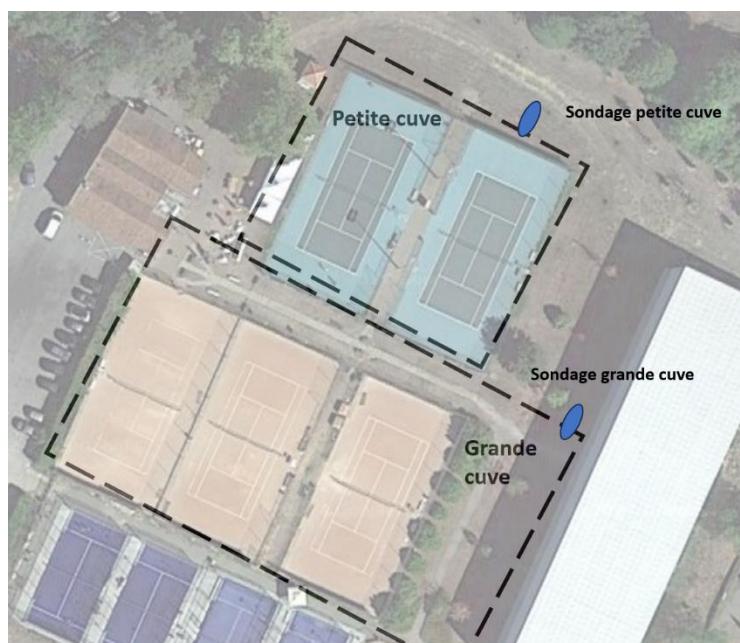


Figure 8 : Localisation des sondages

Petite cuve :

Le terrassement relatif à la petite cuve a été réalisé à côté des terrains de tennis à 80 cm du bord. Le dessus de la cuve se trouve à une profondeur de 1,90 m sous le terrain naturel, un drain en brique avait été réalisé, il mesure environ 20 x 20 cm.



Figure 9 : Terrassement réalisé petite cuve

Grande cuve :

Le terrassement relatif à la grande cuve a été réalisé le long du bâtiment des terrains de tennis couvert, à 50 cm du chemin d'accès au bâtiment.

Le dessus de la cuve se trouve à une profondeur de 1,50 m sous le terrain naturel, un drain en brique est aussi présent, il mesure environ 20 x 20 cm. Un premier redan a pu être observé, en creusant plus profond, un second redan a été observé à une profondeur de 2.90 m.

Le schéma réalisé suite au sondage est présenté ci-dessous :

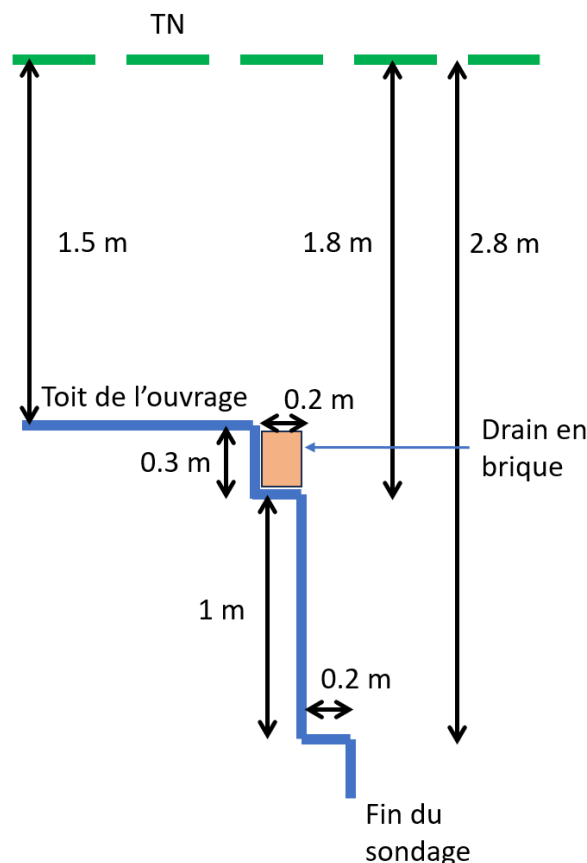


Figure 10 : Schéma des mesures réalisées lors du sondage de la grande cuve le 13/05/2024

Au-dessus de l'ouvrage, il y a un remblai en matériaux de type roche calcaire, cependant le reste du terrain ne présente que peu de terrain dur / roche.

Les dimensions trouvées ne correspondent pas parfaitement avec le plan issu des archives. Il y été précisé des redans de 10 cm, en réalité on observe plutôt 20 cm, de même les hauteurs des blocs ne sont pas exactement identiques aux indications des plans des archives :

- Sur les plans : hauteur premier bloc : 0.75 m ; hauteur deuxième bloc : 1 m ;
- Lors du sondage : hauteur drain en brique 30 cm ; premier bloc : 1 m ;

Nous n'avons pas observé de présence d'eau lors des sondages (malgré la pluviométrie des jours précédents).

Les terrassements ont été réalisés à la pelle mécanique sans problème particulier (pas de terrain dur ou très dur).

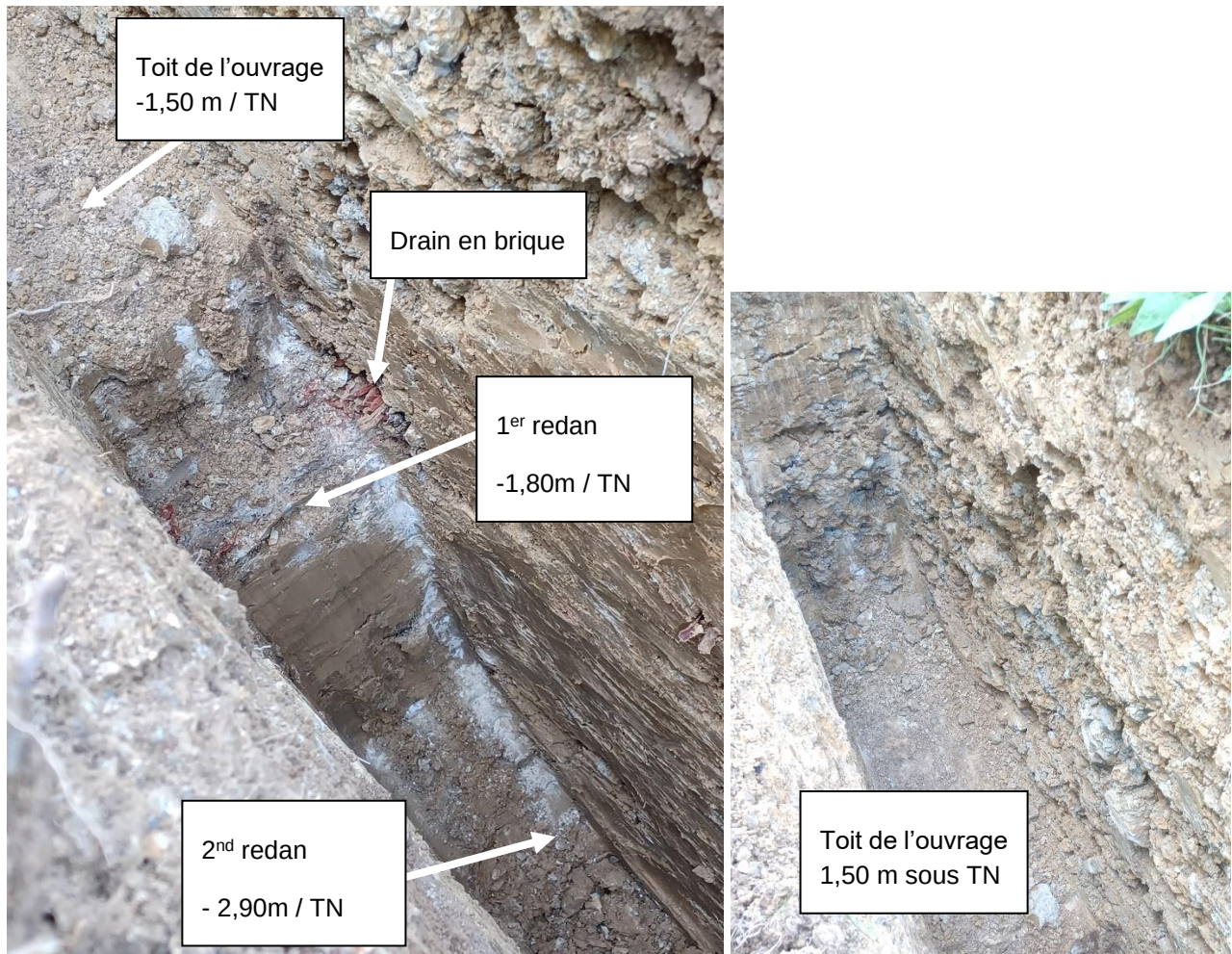


Figure 11 : Terrassement réalisé au niveau du voile de la grande cuve

D'après l'étude G2 AVP réalisée , on trouve :

- jusqu'à une profondeur de 5.4 /TN des argile marneuse, argile sableuse, argile à cailloutis calcaire, remaniée par l'histoire du site
- des sols en place moyennement à fortement sensibles au phénomène de retrait-gonflement

Aucune arrivée d'eau n'a été observée lors dans les sondages, même si des circulations d'eau ne sont pas exclues (un suivi piézométrique est en cours).

2.2.2.3 Arrivées d'eau au niveau des courts de tennis

Après entretien avec le personnel chargé de l'entretien des courts de tennis, nous avons retenus les points suivants :

- Les **3 courts en « terre battue »** présent au-dessus de la grande cuve, sont arrosés plusieurs fois par jour afin de permettre la pratique sportive. Un réseau de drain existe sous ces courts mais aucun

écoulement n'a été noté en sortie du réseau de drainage (au niveau du talus). Il est donc probable que ce réseau de drainage soit obturé ou écrasé.

- Ces courts sont refaits assez régulièrement (tous les ans) afin de les maintenir en état « praticable » (enlèvement, puis apport de matériaux, compactage...)
- Les **2 courts en « dur »** (matériaux résine synthétique « green set ») présentent des pentes générales orientées vers l'extérieur des terrains, mais également plusieurs « flashes » qui nécessitent une intervention des agents d'entretien suite à des intempéries (balayage, évacuation des eaux...)
- Trois robinets sont présents sur les courts de tennis : A signaler une fuite existante au niveau d'un robinet situé entre les 2 terrains en terre battue (cf. photo ci-dessous)

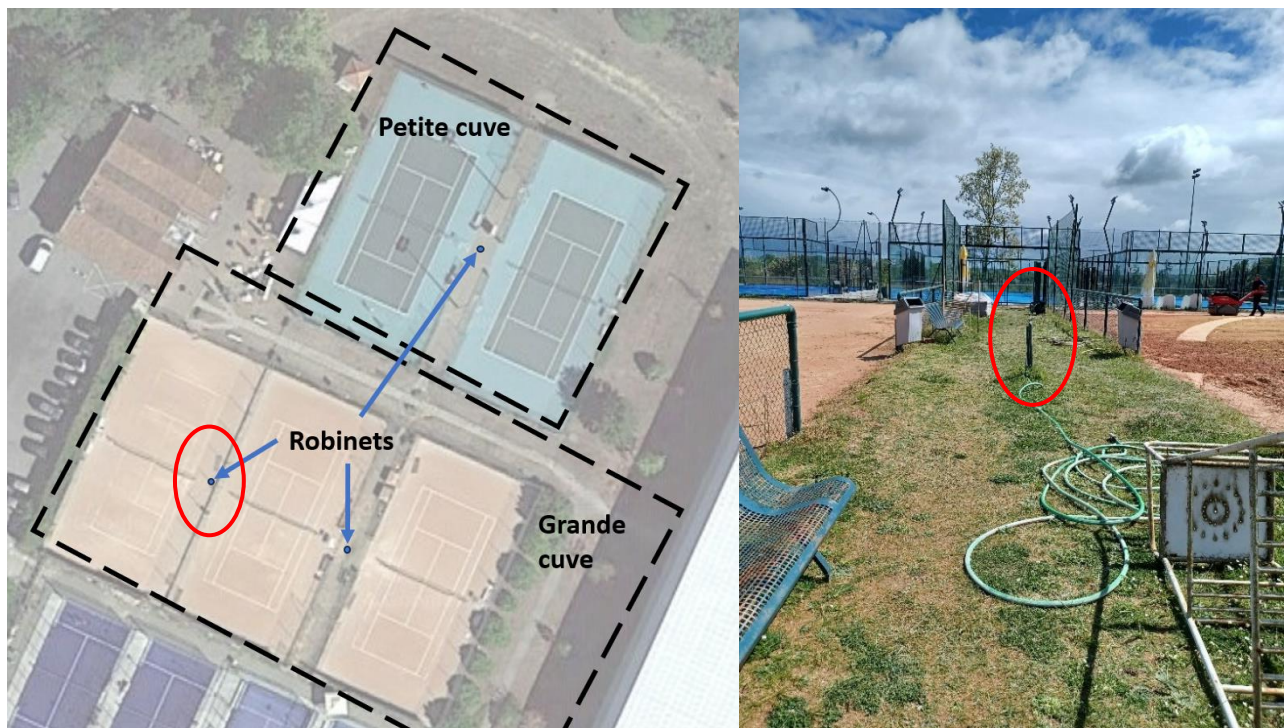


Figure 12 : Localisation des robinets présents sur les courts de tennis

Il sera nécessaire de vérifier l'étanchéité de ces équipements et de reprendre les défauts d'étanchéité si nécessaire afin de limiter les infiltrations dans la grande cuve.

3 PROPOSITION DE TRAVAUX

Les travaux envisagés, issus du cahier des charges de la consultation, ont été précisés suite aux études préalables (génie civil, , géotechnique, diagnostic...) et aux visites et inspections détaillées réalisées. Ils comprennent :

- La reprise de l'étanchéité des 2 cuves
- La reprise des radiers (forme de pente et étanchéité)
- Le remplacement des équipements hydrauliques dégradés
- L'amélioration de la circulation de l'eau dans les cuves
- La création d'aération au niveau des 2 cuves
- Le drainage périphérique des cours

Enfin, la création de nouveaux accès aux cuves à été envisagés dans le cadre des travaux de la station de pompage.

Reprise de l'étanchéité des cuves

3.1

Dans ce paragraphe, nous allons examiner les différentes techniques permettant d'assurer l'étanchéité des parois des deux cuves des réservoirs d'eau potable.

L'objectif est de garantir l'intégrité structurelle du réservoir et qu'il ne présente pas de fuites potentielles vers et depuis l'extérieur.

Il est prévu de reprendre l'étanchéité

- Des voiles périphériques ;
- Du radier, avec reprise des pentes ;
- Les piliers seront repris en partie basse (sur le premier mètre).

Concernant les piliers, leurs états (cf. Phase Diagnostique), n'imposent pas une reprise impérative des surfaces. La partie en pierre des piliers est dans un état correct.

Pour le plafond (sous face) nous n'avons pas envisagé d'installer un revêtement étanche car les eaux d'infiltration qui arriveraient par le dessus du réservoir seraient piégées et il y aurait une accumulation pouvant conduire à l'apparition de fissures et de dégradations supplémentaires.

Il n'est pas envisageable de reprendre l'étanchéité depuis l'extérieur. Cette solution présent l'inconvénient d'entraîner des terrassements à grande profondeur, la reprise des courts de tennis présents sur les deux cuves. Il est cependant prévu de réaliser un système de drainage autour des terrains de tennis pour récupérer au mieux les eaux pluviales.

Dans le cadre de la réhabilitation du réservoir, il est essentiel de garantir une étanchéité optimale des parois afin d'assurer la conservation de la structure et d'empêcher les pertes en eau ou infiltration d'eau dans les cuves contenant de l'eau potable.

Pour ce faire, et suite au diagnostic réalisé précédemment, plusieurs méthodes sont envisageables à ce stade, chacune présentant ses avantages et ses limitations. Nous examinerons ici trois techniques envisageables :

- Mise en œuvre de plaques en polyéthylène haute densité (PEHD),
- L'application d'un revêtement à base de résine époxy,
- L'application d'un revêtement à base de mortier hydraulique.

3.1.1 Mise en œuvre de Plaque en PEHD

3.1.1.1 Généralités

L'installation de plaques PEHD constitue une méthode éprouvée pour améliorer l'étanchéité des parois de réservoirs. Les plaques PEHD offrent une barrière imperméable efficace contre à la fois les infiltrations d'eau et les fuites. Leur installation est relativement facile pour des géométries simples et leur durabilité en fait une option attrayante pour les applications nécessitant une protection à long terme contre la corrosion et les agressions chimiques.

Les plaques PEHD sont des plaques en polyéthylène haute densité, auto-clipsable, munie d'un système de fixation sur la face arrière. Ce système est particulièrement adapté aux surfaces très fissurées, en effet il se place devant les parois actuelles et ne nécessite que peu de travaux de reprise même avec des parois en mauvais état.

Les plaques apportent des solutions aux problèmes liés à la détérioration des réservoirs d'eau existants.

Le procédé permet de :

- Supprimer des fuites d'eau de l'intérieur vers l'extérieur ;
- Supprimer l'intrusion de liquide de l'extérieur vers l'intérieur en passant par le béton ;
- Protéger la qualité de l'eau.



3.1.1.2 Principe

L'installation repose sur la pose dans un 1^{er} temps de rails le long des parois, suivie de la fixation des plaques PEHD à l'aide d'un système de type ergots clips.

Les rails sont fixés mécaniquement dans le support. Un rail (largeur 50 mm) sera positionné tous les mètres environ sur l'ensemble des parois. La fixation des rails sur les supports sera réalisée avec des chevilles à frapper inox de diamètre 6 ou 8 mm et de longueur 50 mm environ. Ces caractéristiques devront être confirmées en phase de préparation de chantier.

Des essais d'arrachement ont été effectués dans le cadre de la phase diagnostic. Les valeurs mesurées lors de ces essais permettent de valider la résistance et qualité des supports pour permettre la fixation de ce type de plaques PEHD.

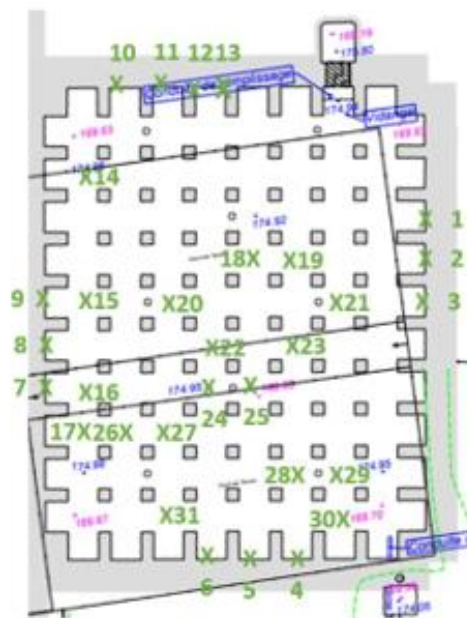


Figure 10: Localisation des essais d'arrachement – petit réservoir



Figure 34 : Localisation des essais d'arrachement sur chevilles – grand réservoir

Figure 13 : Localisation des essais d'arrachement sur chevilles dans les deux cuves (extrait : Rapport d'étude Diagnostic et Durabilité des Structures ; SETEC- LERM)

Pour la petite cuve,

Les **essais d'arrachement sur chevilles** ont été réalisés avec des chevilles à frapper d'un diamètre Ø8 mm et d'une longueur de 60 mm. Les résultats obtenus montrent des valeurs d'arrachement hétérogènes, allant de 0,32 à 1,48 kN pour une moyenne de 0,84 kN.

Pour la grande cuve,

Les **essais d'arrachement sur chevilles** ont été réalisés avec des chevilles à frapper d'un diamètre Ø8 mm et d'une longueur de 60 mm. Les résultats obtenus montrent des valeurs d'arrachement hétérogènes, allant de 0,21 à 1,45 kN pour une moyenne de 0,96 kN.

D'après les fiches techniques , les chevilles supportent entre 8 et 16 kg de traction.
Les supports existants de 2 cuves permettent donc d'envisager ce type de fixations.

Le schéma suivant présente le système de fixation.

Les plaques PEHD sont représenté **en bleu**, le rail de fixation est **en rouge**. Les ergots (en bleu) s'insèrent dans le rail, les picots en jaune permettent de laisser un espace entre la paroi du mur de fixation et la plaque PEHD.



Figure 14 : schéma type du système de fixation

Les plaques à ergots clipsables se présentent sous forme de rouleaux et ont une largeur de deux mètres et une longueur adaptable suivant le projet. Leur épaisseur est de 4 mm.

Les ergots rendent possible un drainage entre les plaques en PEHD et les murs des réservoirs. Il y a donc une évacuation permanente des infiltrations et des condensats, entre les plaques et la paroi du réservoir. Ce système implique un drainage de ces eaux infiltrées, mais présente l'avantage de pouvoir vérifier les variations de débits et donc les fuites éventuelles ou dans l'autre sens les infiltrations depuis l'extérieur.

Seul le polyéthylène, matériau approuvé dans le domaine alimentaire (et possédant une ACS), entre en contact avec l'eau. Toutes les pénétrations se font de préférence en tuyauterie PEHD directement soudée sur les plaques ce qui assurent une étanchéité complète au niveau des pénétrations.

3.1.1.3 Méthodologie de mise en œuvre

La première phase du chantier consistera à définir une zone d'installation pour la base de vie ainsi que pour le stockage des équipements nécessaires pour le bon déroulement des travaux (découpe, soudage...) et entreposer les matériaux (rails, rouleaux pehd...)

Les surfaces (parois) seront simplement préparées par :

- sonnage et enlèvement des zones de béton friables

- nettoyage Haute Pression de toutes les surfaces pour éliminer les dépôts, concrétions, oxydations ou revêtement dégradé, non cohésif.

permettant par la suite la mise en place et adhérence optimale des rails et des plaques.

Une attention particulière devra être portée aux points singuliers tel que les goussets, les évacuations, vidanges, supports sondes, ainsi qu'aux autres éléments de canalisations. Ces points singuliers nécessitent un calepinage précis et par la suite des découpes adaptées.



Figure 15 : Mise en œuvre des plaques PEHD

Pour la pose des plaques et le traitement des points singuliers, **la pose s'effectue selon la description suivante :**

- Pose à l'avancement : fixation du premier rail, pose de la première plaque, pose du second rail... jusqu'à achèvement de l'habillage des parois
- Les surfaces sont calepinées. Les plaques munies de picots sont préparées, découpées puis mises en œuvre à l'aide des rails et ajustées. Les picots permettent le maintien d'une lame d'air de 5 mn à l'endos des plaques : cette lame d'air constitue à la fois un dispositif de ventilation et un dispositif drainant
- Les plaques sont posées de façon libre. Les canalisations et leurs accessoires (supports, renforts) sont réalisés sur places et ajustés. Les joints sont assurés par la soudure des plaques entre elles. La soudure est réalisée par un fil de soudure à l'aide d'un pistolet à air chaud et de fil PEHD afin de solidifier l'ensemble.

Pour qu'il y ait une bonne thermo fusion entre la matière PEHD des plaques et celle apportée par l'extrusion, il est nécessaire de réaliser un rabotage manuel et minutieux afin de décaper et d'ôter la fine pellicule d'oxyde présente sur le PEHD avant l'opération de soudure. Les plaques sont finalement soudées par extrusion.



Figure 16 : Soudure des plaques

La réalisation des soudures entre plaques par du personnel qualifié devra être réalisée en respectant la norme EN 13067.(qualification soudage plastique)

Points signuliers

Une attention particulière sera nécessaire pour le traitement des points particulier tel que :

- **Le gousset présent à la base des piliers et des parois latérales**

La plaque prendra la forme des poteaux et des goussets.

- **Canalisations alimentation, distribution, vidange... :**

Elles seront reprises puis traitées sur mesure sur site.

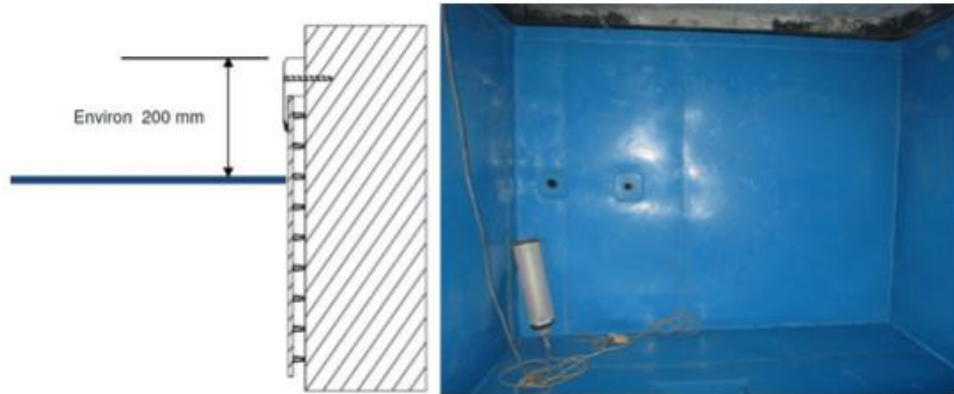
- **Les supports pour canalisations, sonde, etc. :**

Les supports peuvent être réalisé en PEHD plaques de renfort fabriquées sur place, et ce de manière horizontale ou verticale.



- **Terminaison haute des plaques**

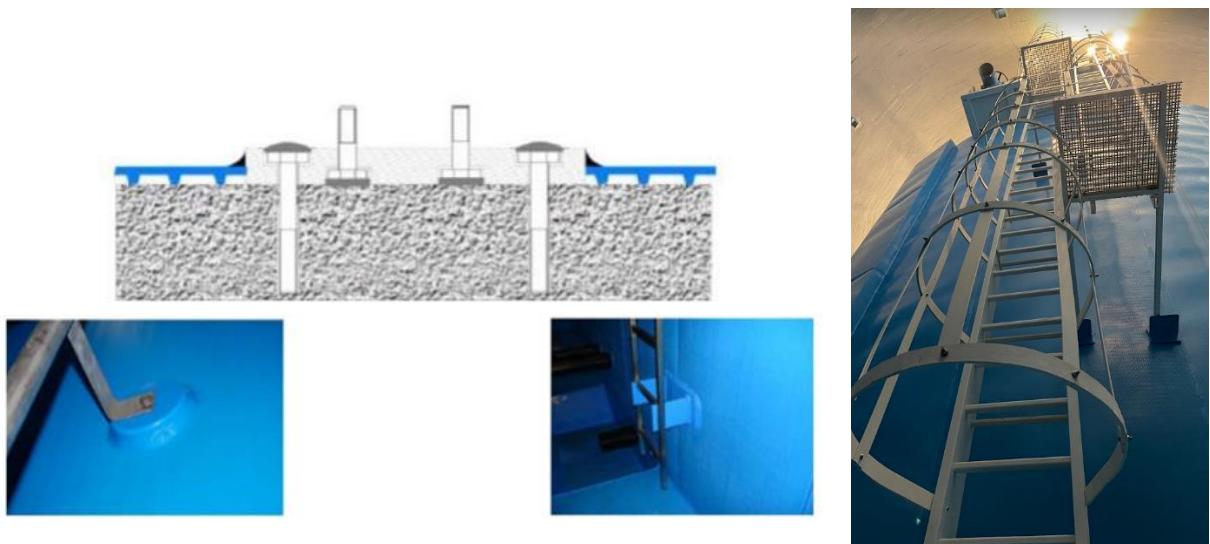
La terminaison haute des plaques sera réalisée avec un profilé en PEHD



Point important : les terminaisons hautes des plaques devront impérativement être situées au-dessus du niveau d'eau maximum de la cuve afin de garantir l'étanchéité du système. Cela signifie que les poteaux devront donc être recouverts de plaques PEHD sur toutes leurs hauteurs

- **Système d'ancrage pour les échelles :**

Ancrages, totalement étanches, réalisés avec des plaques pleines en PEHD directement fixées sur le béton ou bien soudées directement sur la plaque.



Evacuation des eaux d'infiltration et des condensats

Il est nécessaire de prévoir la mise en place d'un réseau de drainage afin d'évacuer les condensats et eaux d'infiltrations pouvant circuler entre les plaques (à l'arrière des plaques) et le génie civil existant.

Pour ce faire, le radier sera repris comme décrit plus précisément ensuite eu paragraphe 3.1.5.2 « Reprise des radiers des deux cuves », avec la création de pentes et de caniveaux. Le système dégage un espace

entre les parois (support) et les plaques, les eaux pourront donc y circuler, et une canalisation devra être installée au niveau du caniveau pour évacuer les eaux infiltrées (vers la vidange)

Un système de mesure de débit sera aussi installé, afin de contrôler la présence de fuite. En effet si le débit mesuré varie et augmente rapidement sans raison précise (événement pluvieux, ...) cela peut signifier l'apparition d'une fuite. Le cas d'un débit constant, représente des condensats formés de manière régulière.

3.1.1.4 Essais & contrôle

Il sera nécessaire de vérifier le bon respect des normes alimentaires nous exigerons la fourniture :

- Des ACS des matériaux proposés en contacts avec l'eau ;
- Les rapports de vérification (analyses par laboratoire agréée) de l'absence de BPA dans les plaques PEHD.

A l'arrivée des matériaux, un premier contrôle visuel est à réaliser. Les points importants sont :

- L'endommagement lors du transport, de la manutention et du stockage sur site.
- Le contrôle de la conformité des produits livrés par rapport à la commande

Une fois l'ensemble des travaux terminés, une recherche de perforation par arc électrique sera réalisée par une entreprise externe.

Le principe de la méthode de l'arc électrique est basé sur la propagation du courant électrique dans le sol et sur les propriétés isolantes du revêtement

La génératrice haute tension portable est connectée à la terre et au balai électrique :

- Lorsque le revêtement est intact, l'alvéole est totalement isolée de la terre, le circuit est ouvert, aucun courant électrique n'est mesuré au sein de l'alvéole.
- En présence d'une perforation, la capacité est « percée », au passage du balai, un arc électrique se forme et ferme le circuit. Cet arc électrique est accompagné de signaux visuels et sonores alertant l'opérateur de la présence d'un défaut. Une reprise ponctuelle est alors réalisée.

Des **essais d'étanchéité a l'eau** seront également réalisées afin de s'assurer de la conformité de la prestation. Les épreuves seront réalisées conformément aux préconisations du fascicule 74.

Si besoin est, le titulaire effectuera les réparations nécessaires et les épreuves seront recommencées jusqu'à complète satisfaction. En cas d'essai non concluant, Le titulaire procède aux réparations nécessaires et réitère l'essai et dans ce cas le cout de l'eau de remplissage de la cuve est à la charge du titulaire.

3.1.1.5 Synthèse de la solution technique des plaques PEHD

Cette solution a l'avantage d'être totalement étanche (dans les 2 sens), elle ne laissera pas passer les eaux souterraines de la nappe dans le réservoir, or les plaques n'étant pas collées contre le mur, il peut y avoir une accumulation d'eau (entre le mur et les plaques). Il est dès lors nécessaire d'évacuer les eaux accumulées derrière les plaques et de créer des pentes pour rediriger les eaux vers une évacuation.

Mise en œuvre et délais

Les délais pour la mise en œuvre de cette solution sont relativement longs, car elle nécessite de nombreuses découpes, ajustements, soudures...et du personnels spécialisé.

Compte tenu des surfaces concernées, de la configuration des cuves (nombreux piliers), les délais peuvent être estimés à

- 14 à 15 mois environ pour la grande cuve
- 10 à 11 mois environ pour la petite cuve

Estimation financière

Le montant total estimé des travaux de reprise des surfaces des cuves en PEHD (avec reprise du radier) est de

- 1 819 000 € HT pour la petite cuve dont 1 556 000 € HT pour l'étanchéité),
- 4 009 000 € HT pour la grande cuve (dont 3 511 000 € HT pour l'étanchéité),
- Total 5 828 000 € HT

en ne prenant en compte que la réalisation de l'étanchéité des surfaces en eaux (hors sous face)

Principaux avantages :

- Haute résistance chimique et mécanique du PEHD ;
- Bonne étanchéité dans les 2 sens
- Durabilité à long terme (garantie fabricant jusqu'à 50 ans, garantie pose 10 ans.

Principales contraintes :

- Coût initial plus élevé que d'autres techniques ;
- La mise en œuvre est facilitée si la géométrie des ouvrages est simple. Dans notre cas avec la présence des piliers, des goussets et des voutes l'installation risque d'être plus complexe et donc plus contraignante ;
- Délais des travaux très longs ;
- Il sera nécessaire de drainer les eaux présentes à l'arrière des parois PEHD ;
- Afin de garantir l'étanchéité, nécessité de recouvrir toutes les surfaces en eau, et les piliers sur toute leur hauteur (impossible de conserver l'aspect d'origine des pierres).

3.1.2 Mise en œuvre d'un revêtement d'étanchéité par résine époxy :

3.1.2.1 Généralités

La reprise de l'étanchéité par un revêtement en résine époxy est une méthode éprouvée pour améliorer l'étanchéité des parois de réservoirs. Cette solution offre une barrière étanche efficace contre à la fois les infiltrations d'eau dans la cuve, et les fuites depuis la cuve vers l'extérieur.

Le procédé permet de :

- Supprimer des fuites d'eau potable de l'intérieur vers l'extérieur ;
- Supprimer l'intrusion d'eau de l'extérieur vers l'intérieur après avoir traversé les parois;
- Protéger la qualité de l'eau potable, l'eau étant en contact avec une surface présentant peu d'aspérité.

3.1.2.2 Principe

Une résine époxy est un polymère thermodurcissable obtenu par la réaction de résines époxydes avec des agents durcissant. Le complexe d'étanchéité par résines époxy comprend différentes couches, telles que : primaire, imprégnation, armature, saturation, finition...

Nota important : une préparation adaptée des supports est à prévoir avant application du complexe d'étanchéité, afin d'obtenir une cohésion de surface minimale du support ($C > 1$ MPa au minimum)

Les mesures d'arrachement réalisées lors du diagnostic indiquent les valeurs de résistance moyennes suivantes :

- Pour la petite cuve (30 essais) de 0.64 MPa (0.31 à 1.13 MPa) sur les voiles & 0.73 MPa (0,15 à 1,20 MPa) sur le radier ;
- Pour la grande cuve (57 essais) de 1.87 MPa (0,95 à 2,66 MPa) sur les voiles & 0.51 MPa (0,16 à 1,18 MPa) sur le radier ;

Ces valeurs sont soumises à des variations assez importantes en fonction des secteurs testés et du niveau d'humidité des supports.

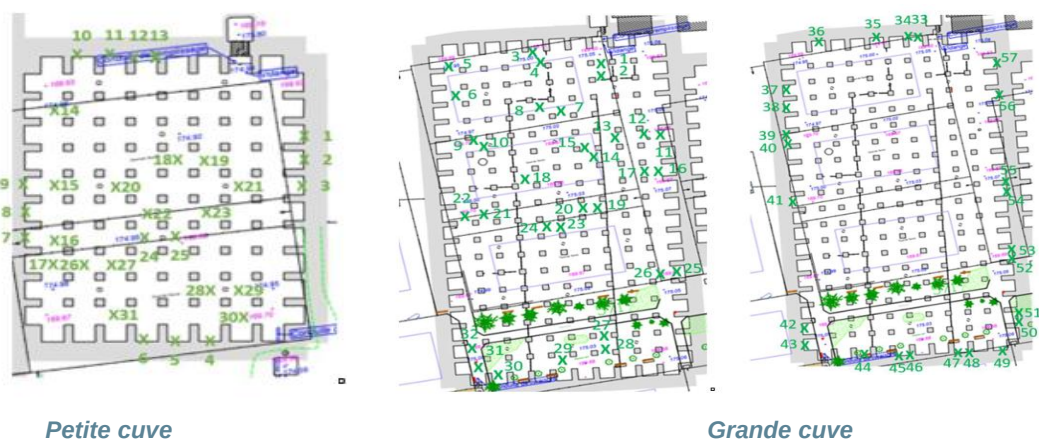


Figure 17 : Localisation des essais d'arrachement (SATEC) dans les deux cuves (extrait : Rapport d'étude Diagnostic et Durabilité des Structures ; SETEC- LERM)

3.1.2.3 Méthodologie de mise en œuvre

Préparation des supports

Avant d'appliquer le complexe d'étanchéité par résine époxy, une préparation minutieuse de la surface des cuves est essentielle.

Les principales étapes sont les suivantes :

- Sonnage et enlèvement des zones de béton friables
- Il sera tout d'abord réalisé un décapage haute pression ou un décapage par sablage des parois des cuves, afin éliminer toute trace d'oxydation, concrétions, calcification ou autres imperfections. À cette fin, l'utilisation d'un nettoyeur haute pression permet d'éliminer efficacement les zones non adhésives assurant ainsi une surface propre. La méthode par sablage à l'avantage de créer une surface plus rugueuse permettant une meilleure accroche pour les couches ultérieures.
- Une fois la surface nettoyée, il sera nécessaire d'inspecter attentivement toutes les zones afin de détecter toute fissure, éclat, joint défectueux ou point singulier. En particulier en cas de fissure importante, elle sera traitée spécifiquement (ouverture en V, agrafage, pontage, remplissage au mortier hydraulique de réparation sans retrait...)
- Compte tenu de la présence de quelques fissures, éclats, suintements, traces de calcification... et afin d'assurer une qualité homogène des supports, nous avons prévu la reprise de l'ensemble des parois par la mise en œuvre d'un revêtement au mortier hydraulique sur une épaisseur de 10 à 15 mm Cette reprise garantira la mise en œuvre du complexe d'étanchéité sur une surface homogène, plane et présentant une bonne cohésion (avec des valeurs largement > 1 MPa)

Mise en œuvre du complexe d'étanchéité

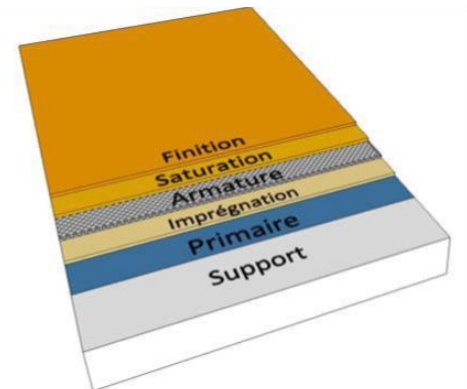
La pose de la résine d'étanchéité nécessite des conditions strictes d'application pour assurer la qualité de la résine ainsi que la sécurité des ouvriers. Il sera mis en place :

- Mise en place d'extracteurs d'air, de chauffages et de déshumidificateurs;
- Contrôle des températures, hygrométrie et points de rosé avant application et au minimum 2 fois par jour ;
- Contrôle régulier des consommations tout le long de l'opération.

Après préparation des supports, il est possible de commencer l'application du revêtement d'étanchéité. Il est prévu un système REA de type adhérent, selon le fascicule 74.

L'étanchéité de la cuve par une résine de type époxy nécessite la mise en œuvre de différentes couches suivantes possédant une Attestation de Conformité Sanitaire :

- Une couche de primaire
- Une première couche de résine d'imprégnation
- Pose d'un tissu d'armature (toile de verre) d'un grammage classiquement de 450 g/m²
- Une couche de saturation de la toile à la résine
- Un saupoudrage de silice (accroche)
- Enfin une couche de finition



La couche de primaire permet d'obturer les pores du matériau de base (support) et assurer une adhésion optimale des couches suivantes. Les différentes couches permettent ainsi d'augmenter l'épaisseur du complexe et de garantir la résistance de la barrière étanche.

Les couches sont appliquées manuellement, sauf la couche de finition qui peut être réalisée par projection.

Il sera créé des congés aux extrémités pour assurer l'étanchéité du complexe, et éviter que l'eau ne s'infilte derrière les différentes couches

Enfin, il convient de laisser durcir le revêtement conformément aux spécifications du fournisseur, assurant ainsi une finition optimale et une protection efficace de la cuve. La résine subit un processus de durcissement où elle passe d'un état liquide ou semi-liquide à un état solide. La mise en eau peut être réalisé après 7 j de séchage.



Points singuliers

Une attention particulière sera nécessaire pour le traitement des points particulier tel que :

Traitement de la liaison radier/voile :

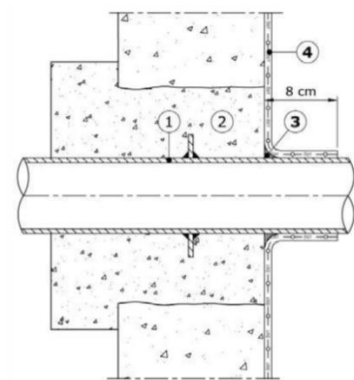
Les liaisons entre parties courantes horizontales et partie verticales (liaison radier-voile, gousset) seront traitées par pontage, bouchardage, masticage...

- Ponçage si arêtes vives au droit des angles
- Nettoyage préalable
- Réalisation d'un solin en mortier hydraulique ou à la pâte époxydique.



Remontée sur les canalisations façon bague étanche :

La continuité du revêtement d'étanchéité sur les éléments traversants sera assurée par une remontée façon bague étanche en résine époxy armée sur les conduites :



3.1.2.4 Essais & contrôle

Les fiches de contrôle qui seront réalisées pour la préparation du support :

Plusieurs paramètres doivent être évalués pour garantir la qualité du travail sur le chantier.

La cohésion superficielle des supports doit être vérifiée avant application du complexe d'étanchéité (essais d'adhérence)

L'évaluation des états de surfaces (rugosité) ainsi que des profils de surface sont essentielles pour garantir la planéité et la qualité de la finition.

Les fiches de contrôle qui seront réalisées contrôler pour la mise en œuvre

Enfin, il est important de procéder à une vérification des conditions d'ambiance générale sur le chantier afin de s'assurer que les paramètres environnementaux sont conformes aux exigences pour la réalisation du travail (températures de l'air et des support, hygrométrie, point de rosé)

Il est impératif que les épaisseurs relevées et la cohésion superficielle du revêtement répondent aux normes minimales prescrites par le fabricant pour bénéficier des garanties Les contrôles suivants doivent être réalisés sur toutes les surfaces traitées :

- L'aspect et la continuité doivent faire l'objet d'un examen visuel sur toute la surface revêtue, le revêtement doit être de couleur et d'aspect uniforme (absence de bullage...), exempt de défauts préjudiciables à la qualité du revêtement (cas des revêtements au liant de synthèse stratifié et au liant hydraulique).
- La non-porosité du revêtement (revêtement au liant de synthèse stratifié) : visuel et en utilisant un dispositif de type balai électrique.

Ces contrôles seront réalisés en autocontrôle par le titulaire (et à sa charge) et feront l'objet d'une fiche / PV spécifique. Le maître d'ouvrage peut faire réaliser en externe des contrôles de ce type.

Dans les 2 cas (autocontrôle et contrôle externe) l'entreprise devra reprendre (à sa charge) tous les défauts constatés.

Des **essais d'étanchéité à l'eau** seront également réalisées afin de s'assurer de la conformité de la prestation. Les épreuves seront réalisées conformément aux préconisations du fascicule 74.

Après achèvement de la reprise d'étanchéité et après avoir respecté le délai de séchage donné par le fabricant (7 j minimum), un essai d'étanchéité sera fait afin de détecter d'éventuelles défaut d'étanchéité de l'ouvrage.

En cas d'essai non concluant, le titulaire du marché, procédera à l'identification des défauts, aux réparations nécessaires et réitérera l'essai en eau jusqu'à obtention des tolérances précisées au fascicule 74.

3.1.2.5 Synthèse de la solution

L'application d'un revêtement d'étanchéité à base de résine époxy offre une solution efficace pour assurer l'étanchéité des parois des réservoirs. Les revêtements époxy sont connus pour leur adhérence et leur résistance exceptionnelles, ce qui en fait un choix populaire pour les structures exposées à des conditions environnementales difficiles comme les réservoirs d'eau potable.

Mise en œuvre et délais

Compte tenu des surfaces concernées, de la configuration des cuves (nombreux piliers), les délais peuvent être estimés à :

- 10-mois environ pour la grande cuve
- 8 mois environ pour la petite cuve

Estimation financière

Le montant estimé des travaux pour la reprise de l'étanchéité par résine epoxy (avec reprise du radier) est de

- 1239 000 € HT pour la petite cuve (dont 976 000 € HT pour l'étanchéité)
- 2 254 000 € HT pour la grande (cuve (dont 1 756 000 € HT pour l'étanchéité)
- Total 3 493 000 € HT

Principaux avantages :

- Bonne résistance chimique et mécanique ;
- Convient bien aux surfaces irrégulières et en réhabilitation,
- Bonne étanchéité (eau et vapeur) ?
- Résistance à la fissuration (10/10 -ème)

Principales contraintes :

- Coût initial ;
- Résistance à la contre pression (eau extérieure) jusqu'à 14 m de CE d'après les données fournisseurs
- Nécessite une préparation minutieuse de la surface (support)

A noter : garantie décennale et retour d'expérience de l'ordre de 15-20 ans

3.1.3 Reprise au mortier hydraulique de cuvelage (imperméabilisation)

3.1.3.1 Généralité

Cette solution technique n'est pas un système étanchéité, mais constitue un revêtement d'imperméabilisation. (laisse passer la vapeur d'eau).

Cet enduit d'imperméabilisation autorise le passage de la vapeur d'eau, ce qui engendre cependant une meilleure résistance aux contres pressions.

Contrairement à la résine d'étanchéité, cette solution technique possédant une rigidité plus importante, ne résiste peu à la fissuration.

3.1.3.2 Principe

La reprise à l'enduit de cuvelage mince consiste en la reprise des fissures et des défauts et en l'application d'une couche de mortier de cuvelage Ce mortier agira comme une nouvelle paroi solide qui stoppera les infiltrations d'eau. Cette solution à l'inconvénient d'utiliser un mortier relativement rigide, qui ne se déforme

pas et en cas de mouvement de terrain ou d'apparition de fissure sur les parois extérieures, le mortier peut également se fissurer et ponctuellement réduire le niveau d'étanchéité.

3.1.3.3 Méthodologie de mise en œuvre

Comme la solution d'étanchéité par résine époxy, une préparation de la surface de la cuve est nécessaire avant d'appliquer l'enduit mince de cuvelage car il ne permet pas de reprendre les défauts de surface constatés (fissures, éclats...)

Les principales étapes sont les suivantes :

- Sonnage et enlèvement des zones de béton friables
- Il sera tout d'abord réalisé un décapage haute pression ou un décapage par sablage des parois des cuves, afin éliminer toute trace d'oxydation, concrétions, calcification ou autres imperfections. À cette fin, l'utilisation d'un nettoyeur Haute Pression permet d'éliminer efficacement les zones non adhésives assurant ainsi une surface propre. La méthode par sablage à l'avantage de créer une surface plus rugueuse permettant une meilleure accroche du revêtement d'imperméabilisation,
- Une fois la surface nettoyée, il sera nécessaire d'inspecter attentivement toutes les zones afin de détecter toute fissure, éclat, joint défectueux ou point singulier. En particulier en cas de fissure importante, elle sera traitée spécifiquement (ouverture en V, agrafage, pontage, remplissage au mortier hydraulique de réparation sans retrait...)
- Compte tenu de la présence de quelques fissures, éclats, suintements, traces de calcification... et afin d'assurer une qualité homogène des supports, nous avons prévu la reprise de l'ensemble des parois par la mise en œuvre d'un revêtement au mortier hydraulique sur une épaisseur de 10 à 15 mm Cette reprise garantira la mise en œuvre du complexe d'étanchéité sur une surface homogène, plane et présentant une bonne cohésion.

Le mortier de cuvelage pourra ensuite être appliqué. Le mortier peut être appliqué manuellement ou mécaniquement (projeté) en 2 couches. L'épaisseur finale de l'enduit sera de 3 à 4 mm

Les conditions d'ambiance à vérifier concerne uniquement la température (+5 à +30 °C).

3.1.3.4 Essais et contrôle

Les contrôles suivants doivent être réalisés sur toutes les surfaces traitées :

- L'aspect et l'uniformité doivent faire l'objet d'un examen visuel sur toute la surface revêtue. Le revêtement doit être de couleur et d'aspect régulier, exempt de défauts préjudiciables à la qualité du revêtement (planéité, cohésion superficielle...)

Des **essais d'étanchéité à l'eau** seront également réalisées afin de s'assurer de la conformité de la prestation. Les épreuves seront réalisées conformément aux indications du fascicule 74.

Après achèvement des travaux d'imperméabilisation et après avoir respecté le délai de séchage donné par le fabricant (7 j minimum), un essai d'étanchéité sera fait afin de déceler d'éventuelles défaut d'étanchéité de l'ouvrage.

En cas d'essai non concluant, le titulaire du marché, procèdera à l'identification des défauts, aux réparations nécessaires et réitérera l'essai en eau jusqu'à obtention des tolérances précisées au fascicule 74

3.1.3.5 Synthèse de la solution

La reprise au mortier hydraulique constitue une méthode traditionnelle mais efficace pour améliorer l'imperméabilité à l'eau des parois d'un réservoir. Ce matériau cimentaire est capable de créer une barrière imperméable contre les infiltrations d'eau.

Mise en œuvre et délais

Compte tenu des surfaces concernées, de la configuration des cuves (nombreux piliers), les délais peuvent être estimés à :

- 8 mois environ pour la grande cuve
- 6 mois environ pour la petite cuve

Estimation financière

Le montant estimé des travaux pour la reprise de l'étanchéité par enduit de cuvelage est de

- 1 064 000 € HT pour la petite cuve (dont 801 000 € HT pour l'imperméabilisation)
- 1 834 000 € HT pour la grande cuve (dont 1 336 000 € HT pour l'imperméabilisation)
- Total 2 898 000 € HT

Principaux avantages :

- Coût initial intéressant;
- Durée de travaux réduite
- Résiste bien aux contre pressions

Principales contraintes :

- Solution d'imperméabilisation des parois mouillées (étanche à l'eau, pas à la vapeur)
- Faible résistance à la fissuration des supports
- Rendu des surfaces, plus rugueux que les autres solutions envisagées

A noter : garantie décennale et retour d'expérience de l'ordre de 15-20 ans

Récapitulatif et comparatif des solutions techniques

Le tableau suivant présente un comparatif des avantages et contraintes des trois solutions techniques proposées :

	Plaques PEHD	Note	Résine époxy	Note	Mortier - enduit de cuvelage	Note
Garantie résistance :						
Resistance dans le temps annoncée	50 ans	1	REX 15-20 ans	0	REX 15-20 ans	0
Garantie	Plaque PEHD : 50 ans	1	10 ans	0	10 ans	0
	Installation (soudure) : 10 ans					
Durabilité chimique et mécanique sur le long terme	Très bonne durabilité :	2	Bonne durabilité :	1	Bonne durabilité :	1
	Possibilité de contrôle des fuites avec le débit de drainage					
Caractéristiques techniques :						
Etanchéité	Très bonne étanchéité	1	Complexe d'étanchéité - Bonne étanchéité	1	Imperméabilisation Perméable à la vapeur d'eau	0
Résistance à la fissuration	Semi-indépendant, risque quasi nul - Module d'élasticité important à la déformation : peut accompagner des modifications millimétriques du GC	1	Assez dépendant du support, peut résister à la fissuration de 10/10ème de mm.	0	Ne résiste pas à la fissuration. Une fissure entrainera des fuites	-1
	Limite élastique : 9%					
Resistance à la contre pression (annoncé par le fabricant)	Peu de contre pression dû à l'espace entre le mur et la paroi.	0	Résiste à 14 m CE (fiche technique)	0	Résiste à 1,0 MPa soit 10 bars ou 100 mCE (fiche technique)	1
	Résiste à 1 bar de pression, soit 10 mCE					
Mise en œuvre						
Préparation des surfaces	Suppression des concrétions, pas de ragréage	1	Nettoyage total, ragréage obligatoire, supports secs, plans et sains. Sur voiles et radiers	0	Nettoyage total, ragréage conseillé, supports secs, plans et sains. Sur voiles et radiers	0
Adaptation à la géométrie des ouvrages (piliers, voutes)	Préformage possible pour limiter les assemblages, nécessite une géométrie sur mesure pour les piliers.	-1	Sans contraintes	1	Sans contraintes	1
	Souplesse acceptable pour les voutes.					
	Nécessite de recouvrir toutes les parois jusqu' <u>au-dessus du niveau d'eau</u> (y c piliers)					
Raccordement sur canalisation	Soudure contrôlée sur canalisation en PEHD	0	Raccords sur canalisations préalablement préparées	0	Raccords sur canalisations préalablement préparées	0
Gêne aux riverain - bruits	Bruits limités à l'outillage électroportatif (perceuses, scie sauteuse, ...) et à la ventilation	0	Nuisances sonores possibles (ventilation, chauffage, deshumidification...)	0	Peu importante (ventilation)	0
Gêne aux riverains - nuisances olactives	Pas d'utilisation de produits chimiques donc peu de dégagement d'odeur	1	Utilisations de résines, solvants (vapeurs, odeurs, ...)	0	Pas d'utilisation de produits chimiques donc pas de dégagement d'odeur	1
Délai total des travaux	Environ 14-15 mois pour la grande cuve	-2	Environ 10 mois pour la grande cuve	0	Environ 8 mois pour la grande cuve	0
	Environ 10-11 mois pour la petite cuve	-1	Environ 8 mois pour la petite cuve	0	Environ 6 mois pour la petite cuve	0
Autres points :						
Nettoyage des cuves	Revêtement lisse qui n'offre pas de surface d'accroche.	1	Revêtement lisse qui n'offre pas de surface d'accroche.	1	Revêtement plus rugeux	0
Autre :	Nécessite le drainage des eaux entre les plaques et les parois	-1	-	0	-	0
Cout						
Coût	€€€	-2	€€	0	€	1
	6 003 000,00 €		3 598 000,00 €		2 985 000,00 €	
Note Globale		2		4		4

Reprise des radiers des deux cuves

Il est prévu de reprendre les radiers, ces derniers présentent des fissures parfois importantes et des problèmes de contre pentes qui entraînent la stagnation d'eau dans les cuves lors des vidanges.

Compte tenu des dimensions des ouvrages (longueurs et largeurs), nous avons prévu de reprendre les radiers de chacune des 2 cuves par :

3.2

- La création d'un caniveau central (0.5*0.5 m, pente 0.5 %) dans la largeur de chacune des cuves afin de recueillir les écoulements et limiter la réhausse des radiers. Les longueurs des caniveaux sont de 44 m dans la grande cuve et de 34.5 m dans la petite cuve.
- La création de formes de pente générale en béton de part et d'autre du caniveau central, avec une pente de 5 mm / m, ce qui engendre une réhausse maximale du radier de +0.31 m dans la grande cuve et de + 0.16 m dans la petite cuve
- La création d'un cuvon à l'extrémité de chaque caniveau afin d'évacuer ensuite par pompage de type vide cave à mettre en place par l'exploitant, afin de finaliser la vidange des cuves.

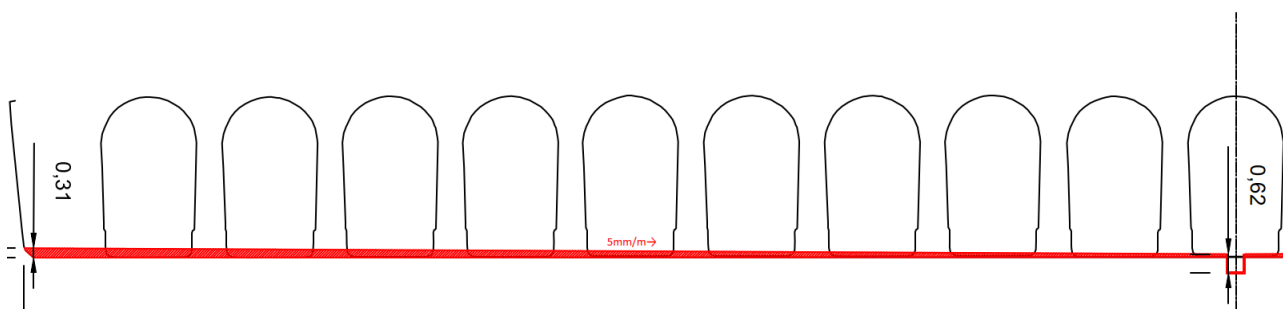


Figure 18 : Coupe dans le grand réservoir

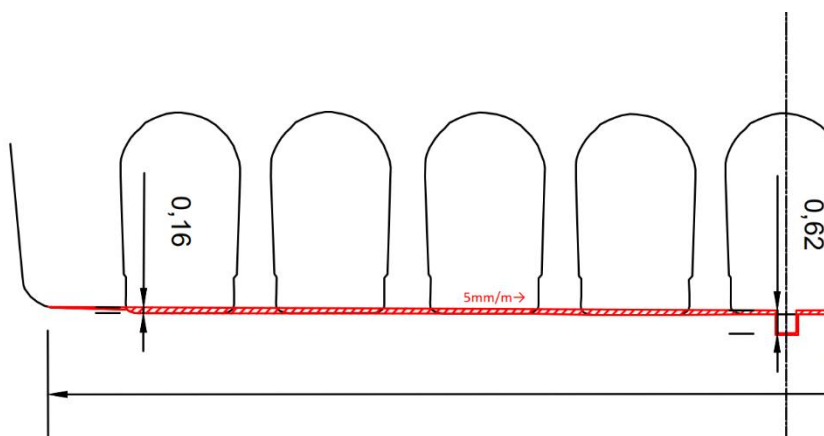


Figure 19 : Coupe dans le petit réservoir

La surface du grand réservoir étant de 3 080 m², et celle du petit de 1 340 m², cela représente un volume de béton de 616 m³ pour la grande cuve, et 174 m³ pour la petite.

Avec une densité de béton de 2,4 ; on obtient une masse de 1 478 T pour la grande cuve et 418 T pour la petite. Les données sont reprises dans le tableau ci-dessous, de plus nous avons calculé la hauteur d'eau correspondante à la masse de béton ajoutée.

	Grande cuve	Petite cuve
Volume de béton du radier (m ³)	616	174
Masse du béton (T)	1 478	418
Volume équivalent en eau (m ³)	1 478	418
Hauteur d'eau correspondante (m)	0.48	0.31

Le calcul de la hauteur d'eau permet de se rendre compte de la charge ajoutée au radier avec l'installation de la couche béton, elle correspond à une hauteur d'eau de 48 cm pour la grande cuve, et 31 cm pour la petite. Ces valeurs restent relativement faibles, à l'échelle des volumes des cuves, mais si l'on souhaite ne pas augmenter les charges s'exerçant sur les radiers, les niveaux d'eau maximums (et les capacités de stockages) devront être réduits.

Une vue en coupe en plan des présente en annexe de la réfection projetée des radiers dans la grande et la petite cuve.

Méthode de réalisation

En ce qui concerne la réalisation de la reprise des radiers, elle nécessitera

- dans un premier temps une phase de découpe du radier béton existant
- de terrassement et évacuation des déblais pour la création des caniveau
- ferrailage, coffrages des parois et fin des caniveaux
- Coulage du béton constituant les parois des caniveaux

Les cuves étant enterrées, cette phase devra se faire essentiellement manuellement avec de l'outillage portatif, pompe à béton...

Dans la grande cuve, des petits murets (d'une hauteur de 10 à 15 cm) avaient été érigés, dans le but de faciliter l'écoulement et de promouvoir la circulation de l'eau à l'intérieur de la cuve. Ces murets seront des obstacles pour la reprise du radier. Il sera nécessaire de les détruire pour la création de pente et du caniveau. (Certains des murets ont déjà été cassés pour faciliter la vidange.)



Figure 20 : Etat du radier dans les cuves

Le chiffrage de ces travaux est intégré dans les travaux de reprise de l'étanchéité des 2 cuves.

Reprise des piliers

3.3

Enfin pour la solution des piliers, nous proposons deux méthodes de réhabilitation

3.3.1.1 La reprise des piliers sur la totalité de leur hauteur

Dans cette solution, nous prévoyons de reprendre les surfaces des piliers sur la totalité de leur hauteur, les piliers sont composés de deux parties

- sur le premier mètre d'un enduit grossier sur une hauteur de 1m,
- puis de pierres cimentée sur la partie haute jusqu'à la voute (sur environ 4 à 4.5 m)

La première solution consiste à reprendre les piliers sur toute leur hauteur. Les piliers présentent des traces de calcification (écoulements provenant de l'extrados), mais comme indiqué dans le diagnostic du génie civil réalisé précédemment, les pierres sont en état correct (pas de pathologie physico-chimique) et ne présentent pas à ce jour de dégradations majeures.

Nota : Il est précisé que, compte tenu de la présence d'argile dans les pierres des réservoirs, il est recommandé d'éviter les cycles rapides et répétés d'humidification et assèchement pour s'affranchir des probables délitements de la roche

Cette solution à l'inconvénient de masquer les pierres par un revêtement et ainsi ne permet pas de garder l'aspect d'origine des piliers.



A noter, : Dans la solution de réhabilitation avec des **plaques PEHD**, il sera nécessaire de remonter jusqu'au dessus du niveau d'eau maximum et donc de traiter les piliers sur partiquement toute leurs hauteurs
En effet, avec cette solution technique, il n'est pas possible techniquement de créer une jointure totalement étanche entre le haut des plaques PEHD et les supports (pierres ou enduit grossier)
Par contre pour les solutions de **revêtement par résine époxy ou mortier de cuvelage**, nous n'avons pas retenu cette prestation.

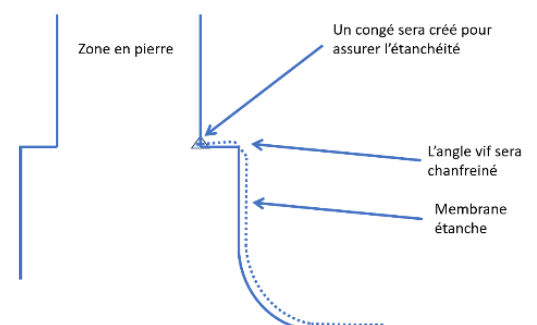
3.3.1.2 La reprise des piliers uniquement sur le premier mètre (en dessous des parties en pierres)

Dans cette solution de reprise, le traitement de l'étanchéité au niveau des parties basses des piliers se fait sur le premier mètre (partie en enduit uniquement des 63 piliers de la petite cuve et les 162 piliers de la grande cuve.). Cela permet d'assurer une bonne jonction de l'étanchéité avec le radier, de réduire les surfaces à traiter et donc les coûts et durée d'interventions

Cette solution n'est possible que pour les méthodes de réhabilitation à la résine époxy et à l'enduit de cuvelage. Il sera nécessaire de créer une engravure au niveau du raccordement pour garantir l'étanchéité et s'assurer que l'eau ne puisse pas passer derrière le revêtement. De plus les angles vifs seront chanfreinés avant mise en œuvre des revêtements.

Nous avons intégré cette reprise pour les 2 solutions époxy et mortier de cuvelage dans les estimations financières.

Le schéma suivant permet d'expliquer la méthodologie :



Amélioration de la circulation de l'eau dans les cuves

Dans le cadre de la rénovation du réservoir, il est prévu d'améliorer la circulation de l'eau dans les cuves afin d'assurer une distribution homogène de l'eau dans chacune des cuves et limiter les stagnations. Cette exigence revêt une importance particulière compte tenu de la taille des cuves, nécessitant un système qui permet une circulation de l'eau efficace. Le but est d'éviter les zones « d'eaux mortes » et une stagnation d'eau pendant une durée trop importante.

3.4

Avant de concevoir et d'implémenter le système de mélange de l'eau, une analyse approfondie des circulations spécifiques dans les 2 réservoirs a été réalisée par le bureau d'études PLS Fluid Dynamics avec une analyse simulation CFD afin de modéliser les écoulements de l'eau.

3.4.1 Le modèle

La modélisation est réalisée en utilisant la méthode CFD (Computational Fluid Dynamics, ou dynamique des fluides numérique). Le logiciel utilisé pour réaliser la modélisation est ANSYS Fluent 2022 R2.

Pour réaliser cette modélisation la méthodologie suivante a été utilisée :

- Il a d'abord été nécessaire de définir le problème :
 - Les géométries des cuves ont été créées en utilisant le scan 3D réalisée dans chacune des deux cuves ;
 - Les cuves sont discrétisées en un maillage 3D (environ 11 millions de mailles pour la petite cuve et 23 millions pour la grande) ;
 - Les conditions aux limites sont spécifiées (débits d'entrée et de sortie issus de mesures transmises par l'exploitant, rugosité des parois, pression, niveau d'eau initiaux, etc.)
 - Les propriétés du fluide (viscosité, densité, etc.), ici de l'eau.
- Pour ensuite modéliser l'écoulement, le logiciel utilise les équations de la mécanique des fluides (modèle de turbulence de type Realizable k- ϵ , Menter-Lechner). Le logiciel réalise sur chacune des mailles un calcul de couplage pression-vitesse (*SIMPLEC*) et un calcul de la pression et des équations secondaires en prenant en compte les mailles précédentes à l'écoulement Cette méthode permet d'assurer la continuité des paramètres physiques.

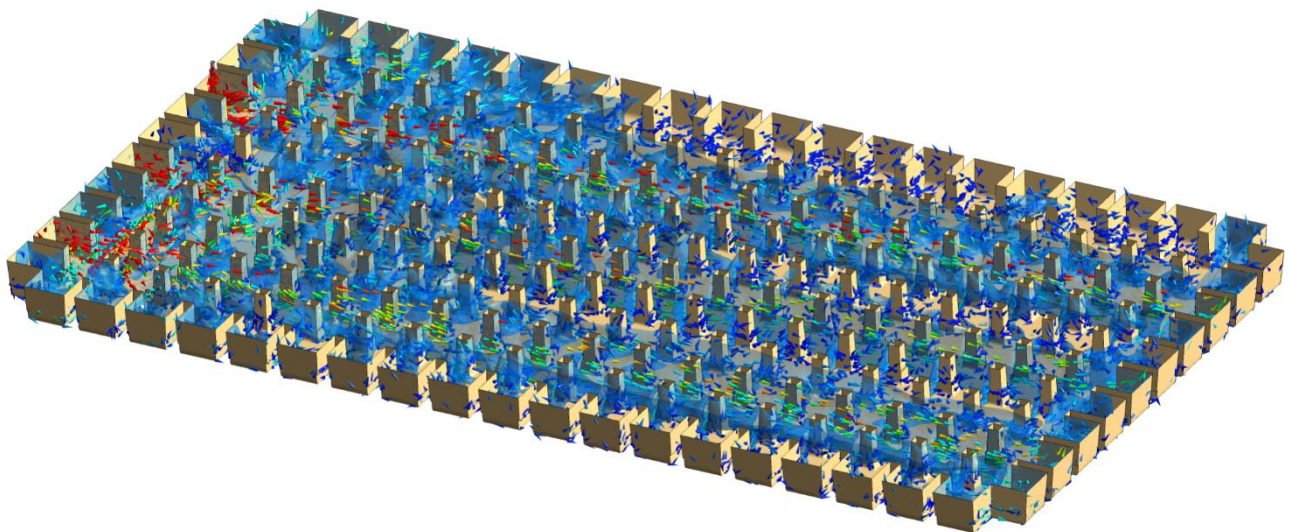
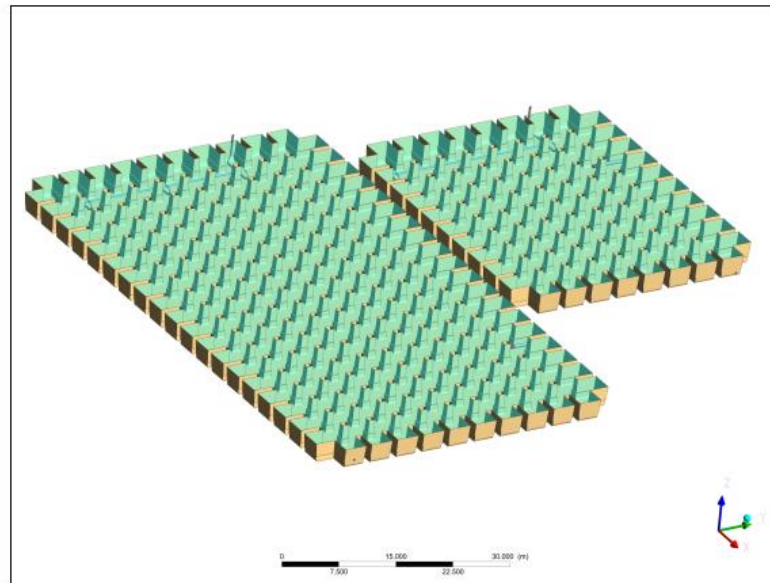
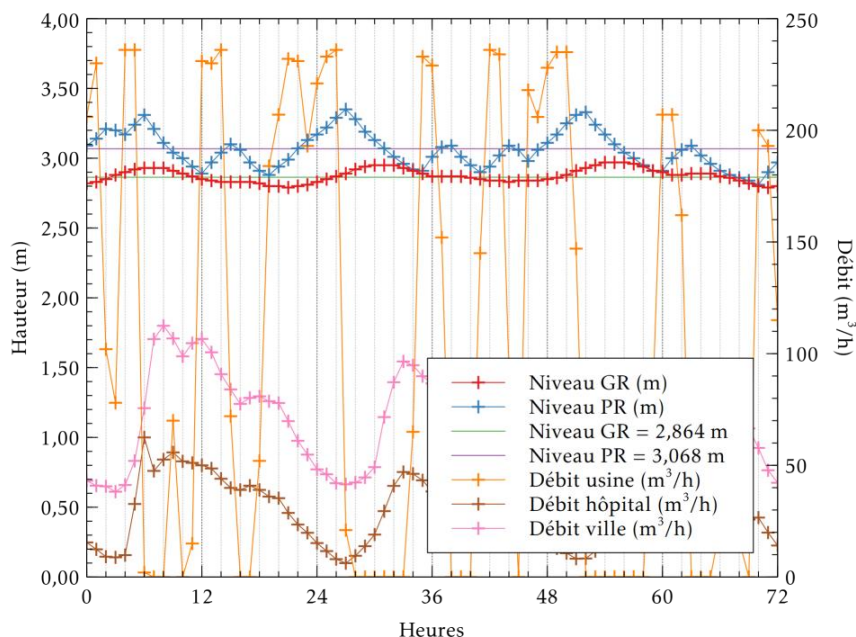


Figure 21 : Modèle 3D de la grande cuve

3.4.2 Résultats

3.4.2.1 Etat actuel

Nous avons récupéré les résultats des mesures de débits en distribution et des niveaux d'eau dans les réservoirs sur un journée type sur la période de juillet 2022.



Le débit mesuré en sortie d'usine (alimentation des cuves) est de l'ordre de 240 m³/h, pour la première simulation, il a été retenu un débit d'entrée de 120 m³/h dans chacune des cuves (répartition

En distribution, les débits sont de l'ordre de 50 / 100 m³/h sur la sortie « ville » et de 10 / 50 m³/h coté « hôpital ». Ces réseaux sont maillés, donc les demandes s'équilibrent entre les 2 cuves

Une première modélisation a été réalisée en prenant en compte un débit d'alimentation et de distribution de 120 m³/h.

Les figures suivantes présentent les résultats de ces simulations, la modélisation a été réalisée en 3D, cependant il n'y a que peu de différence entre les vitesses observées au fond ou en surface, les figures suivantes sont donc des vues du dessus de la modélisation 3D (3D aplati par la vue de dessus).

La zone en bleu délimite une surface où la vitesse est supérieure à 2 mm/s, à l'extérieur de cette surface les vitesses sont inférieures à 2 mm/s, cette valeur a été choisie arbitrairement comme limite (2 mm/s = 7,2 m/h). On observe de très faibles vitesses dans la grande cuve et une zone assez importante où l'écoulement est quasiment inexistant. (2 mm/s = 7,2 m/h)

Il est précisé par des flèches l'alimentation et la distribution pour aider à la compréhension

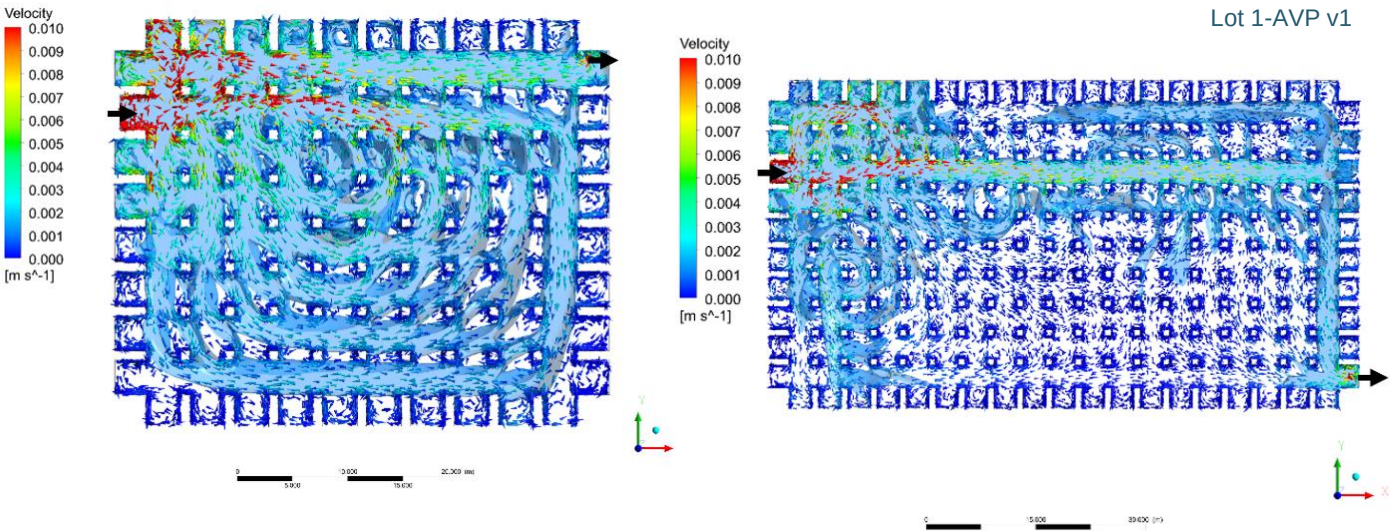


Figure 22 : Résultats des simulations de l'écoulement (120 m³/h entrant – 120 m³/h sortant)

Commentaires :

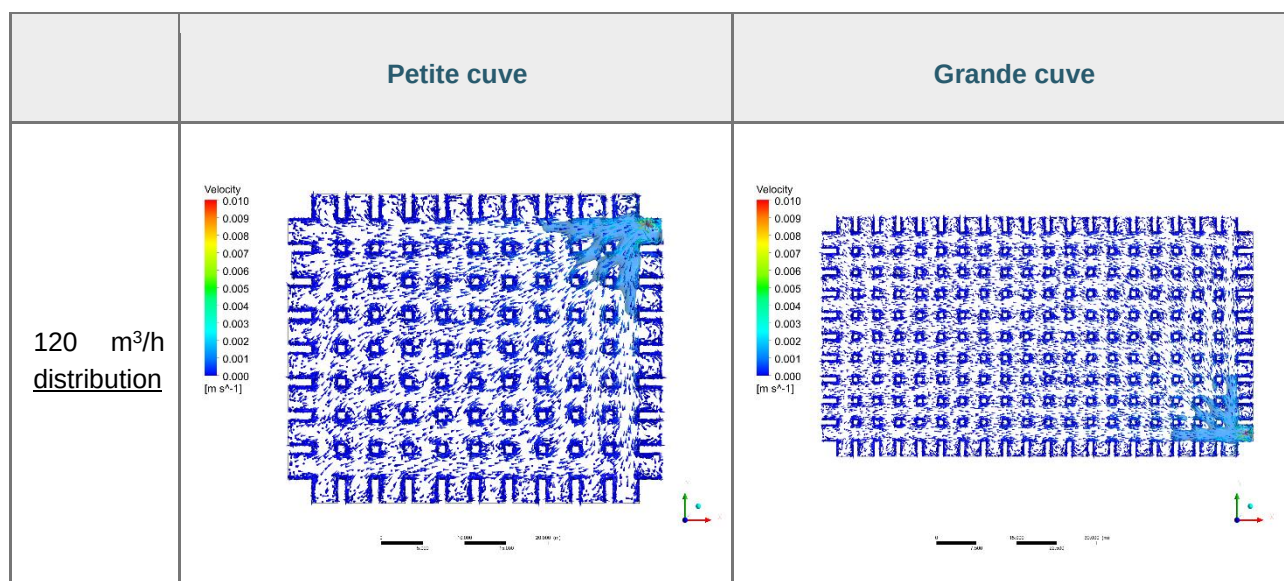
Petite cuve : I

Les écoulements sont relativement homogènes même si un écoulement préférentiel est à noter entre l'alimentation et la distribution

Grande cuve : il faut noter un important écoulement préférentiel entre l'alimentation et la distribution et surtout une zone de stagnation (vitesse très faibles) sur une zone importante de la cuve.

Il a aussi été décidé ensuite de se placer dans les cas défavorables ou seulement l'adduction ou seulement la distribution sont fonctionnelles. L'objectif était de visualiser leur impact sur l'écoulement dans l'optique de pouvoir choisir une solution dans l'état futur ayant le plus d'influence sur l'écoulement du fluide.

	Petite cuve	Grande cuve
120 m³/h adduction		



Ces six modélisations montrent un écoulement très lent dans les deux cuves cela entraîne la création d'un chemin préférentiel en face de l'adduction, et très peu de mouvement. On observe que le moindre obstacle ralentit fortement l'écoulement, voir peut même l'arrêter.

Le principal chemin préférentiel se situe devant l'adduction, l'eau se dirige tout droit, et n'est que peu déviée par les poteaux. Cela est particulièrement vrai dans la grande cuve, où une zone (en bas à droite) ne présente que très peu d'écoulement, bien que l'aspiration y soit située.

Les modélisations où seulement l'adduction est en service, possèdent des vitesses plus importantes que les modélisations avec seulement la distribution. Il apparait donc que c'est bien l'alimentation en eau qui joue le rôle le plus important dans la circulation de l'eau,

Ainsi lors de l'élaboration de la solution futur permettant l'amélioration du mélange de l'eau, il sera privilégié des solutions impactant l'adduction et non la distribution.

3.4.2.2 Etat projeté

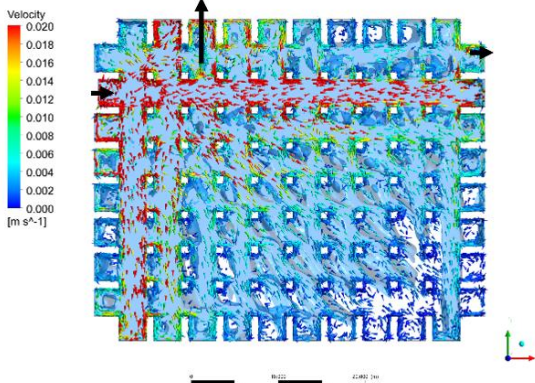
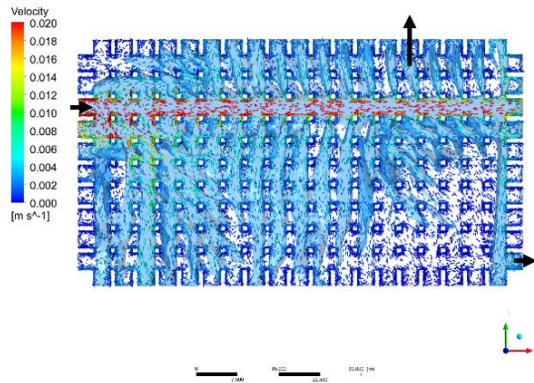
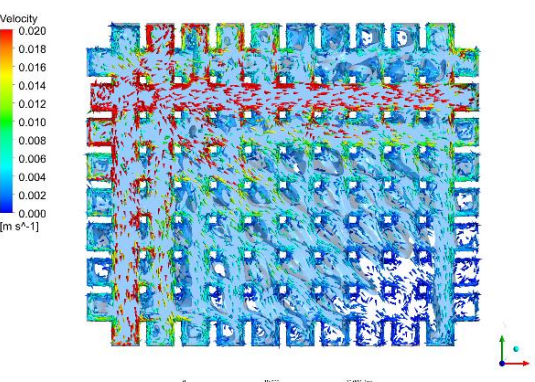
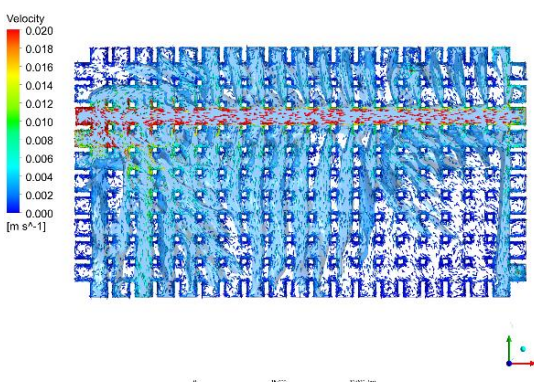
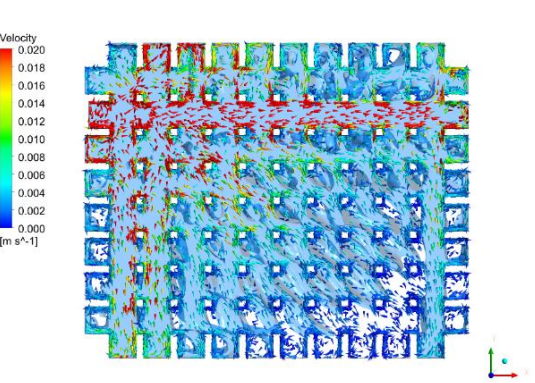
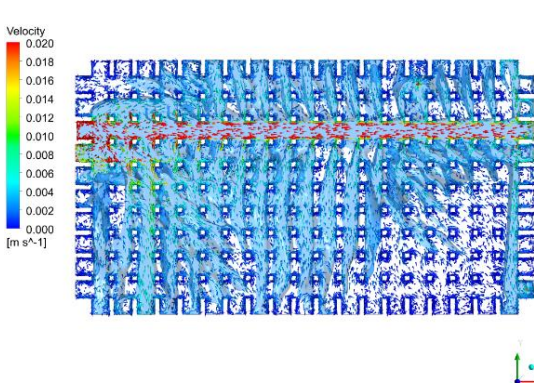
Nous visons à modéliser le cas projeté avec les nouvelles conduites. De plus, les débits choisis pour l'adduction et la distribution ont été affinés en fonction des données disponibles et des futurs aménagements.

Pour la situation future, nous avons retenu comme hypothèse :

- un débit entrant de 350 m³/h, dans chacune des cuves (pour retrouver le futur débit total de 700 m³/h de production de la future usine de production),
- une distribution gravitaire moyenne de 65 m³/h dans chacune des cuves (les volumes mis en distribution sont : compteur « hôpital » de 40 m³/h et compteur « ville » de 90 m³/h (les 2 distribution étant maillées, 65 m³/h correspond à la moyenne de ces débits).
- Aspiration de la future station de pompage : Il a été étudié trois hypothèses de débit pour l'aspiration projeté. Les débits retenus sont de 75, 175 et 250 m³/h par cuve correspondant aux débit de pompage des groupes qui seront au total respectivement de 150, 350 et 500 m³/h (conduite projetée)

Des flèches ont été ajoutées, dans le premier cas, pour aider à localiser l'adduction et les conduites d'aspirations.

Le tableau suivant présente les résultats des modélisations pour les 3 configurations possibles dans les deux cuves :

	Petite cuve	Grande cuve
350 m ³ /h adduction 65 m ³ /h conduite gravitaire 75 m ³ /h conduite projetée		
350 m ³ /h adduction 65 m ³ /h conduite gravitaire 175 m ³ /h conduite projetée		
350 m ³ /h adduction 65 m ³ /h conduite gravitaire 250 m ³ /h conduite projetée		

On observe des résultats similaires, les zones « d’eaux mortes » restent sensiblement les mêmes pour les différentes valeurs d’aspirations de la conduite projetée. Dans les deux cuves, une zone avec des vitesses inférieures à 2 mm/s est observable en particulier dans la grande cuve.

De plus, on note encore une fois que la distribution à moins d'impact sur les écoulements que l'adduction. En effet, aucune réelle inflexion du flux n'est notée au droit des conduites d'aspiration, et ce quel que soit le débit d'aspiration considéré.

Dans les cas ci-dessus, les vitesses restent faibles, et le moindre obstacle ralentit fortement l'écoulement.

Nota : Ici les cuves sont modélisées avec l'adduction, la distribution et l'aspiration en fonctionnement constant. Dans la réalité, le fonctionnement des cuves est différent, il y a des phases où l'on injecte un débit important et le niveau d'eau monte, suivit de phase avec seulement de l'aspiration. **La présence de ces phases est un point favorable**, cela permet de changer le sens des chemins préférentiels (entre le cas seulement adduction et le cas seulement distribution de la partie 3.2.1, l'eau ne se déplace pas dans le même sens) et ainsi éviter d'avoir une zone d'eaux mortes qui ne bouge jamais.

3.4.2.3 Etat amélioré

L'objectif est de limiter la création de zone d'eaux mortes, grâce à plus de circulation dans les cuves. Cela permet de limiter le temps de stagnation de l'eau et un potentiel risque de détérioration de sa qualité.

La création de circulation dans les réservoirs d'eau potable est essentielle pour garantir une distribution homogène des composants et prévenir la formation de zones stagnantes. Plusieurs options de conception sont envisageables pour le système d'agitation de l'eau, chacune offrant des avantages et des limitations spécifiques. Parmi les solutions couramment utilisées, on peut citer :

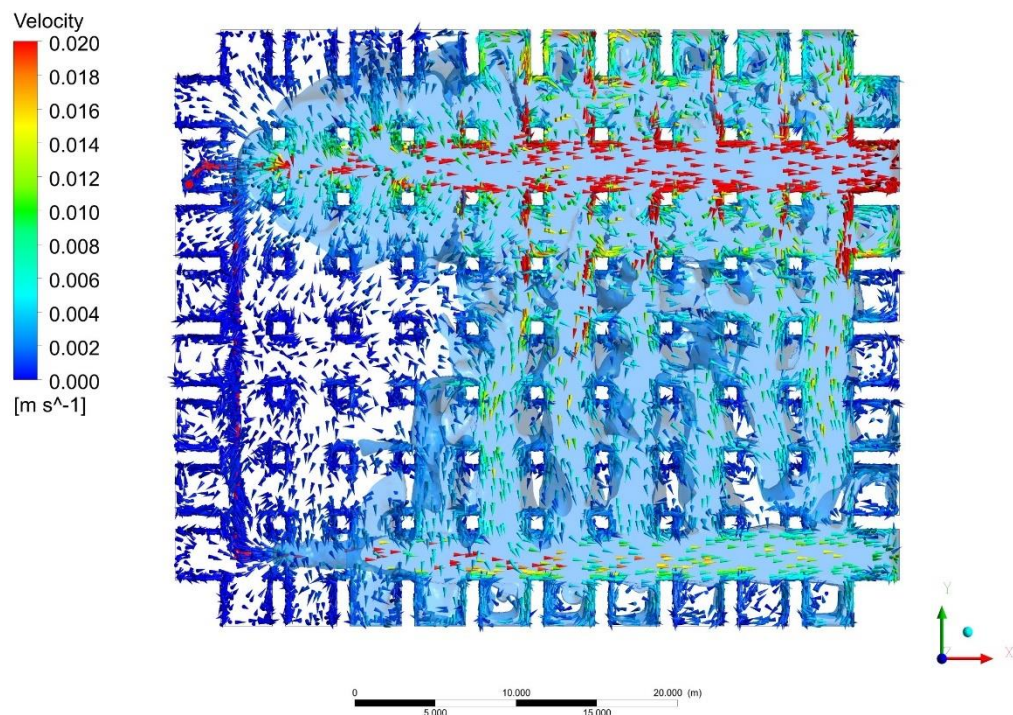
- **Agitateurs mécaniques** : Ces dispositifs utilisent des pales ou des hélices pour agiter l'eau et favoriser la circulation. Ils peuvent être installés à différents niveaux du réservoir pour assurer une distribution homogène des composants. Ces systèmes devront être compatible avec une installation dans un réservoir d'eau potable (ACS). Cette solution présente l'inconvénient de nécessiter un raccordement à l'électricité et de consommer de l'énergie en permanence. De plus une maintenance périodique sera nécessaire.
- **Solution géométrique** : Cette solution consiste à utiliser la géométrie du réservoir pour faire circuler l'eau dans toutes les directions. Cette façon permet de créer du mouvement naturellement sans solutions mécaniques nécessitant de l'énergie pour fonctionner.
- Une méthode serait par exemple de placer des déflecteurs au niveau des chemins préférentiels de l'eau (devant l'adduction par exemple) pour dissiper l'eau arrivant vers d'autres directions, vers les zones d'eaux mortes par exemple. Mais cela va créer des zones d'eaux mortes derrière ces déflecteurs dû au trop faible courant
- Une autre méthode serait de décaler l'aspiration (en prolongeant la conduite de distribution) vers les zones d'eaux mortes pour y créer du mouvement et augmenter localement les vitesses.

Après analyse des modélisations des écoulements réalisées précédemment, **la solution la plus adéquate pour ces ouvrages serait de séparer l'adduction en plusieurs branches afin injecter l'eau à différents points.**

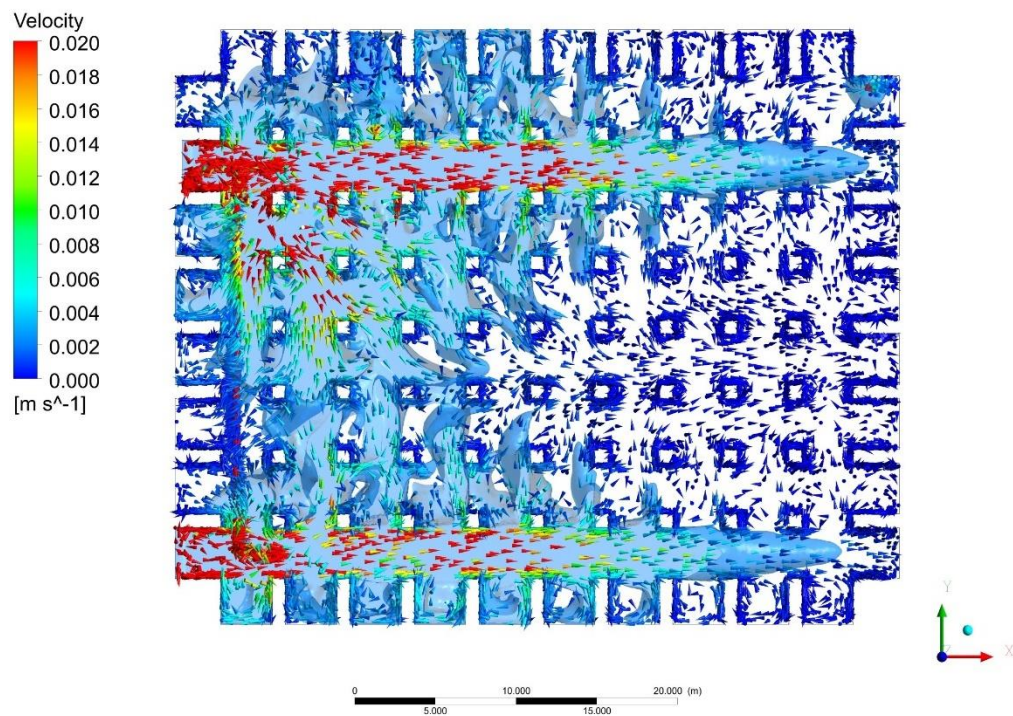
En effet, nous avons déjà observé que l'adduction avait plus d'impact que la distribution sur la circulation de l'eau, et les vitesses d'écoulement les plus importantes sont observées en face de l'adduction dans le « couloir » ne présentant aucun obstacle.

3.4.2.4 Résultat modélisation petite cuve

Sens 1



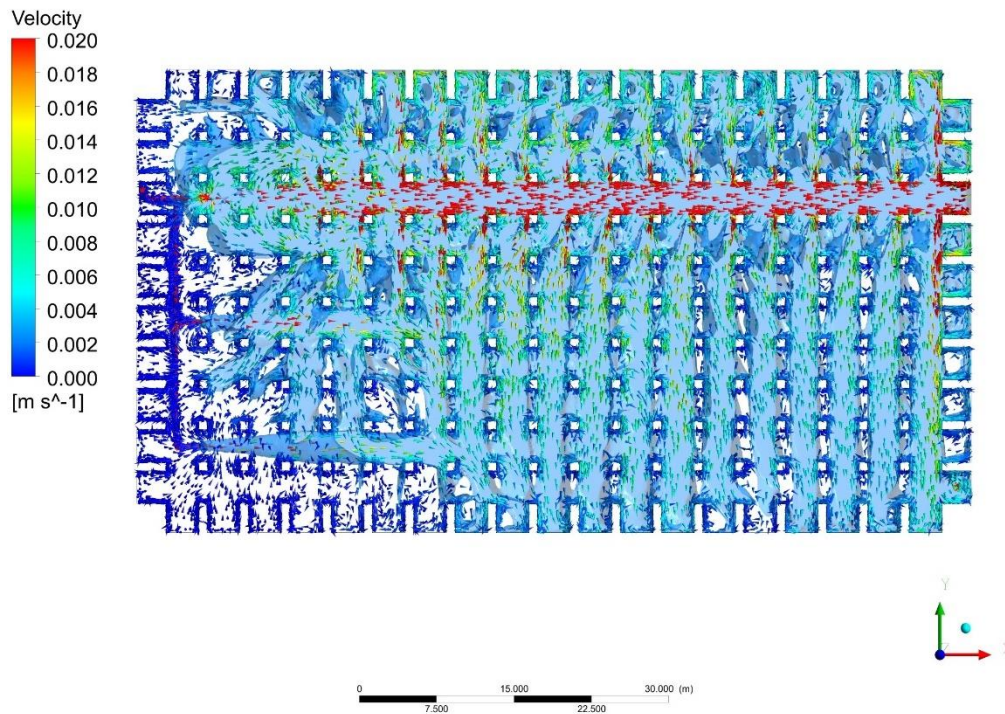
Sens 2



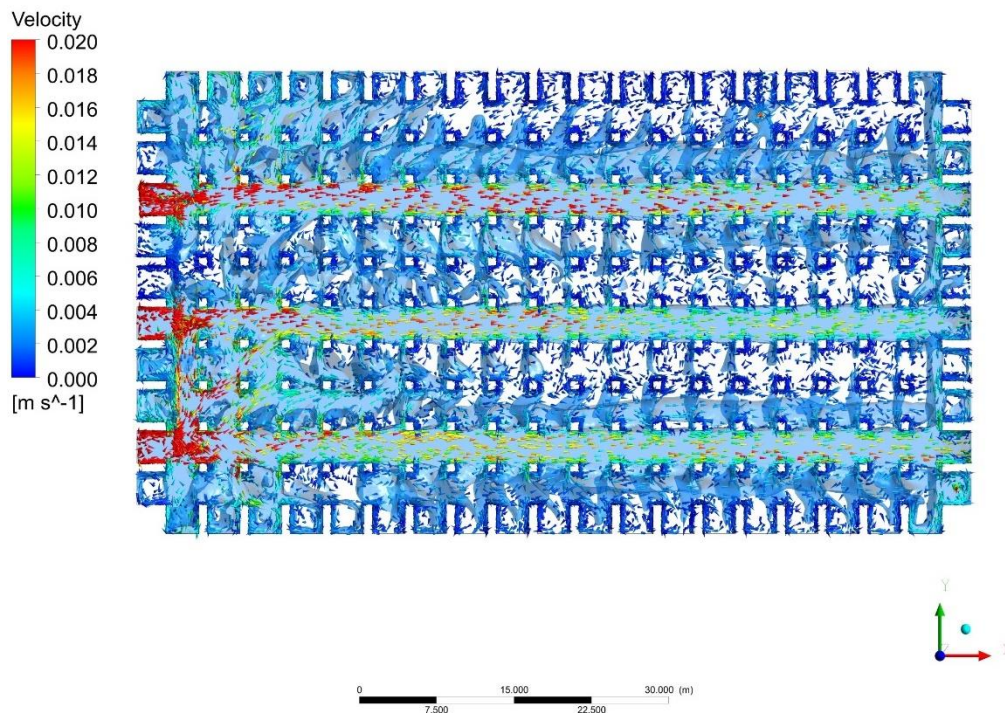
Finalement pour cette cuve, la solution n'améliore pas les vitesses, au contraire. L'état initial étant acceptable (plus de 90% du réservoir avec des vitesses supérieures à 2 mm/s) il sera conservé et nous proposons de ne réaliser de modification.

3.4.2.5 Résultat modélisation grande cuve

Sens 1



Sens 2



Le brassage dans le grand réservoir bénéficie de cette modification, avec un minimum de zones de faibles vitesses.

La zone morte présente en bas à droite de l'état projeté avant modification des points d'alimentation a disparu. Bien qu'il reste des zones avec une vitesse inférieure à 2 mm/s, l'écoulement et le brassage dans la cuve est sensiblement amélioré.

Le « sens «2 » semble plus adéquat, et présente une qualité de brassage un peu plus homogène

3.4.3 Conclusion

Les simulations effectuées dans les conditions proposées, montrent que le brassage lié à l'adduction est suffisant pour limiter la stagnation du volume d'eau dans la petite cuve.

Concernant la grande cuve, afin d'améliorer la répartition de ce brassage, une adaptation de la conduite d'entrée du grand réservoir peut être envisagée.

Nous retiendrons cette solution technique pour la grande cuve avec la mise en place :

- D'un collecteur principal en DN 300
- 1^{er} sortie DN 150, et les 2 suivantes en DN 200 mm

Les collecteurs seront en Inox 316 L et seront fixés sur le radier.

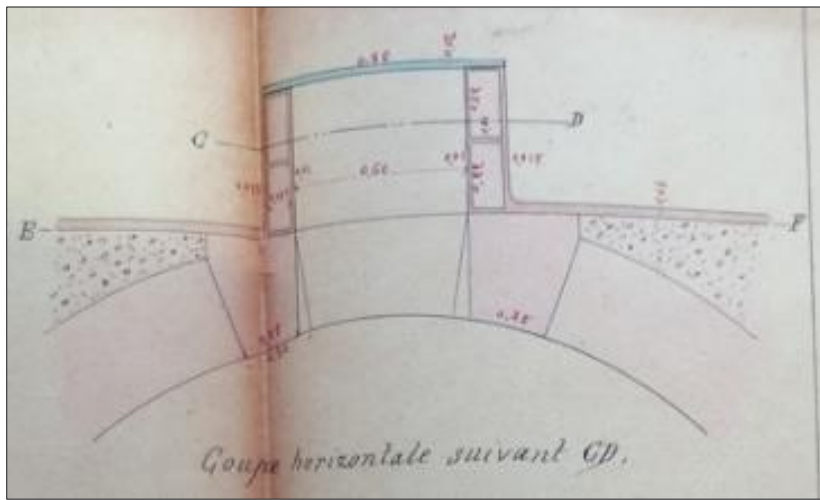
Le montant est estimé à 40 000 € HT.

Il est important de noter que cette modification de la conduite de remplissage entraînerait une augmentation de la perte de charge en bout de ligne, mais cette perte de charge est très faible (1 me CE°).

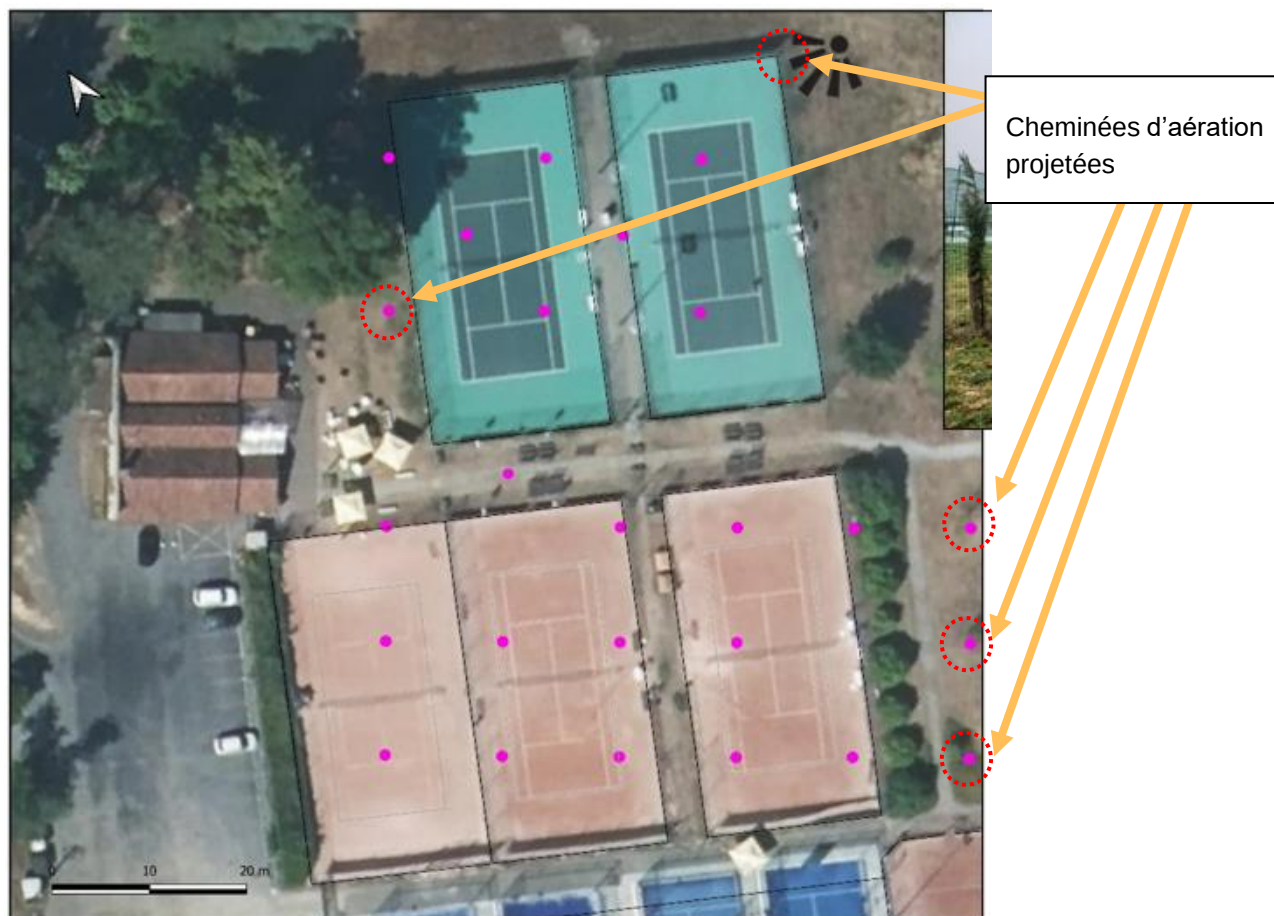
Amélioration de la circulation d'air dans les cuves

L'objectif est de limiter la teneur en chlore dans le ciel gazeux des cuves, pour cela, une circulation et un renouvellement de l'air est recherché. Dans le cas de ce projet de rénovation, la création de points d'arrivée d'air à prévenir l'accumulation d'humidité, et les vapeurs de chlore.

- 3.5 Comme précisé en partie 2.1.3 sur les cheminées d'aération et selon les spécifications du projet du petit réservoir, puis du grand réservoir (en 1881) il a été créé des cheminées afin de faciliter la ventilation du réservoir. Ces puits circulaires sont constitués par une ouverture d'un diamètre DN 600 mm intérieur, et sont fermées d'une plaque en fonte sur le dessus.



Le plan suivant présente les cheminées qu'il est prévu d'aménager :



L'ouvrage de stockage d'eau potable devra faire l'objet d'une sécurisation tel que présentée dans le guide des recommandations relatives à la protection des installations d'eau potable vis-à-vis des actes de malveillance.

Drainage des eaux météorologiques

Les 5 courts de tennis qui se situent au-dessus des 2 réservoirs se composent de 3 courts en terre battue et de 2 courts en revêtement résine appelé « green set ».

Les courts en terre battue absorbent les eaux météorologiques, et ne présentent que peu de ruissellement vers l'extérieur des terrains.

3.6

Contrairement aux courts en « green set », après discussion avec des employés du club de tennis, il en ressort qu'après un épisode pluvieux, il reste sur les courts en « green set » des flaques d'eau qui sont poussées à l'aide de balai vers l'extérieur des courts. De plus, nous avons observé une légère pente présente sur les courts en direction de l'extérieur. Pour limiter les infiltrations d'eau de ces 2 dans les réservoirs, il est prévu la réalisation d'un système de drainage autour des courts. Nous prévoyons l'installation d'un drain tout autour des deux courts rejetant les eaux vers le réseau d'eaux pluviales en contre-bas de la parcelle.

On présente ensuite un plan du fonctionnement du système :



Le montant de ces travaux est estimé à 15 000 € HT

4 RECAPITULATIF DES MONTANTS D'INVESTISSEMENTS

Total travaux avec solution étanchéité par plaques PEHD (avec poteaux)

Récapitulatif chiffrage Solution plaques PEHD :	€ HT
Travaux d'étanchéité - Grande cuve	
Solution plaque PEHD	4 009 000,00 €
Travaux d'étanchéité - Petite cuve	
Solution plaque PEHD	1 819 000,00 €
Travaux Hydrauliques - Grande cuve :	
Mise en place d'une canalisation inox d'alimentation en 3 points - amélioration du brassage	40 000,00 €
Création des ventilations :	
Création ventilations (5U)	33 000,00 €
Travaux drainage eaux météorologiques - Petite cuve :	
Mise en place d'un drain autour des courts de terrain de tennis en greenset	15 000,00 €
TOTAL € HT	5 949 000,00 €
Divers et imprévus (3%)	179 000,00 €
TOTAL € HT y compris divers et imprévus	6 128 000,00 €

Total travaux avec solution étanchéité par résine d'étanchéité époxy (sans poteaux)

Récapitulatif chiffrage résine d'étanchéité :	€ HT
Travaux d'étanchéité - Grande cuve	
Solution résine d'étanchéité	2 254 000,00 €
Travaux d'étanchéité - Petite cuve	
Solution résine d'étanchéité	1 239 000,00 €
Travaux Hydrauliques - Grande cuve :	
Mise en place d'une canalisation inox d'alimentation en 3 points - amélioration du brassage	40 000,00 €
Création des ventilations :	
Création ventilations (5U)	33 000,00 €
Travaux drainage eaux météorologiques - Petite cuve :	
Mise en place d'un drain autour des courts de terrain de tennis en greenset	15 000,00 €
TOTAL	3 614 000,00 €
Divers et imprévus (3%)	109 000,00 €
TOTAL y compris divers et imprévus	3 723 000,00 €

Total travaux avec solution d'imperméabilisation par mortier enduit de cuvelage (sans poteaux)

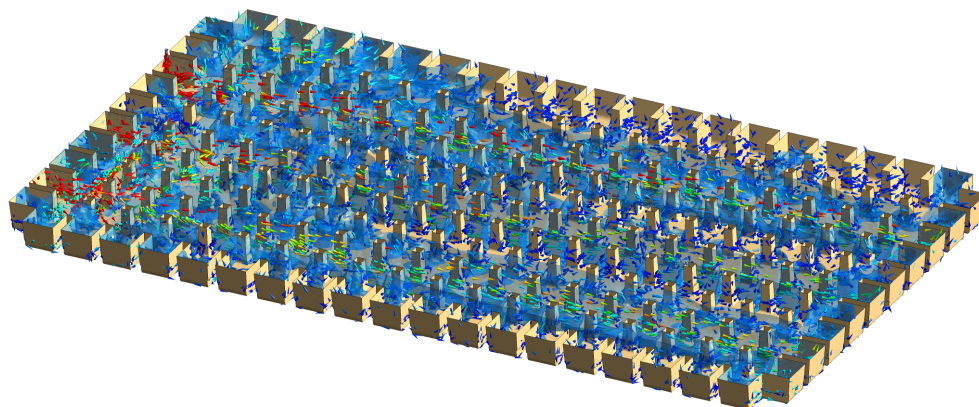
Récapitulatif chiffrage <u>mortier - enduit de cuvelage</u>	€ HT
Travaux d'étanchéité - <u>Grande cuve</u> :	
Solution enduit de cuvelage	1 834 000,00 €
Travaux d'étanchéité - <u>Petite cuve</u>	
Solution enduit de cuvelage	1 064 000,00 €
Travaux Hydrauliques - Grande cuve :	
Mise en place d'une canalisation inox d'alimentation en 3 points - amélioration du brassage	40 000,00 €
Création des ventilations :	
Création ventilations (5U)	33 000,00 €
Travaux drainage eaux météorologiques - Petite cuve :	
Mise en place d'un drain autour des courts de terrain de tennis	15 000,00 €
TOTAL	3 019 000,00 €
Divers et imprévus (3%)	91 000,00 €
TOTAL € HT y compris divers et imprévus	3 110 000,00 €

5 ANNEXES

- **Rapport PLS Fluid Dynamic**
- **Pièces graphiques**
 - Coupes des réservoirs et des caniveaux
 - Plan du réseau de drainage envisagé

NALDEO

SIMULATIONS CFD - RÉSERVOIRS D'EAU POTABLE D'AUCH



Rapport d'étude - Version A

Pierre MUNIER

13 juin 2024

Suivi des révisions

Version A

Auteur : Pierre MUNIER

Date : 13 juin 2024

Édition originale

Table des matières

Résumé	4
1 Modèle	5
1.1 Géométrie	5
1.2 Maillage	6
1.3 Paramètres de calcul	7
2 Résultats	8
2.1 Situation initiale	8
2.2 Aspirations supplémentaires	10
2.3 Répartition de l'adduction	12
Conclusion	14

Table des figures

1	Vue de la géométrie modélisée	5
2	Relevés des débits et niveaux d'eau dans les réservoirs courant juillet 2022 . . .	6
3	Vue du maillage, surface de l'eau	7
4	Géom. init. - Isosurface de vitesse dans le grand réservoir (adduction + aspiration)	8
5	Géom. init. - Isosurface de vitesse dans le petit réservoir (adduction + aspiration)	9
6	Ajout asp. - Isosurface de vitesse dans le grand réservoir (adduction + aspiration)	10
7	Ajout asp. - Isosurface de vitesse dans le petit réservoir (adduction + aspiration)	11
8	Géométries de tubes d'entrée proposées pour le grand et le petit réservoir . . .	12
9	Modif add. - Isosurface de vitesse dans le grand réservoir (adduction + aspiration)	13
10	Modif add. - Isosurface de vitesse dans le petit réservoir (adduction + aspiration)	13

Liste des tableaux

1	Géom. init. - Bilan des entrées / sorties	8
2	Ajout asp. - Bilan des entrées / sorties	10
3	Modif add. - Bilan des entrées / sorties	12

Résumé

Dans le cadre de la rénovation des réservoirs de stockage d'eau potable dits bassins de Lescat à Auch, la société NALDEO a fait appel à PLS FLUID DYNAMICS pour la réalisation de simulations de l'écoulement de l'eau dans ces réservoirs, afin de visualiser les éventuelles zones d'eau stagnante dans différentes configurations, avant ou après travaux.

À partir de données photogrammétriques fournies par NALDEO et de relevés topométriques, la géométrie interne de ces deux réservoirs a été modélisée. Les entrées et sorties d'eau ont été repérées et ajoutées au modèle, incluant les sorties additionnelles dont l'ajout est prévu durant la phase de travaux.

Les résultats obtenus permettent de visualiser l'écoulement de l'eau dans les réservoirs dans différentes configurations. Le petit réservoir, d'une capacité de 7 000 m³, ne semble pas nécessiter de modification de son système d'adduction ou d'aspiration, quand le grand réservoir, d'une capacité de 17 000 m³, bénéficierait d'une conduite d'adduction modifiée permettant un meilleur brassage de l'eau.

1 Modèle

1.1 Géométrie

La géométrie du modèle a été générée à partir des données fournies par NALDEO. Elle comprend initialement l'ensemble du volume interne des deux réservoirs, qui a ensuite été séparé en deux parties distinctes, une par réservoir, aucune donnée consolidée ne permet de bien comprendre les débits de communication entre ceux-ci.

À partir de données relevées par le gestionnaire des bassins au mois de juillet 2022, des hauteurs moyennes d'eau dans les réservoirs sont définies, et la géométrie est alors coupée à ces hauteurs, le volume d'air supérieur n'étant pas pertinent dans la modélisation. Les cotes retenues sont $h = 2,87$ m pour le grand réservoir et $h = 3,07$ m pour le petit. Le graphique présenté à la figure 2 montre les variations de débit d'entrée et de niveau d'eau dans les deux réservoirs.

Les différentes adductions et aspirations d'eau sont ensuite ajoutées, en modélisant pour chacune le tube interne et la crépine, si présente. Une vue générale des deux modèles utilisés, assemblés, est visible à la figure 1.

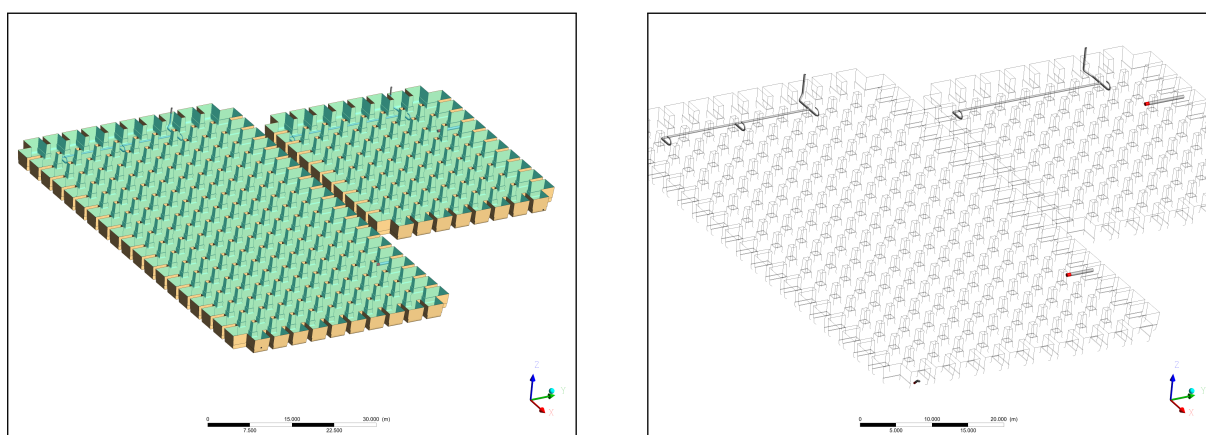


FIGURE 1 : Vue de la géométrie modélisée

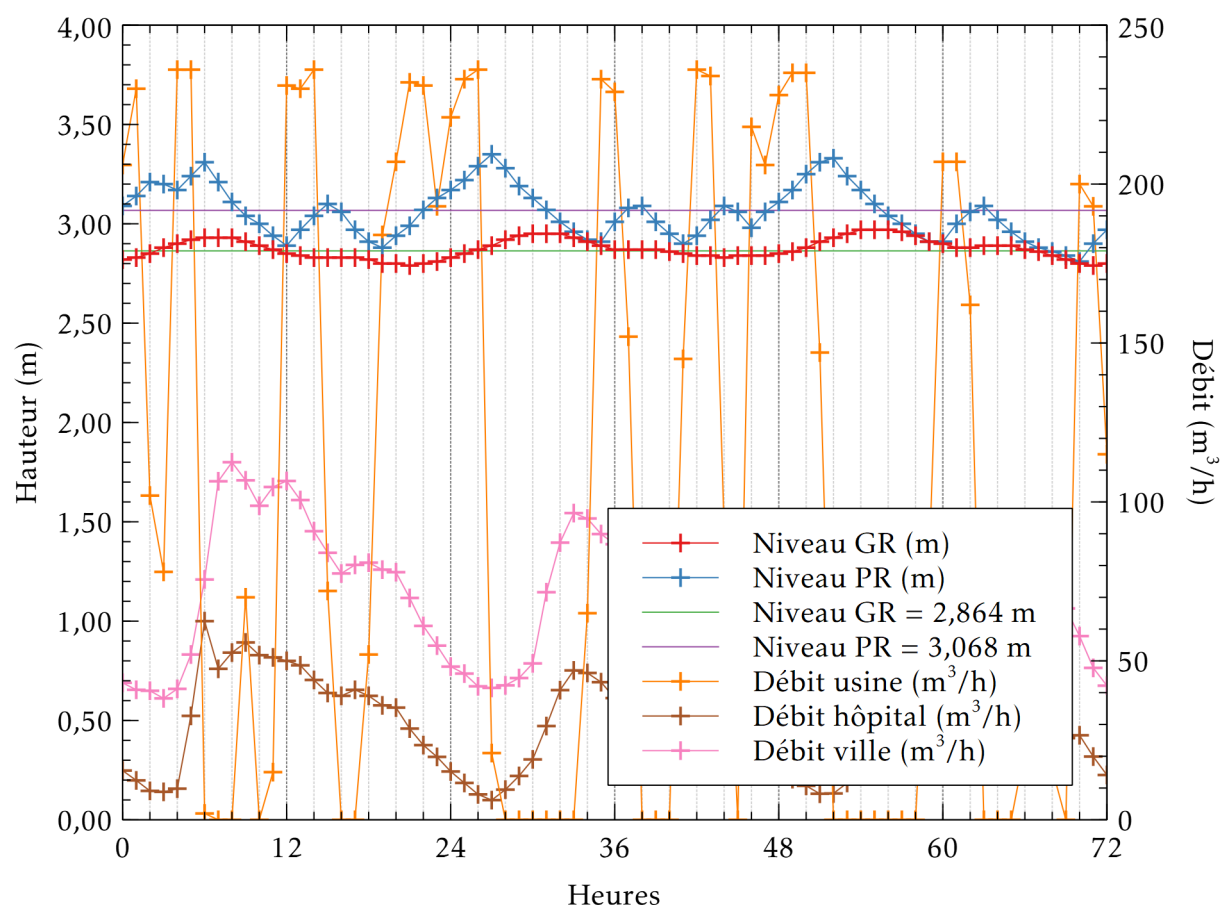


FIGURE 2 : Relevés des débits et niveaux d'eau dans les réservoirs courant juillet 2022

1.2 Maillage

Compte-tenu de la géométrie et de la nécessité de capter correctement des écoulements très lents autour des poteaux des réservoirs, un maillage fin de ceux-ci est réalisé, prenant en compte un maximum de détails de leur géométrie.

Le maillage est réalisé sous *ANSYS Mesher*, et comporte selon les versions un total de 10 713 822 à 13 196 867 mailles pour le petit réservoir, et 22 845 487 à 27 060 955 mailles pour le grand réservoir. Le maillage est principalement tétraédrique, avec des prismes sur les surfaces permettant de capter les écoulements en couche limite.

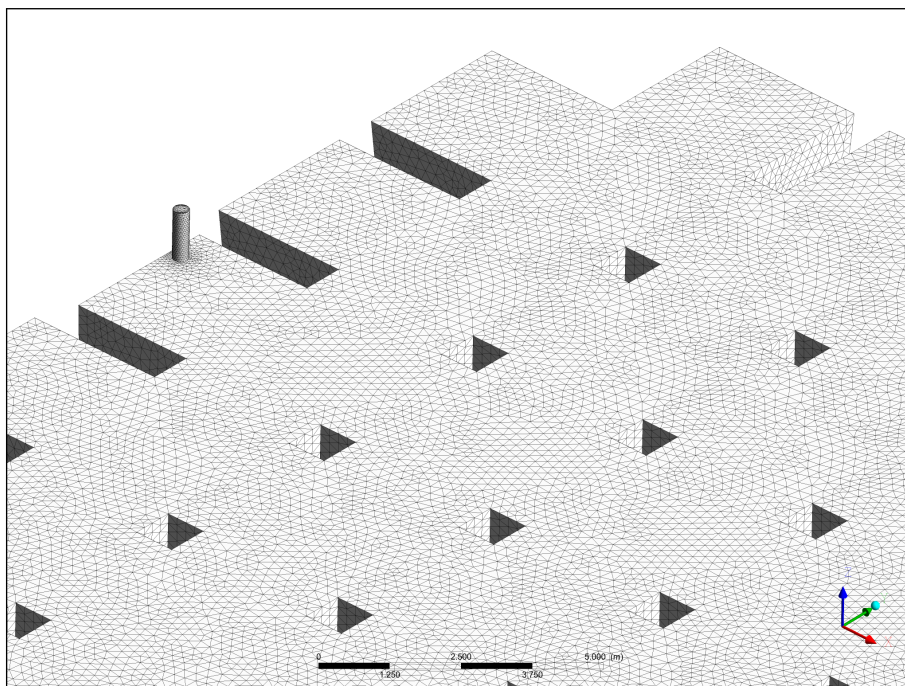


FIGURE 3 : Vue du maillage, surface de l'eau

1.3 Paramètres de calcul

Les calculs sont effectués sous *ANSYS Fluent 2022 R2*.

Un modèle de turbulence de type *Realizable $k-\epsilon$* , *Menter-Lechner* est mis en place, avec les méthodes numériques suivantes :

- couplage pression-vitesse : *SIMPLEC* ;
- calcul de la pression et équations secondaires : schémas décentrés amont du second ordre.

2 Résultats

2.1 Situation initiale

Une première série de simulations est fournie, se basant sur la géométrie initiale des deux réservoirs, et sur le jeu de données fourni par le gestionnaire des installations. L'adduction est faite par un tube déversant en un point de chaque réservoir, et l'aspiration par le point de soutirage historique de chaque réservoir.

Cas	Grand réservoir			Petit réservoir		
	add. + asp.	add.	asp.	add. + asp.	add.	asp.
Adduction (m^3/h)	120,0	120,0	0,0	120,0	120,0	0,0
Aspiration (m^3/h)	120,0	0,0	120,0	120,0	0,0	120,0

TABLEAU 1 : Géom. init. - Bilan des entrées / sorties

Un débit d'adduction ou d'aspiration de $120 \text{ m}^3/\text{h}$ est appliqué soit à l'entrée, soit à la sortie du modèle. Les résultats montrent que le mouvement de l'eau se crée principalement à partir de la vitesse induite par l'adduction d'eau. Les vitesses en jeu dans ce modèle sont extrêmement faibles, avec une vitesse moyenne dans le petit réservoir, avec adduction et aspiration, de $10,0 \text{ m/h}$; et $0,67 \text{ m/h}$ pour le grand réservoir, en aspiration seule.

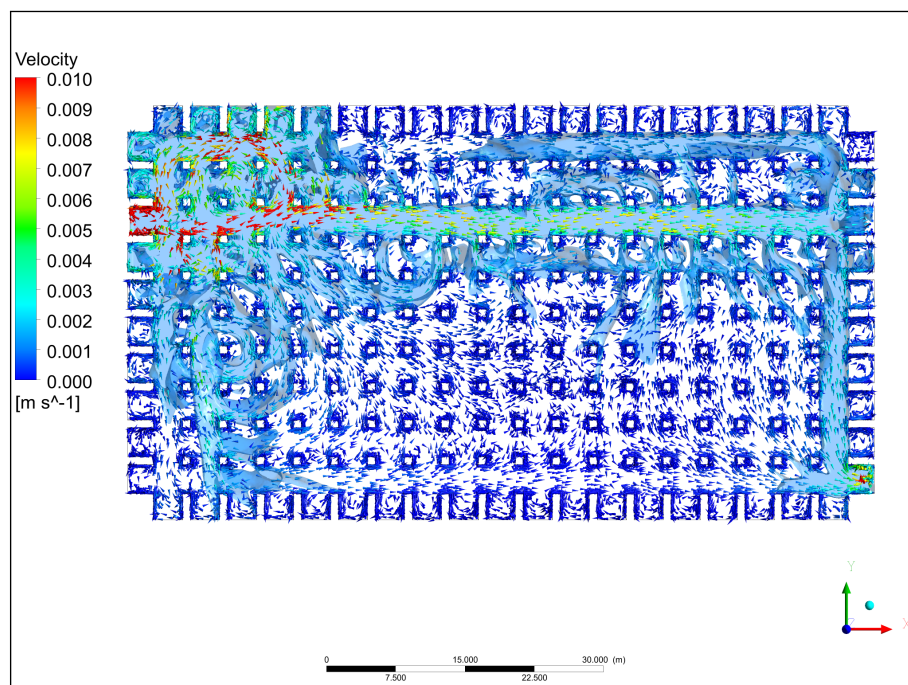


FIGURE 4 : Géom. init. - Isosurface de vitesse dans le grand réservoir (adduction + aspiration)

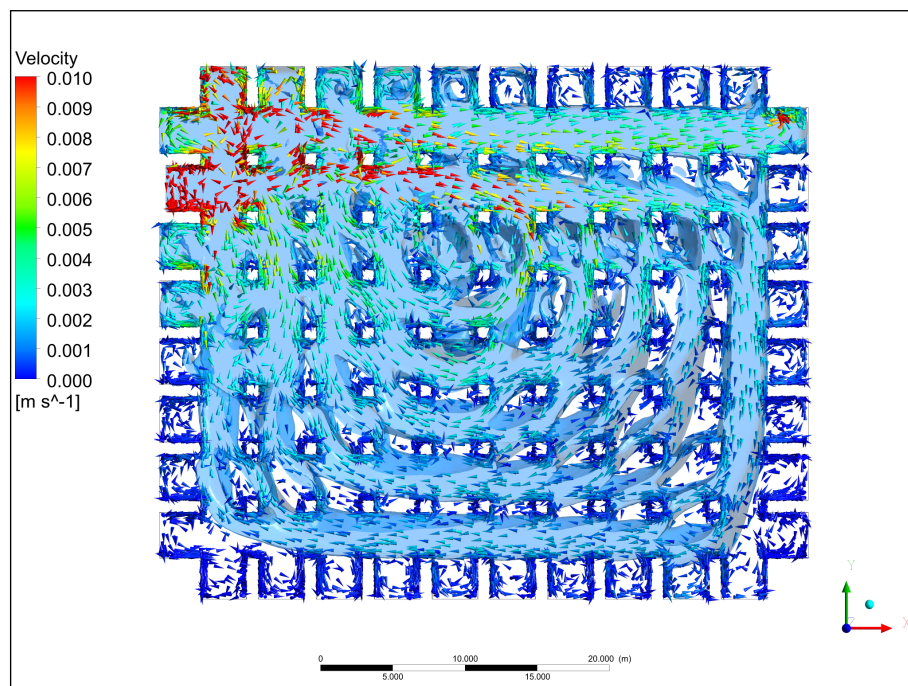


FIGURE 5 : Géom. init. - Isosurface de vitesse dans le petit réservoir (adduction + aspiration)

Une note de calcul au format HTML (*Report_initial.htm*) a été fournie pour cet ensemble de résultats, par mail du 12 mars 2024.

2.2 Aspirations supplémentaires

Après discussion avec la maîtrise d'œuvre, les positions définitives de conduites d'aspiration supplémentaires ont été définies. De nouvelles valeurs de débits entrants et sortant sont également fournies par NALDEO. La modélisation des nouvelles conduites et la prise en compte des débits demandés concourt à une nouvelle série de simulations, pour des débits d'aspiration dans les nouvelles conduites de 75, 175 et 250 m³/h, les autres débits restant fixes.

Cas	Grand réservoir			Petit réservoir		
	Débit 1	Débit 2	Débit 3	Débit 1	Débit 2	Débit 3
Adduction (m ³ /h)	350,0	350,0	350,0	350,0	350,0	350,0
Asp. historique (m ³ /h)	65,1	65,1	65,1	65,0	65,0	65,0
Asp. supplémentaire (m ³ /h)	75,0	175,0	250,0	75,0	175,0	250,0

TABLEAU 2 : Ajout asp. - Bilan des entrées / sorties

L'analyse de ces résultats confirme un point précédent : le brassage de l'eau dans les réservoirs est principalement produit par la vitesse induite par l'adduction d'eau. En effet, aucune réelle inflexion du flux n'est notée au droit des conduites d'aspiration, et ce quel que soit le débit d'aspiration considéré.

Ainsi, il semble être pertinent, au vu de ces résultats, de chercher à répartir le flux entrant dans les réservoirs, et par là même, répartir les zones d'eau brassée.

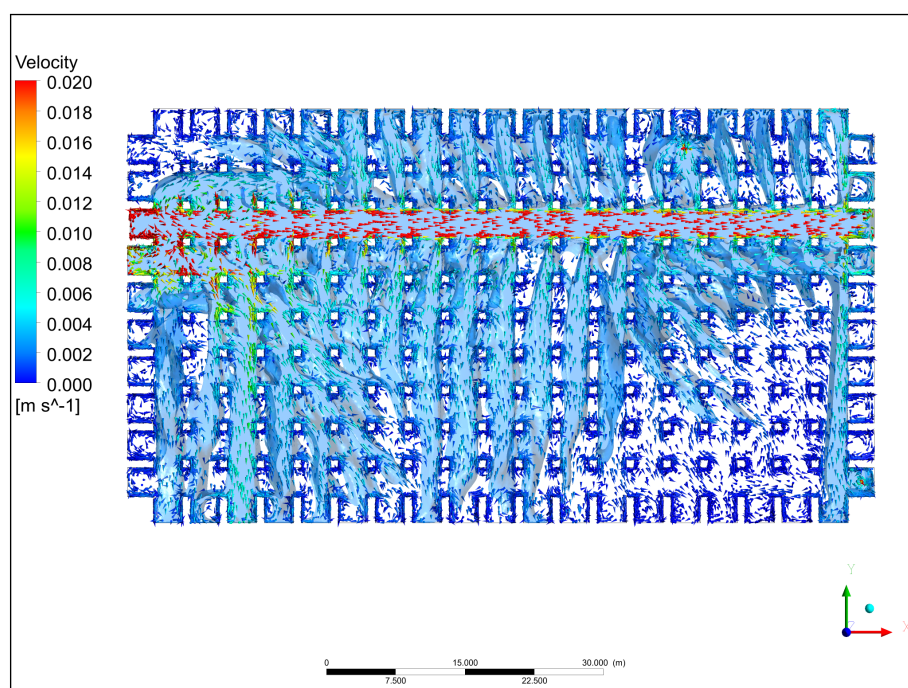


FIGURE 6 : Ajout asp. - Isosurface de vitesse dans le grand réservoir (adduction + aspiration)

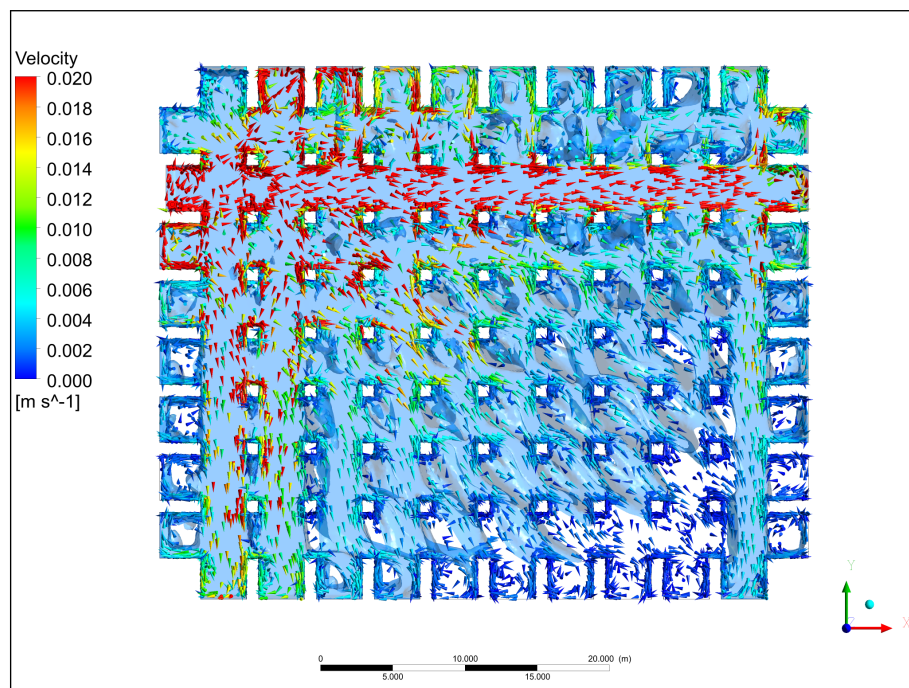


FIGURE 7 : Ajout asp. - Isosurface de vitesse dans le petit réservoir (adduction + aspiration)

Une note de calcul au format HTML (*Report_modif1.htm*) a été fournie pour cet ensemble de résultats, par mail du 17 avril 2024.

2.3 Répartition de l'adduction

Suite aux observations faites sur les cas avec débits modifiés, une proposition de géométrie de conduite d'entrée est faite (cf. figure 8), permettant une répartition du débit entrant dans le grand réservoir en trois points, et deux points pour le petit réservoir. Les débits entrants et sortants ne sont pas drastiquement modifiés, une version en remplissage seul et une version avec aspiration sont simulées.

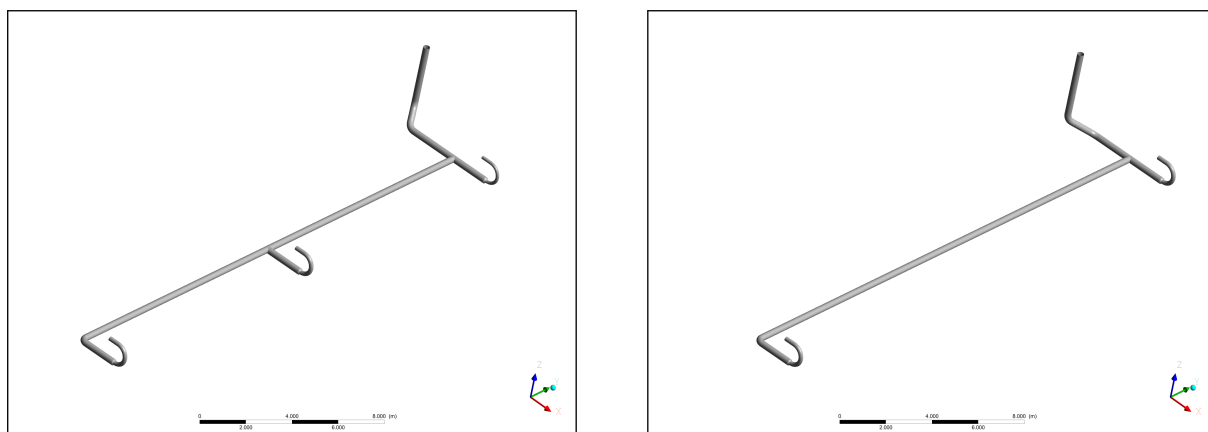


FIGURE 8 : Géométries de tubes d'entrée proposées pour le grand et le petit réservoir

Cas	Grand réservoir		Petit réservoir	
	Débit 0	Débit 1	Débit 0	Débit 1
Adduction (m ³ /h)	350,0	350,0	350,0	350,0
Asp. historique (m ³ /h)	0,0	65,0	0,0	65,0
Asp. supplémentaire (m ³ /h)	0,0	75,0	0,0	75,0

TABEAU 3 : Modif add. - Bilan des entrées / sorties

Le brassage dans le grand réservoir bénéficie de cette amélioration, avec un minimum de zones de faible vitesses, comme montré sur la figure 9, quand le petit réservoir ne présente pas une telle amélioration, avec seulement un déplacement de la zone de faible vitesse, et non une réduction de celle-ci.

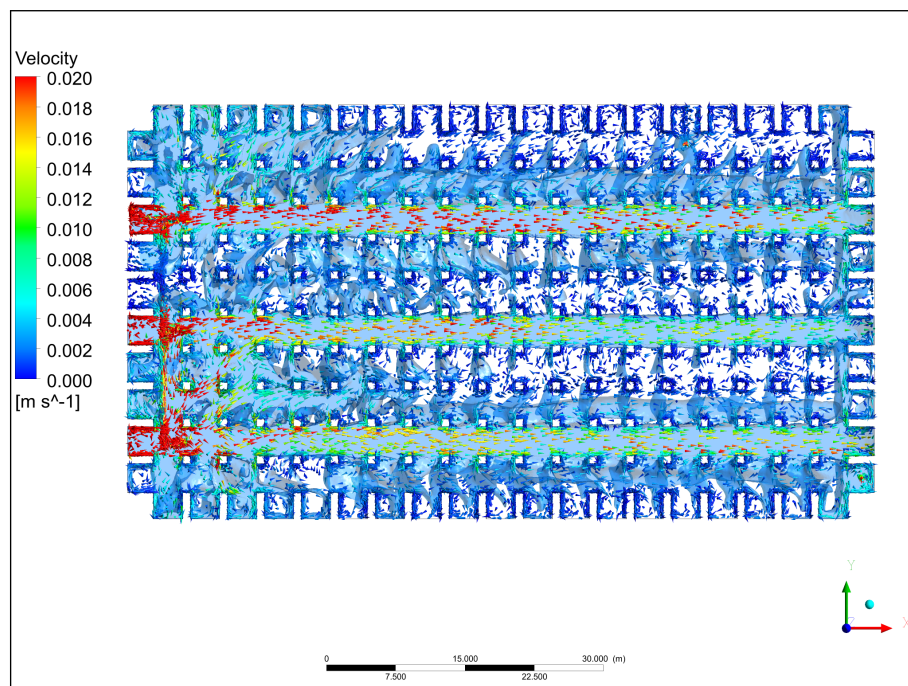


FIGURE 9 : Modif add. - Isosurface de vitesse dans le grand réservoir (adduction + aspiration)

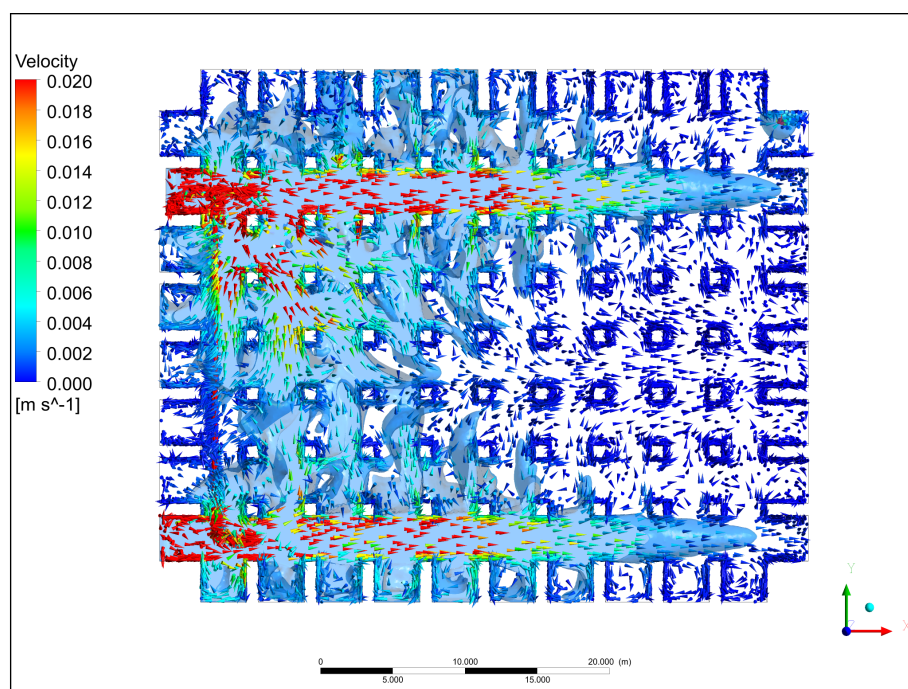


FIGURE 10 : Modif add. - Isosurface de vitesse dans le petit réservoir (adduction + aspiration)

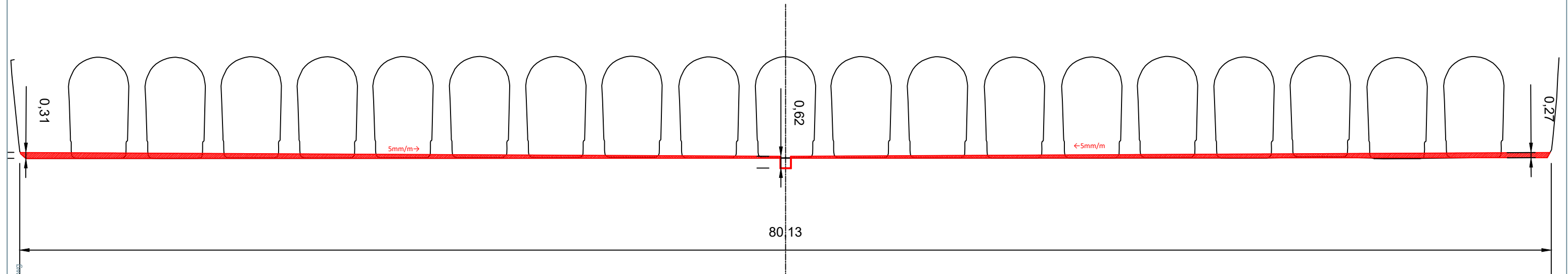
Une note de calcul au format HTML (*Report_modif3.htm*) a été fournie pour cet ensemble de résultats, par mail du 3 juin 2024.

Conclusion

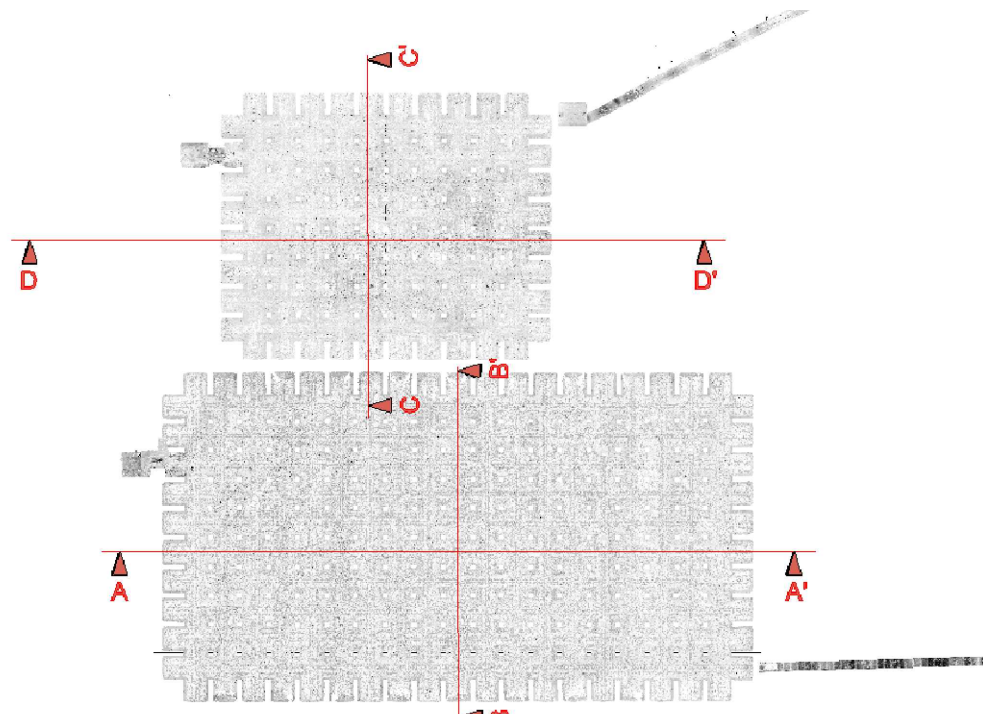
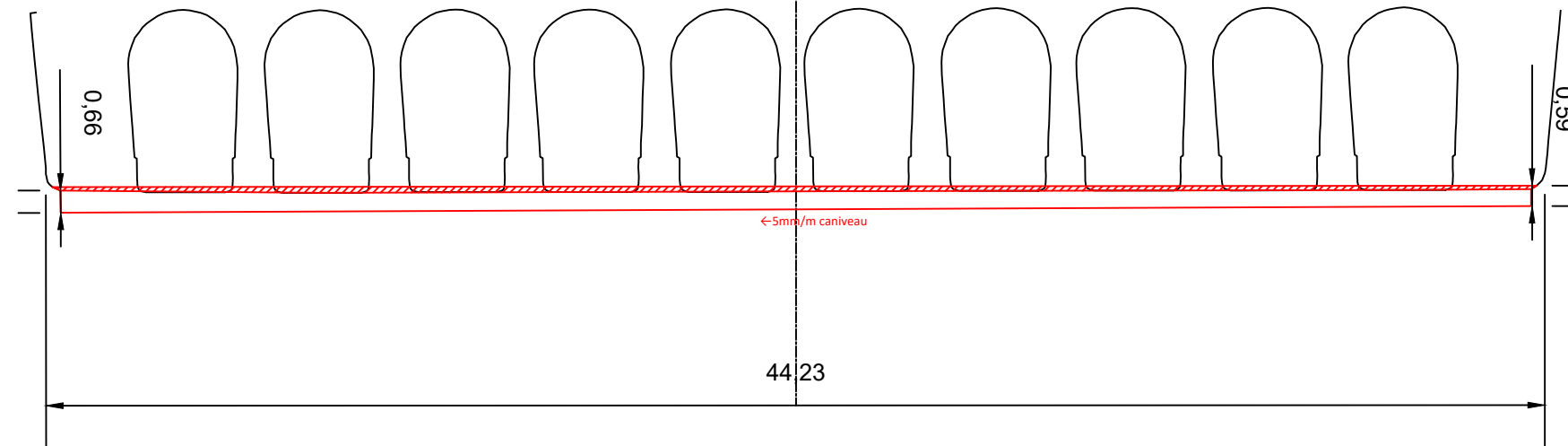
Les simulations effectuées des deux réservoirs, dans les conditions proposées (adduction avec 350 m³/h, niveau d'eau du mois de juillet 2022), permettent de montrer que le brassage lié à l'adduction est suffisant pour empêcher la stagnation dans le volume d'eau.

Afin de mieux répartir ce brassage, une adaptation de la conduite d'entrée du grand réservoir peut être envisagée, le petit réservoir ne semble pas nécessiter ce type d'aménagement. Il convient également de noter que cette modification de la conduite de remplissage s'accompagne d'une augmentation de la perte de charge en bout de ligne, qui pourrait éventuellement nécessiter une adaptation du point de fonctionnement des pompes d'adduction ou des vannes de régulation.

Coupe A-A'

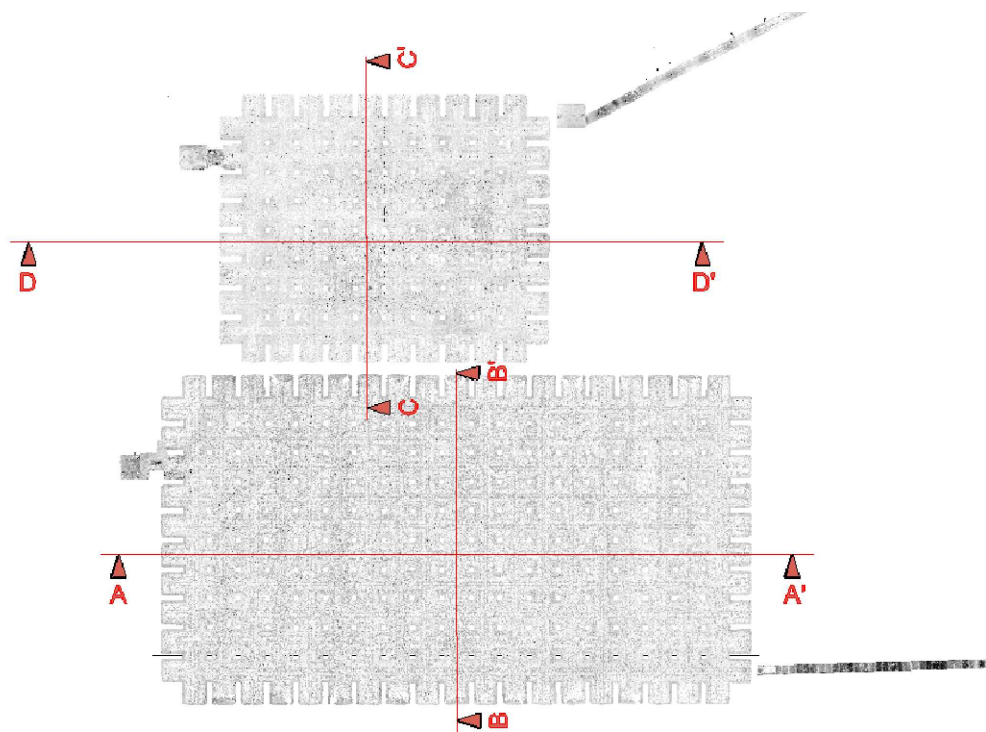


Coupe B-B'

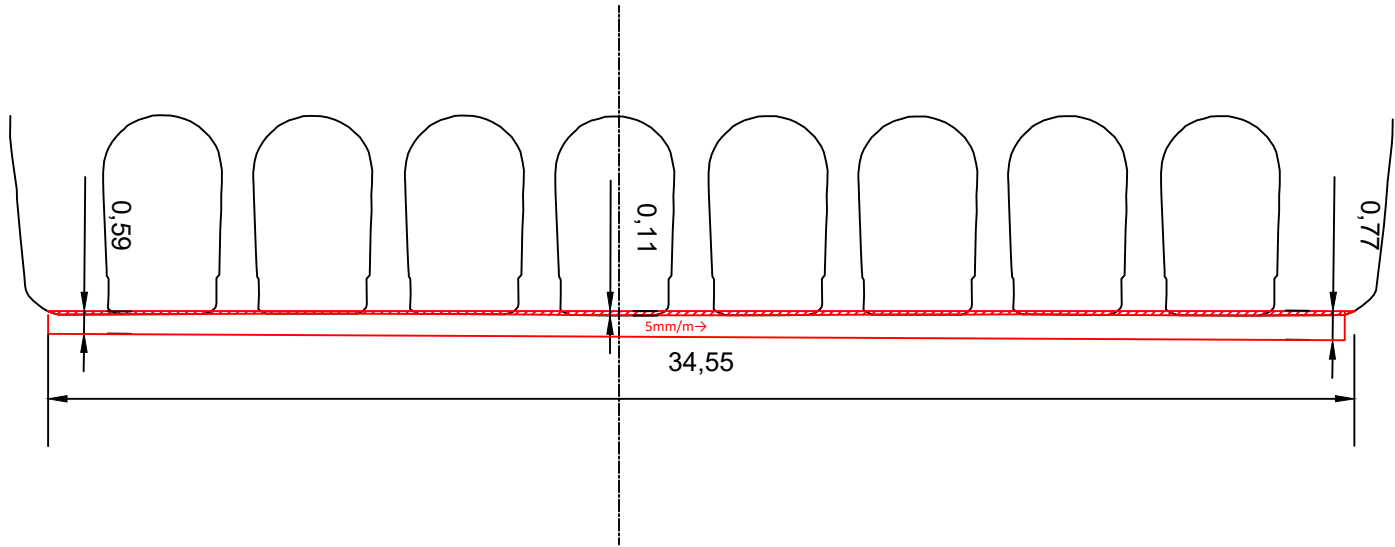


0	13/05/2024		Première édition	XCa PMr
Indice	Date		Description	Dess. Verif.
Echelle 1/200		SPEPAA - Syndicat mixte de production d'eau potable Auch Aubiet REHABILITATION RESERVOIRS AUCH LESCAT AVP Réagréage radier grand réservoir - Coupes A-A' B-B'		
Naldeo INGENIERIE & CONSEIL Agence de TOULOUSE 265 rue de la découverte 31670 LABEGE Tel. 05 61 39 88 88, Fax 05 61 00 77 13 www.naldeo.com		N° d'Affaire T2300544	Plan N° --	

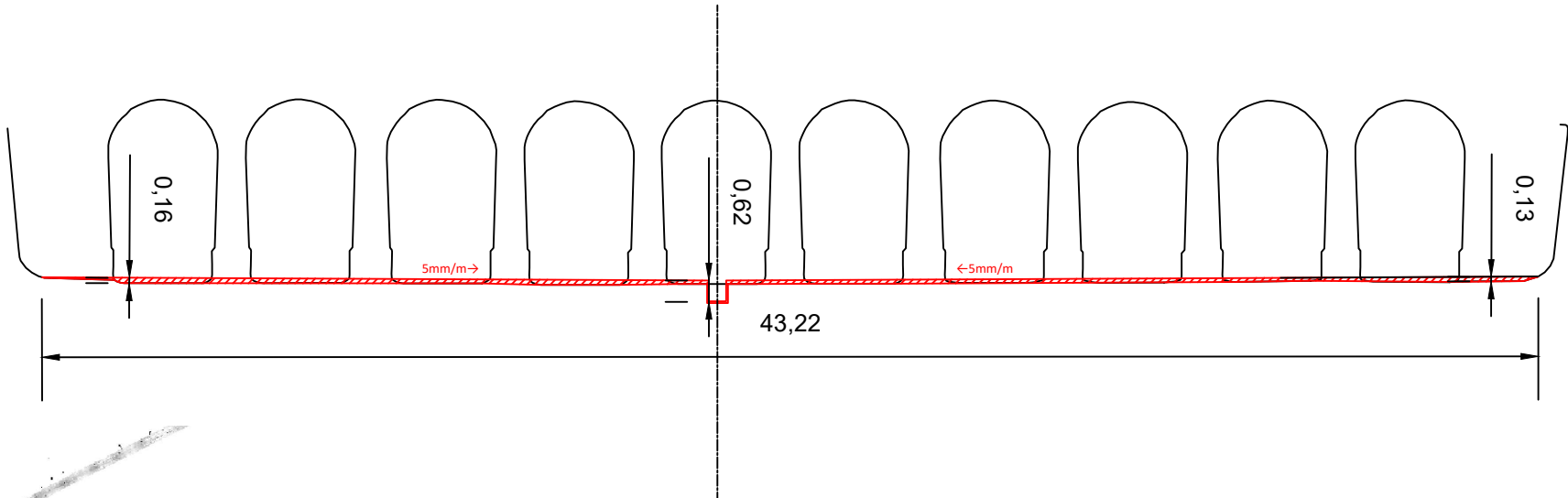
Date d'édition : 26/06/2024 Chemin d'accès : C:\Users\xavier.catala\Naldeo\DOSSO Dessinateurs - Documents\AFFIT2301237 - STATION POMPAGE AUCH - LESCAT-LOT2-SPEPAA\PLANS\Coupes réservoir.dwg



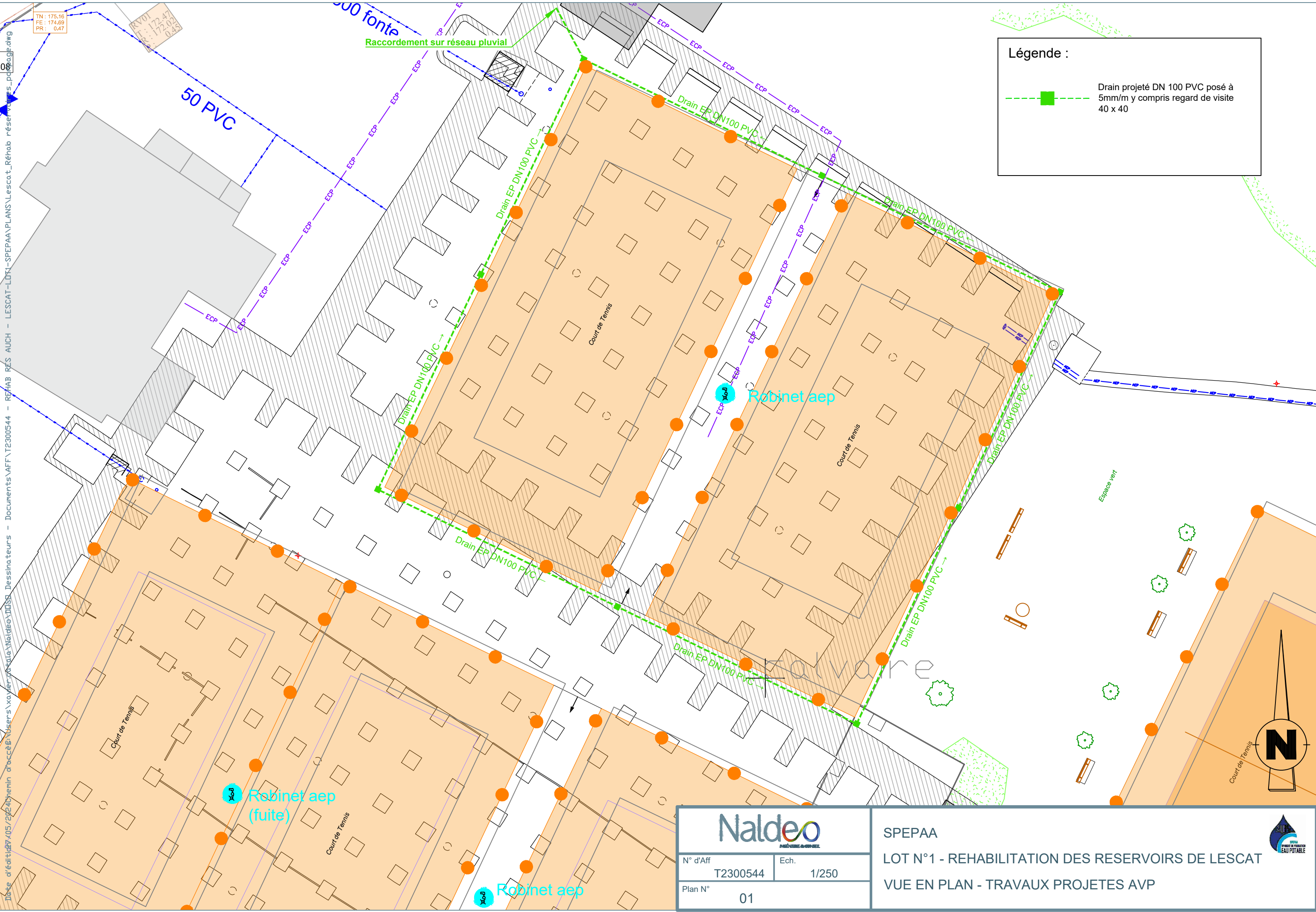
Coupe C-C'



Coupe D-D'



0	13/05/2024	Première édition	XCa	PMr
Indice	Date	Description	Dess.	Verif.
Echelle 1/200		SPEPAA - Syndicat mixte de production d'eau potable Auch Aubiet REHABILITATION RESERVOIRS AUCH LESCAT		
 Agence de TOULOUSE 265 rue de la découverte 31670 LABEGE Tel. 05 61 39 88 88, Fax 05 61 00 77 13 www.naldeo.com		AVP Réagréage radier petit réservoir - Coupes C-C' D-D'		
		N° d'Affaire T2300544	Plan N° --	



Légende :

Drain projeté DN 100 PVC posé à 5mm/m y compris regard de visite 40 x 40

\\Users\Xavier\Documents\T2300544 - Documents\AFF\T2300544 - REHAB RES AUCH - LESCAT-LON-SPEPAA\PLANS\Lescat_Réhab réservoirs - plan de drainage.dwg

TN : 175.16
PE : 174.69
PR : 0.47

RV01
ET : 172.47
ER : 172.02
0.43

Date d'édition : 05/2024



N° d'Aff
T2300544

Ech.
1/250

Plan N°
01

SPEPAA

LOT N°1 - REHABILITATION DES RESERVOIRS DE LESCAT

VUE EN PLAN - TRAVAUX PROJETES AVP



MINISTRE DE L'ÉNERGIE
ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE