



Aménagement d'une écluse anti-salinité au barrage d'Arzal

Demande d'autorisation environnementale

DESCRIPTION DU PROJET

Aménagement d'une écluse anti-salinité au barrage d'Arzal

Demande d'autorisation environnementale

Eaux & Vilaine

Description du projet

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
1	Autorisation initiale	PCE/JBU	JBU	02/2024

ARTELIA SAS
Siège social : 16 rue Simone Veil – 93400 SAINT OUEN – www.arteliagroup.com

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	1
TABLEAUX.....	2
FIGURES.....	2
DESCRIPTION DU PROJET RETENU	3
1. OBJET, NATURE ET CONSISTANCE DES TRAVAUX	4
1.1. LOCALISATION DU PROJET.....	4
1.2. OBJET DES TRAVAUX	7
1.3. NATURE ET CONSISTANCE DES TRAVAUX	7
2. PRÉSENTATION DU BARRAGE D'ARZAL	8
2.1. DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS	8
2.2. FONCTIONNEMENT GENERAL DE L'OUVRAGE.....	11
2.3. FONCTIONNEMENT DE L'ECLUSE	11
3. PRINCIPAUX ENJEUX DU PROJET	15
3.1. SUPPRIMER LES INTRUSIONS D'EAUX SALINES DANS LA VILAINE DEPUIS L'ESTUAIRE.....	15
3.2. AMELIORER LE TRANSIT DES BATEAUX	15
3.3. REDUIRE LES INTERRUPTIONS DU TRAFIC ROUTIER.....	15
3.4. LIMITER L'ENSABLEMENT	15
3.5. PERMETTRE LE FRANCHISSEMENT PISCICOLE.....	15
4. ETUDES PRÉALABLES À LA DÉFINITION DU PROJET.....	16
4.1. CREATION D'UNE NOUVELLE ECLUSE	16
4.2. SOLUTIONS ALTERNATIVES ETUDIEES EN 2020-2022	16
5. PRÉSENTATION DE LA SOLUTION RETENUE ET DES MODALITÉS DE SA MISE EN ŒUVRE	19
5.1. PLAN-MASSE.....	19
5.2. PRINCIPES RETENUS POUR LA PARTITION DU SAS EN DEUX ELEMENTS	21
5.3. FONCTIONNEMENT PROJETE	22

5.3.1. LORSQUE LE NIVEAU DE MER EST SUPÉRIEUR AU NIVEAU DE LA VILAINE.....	22
5.3.2. LORSQUE LE NIVEAU DE MER EST INFÉRIEUR AU NIVEAU DE LA VILAINE	24
6. DESCRIPTION DU DÉROULEMENT DES TRAVAUX	26
7. PLANNING PRÉVISIONNEL DE RÉALISATION DES TRAVAUX.....	29
8. COÛT PRÉVISIONNEL DU PROJET	35
8.1. COUT GLOBAL DES TRAVAUX.....	35
8.2. COUT DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE POMPAGE.....	35

TABLEAUX

Tableau 1 : Comparaison des solutions alternatives envisagées	17
---	----

FIGURES

Figure 1 : Localisation géographique du projet	4
Figure 2 : Vue aérienne et cadastrale	5
Figure 3 : Propriétés appartenant à Eaux & Vilaine	6
Figure 4 : Vue aérienne du barrage et de l'usine de Vilaine Atlantique	7
Figure 4 : Plan masse d'avant-projet de la solution retenue	7
Figure 5 : Vue en plan du barrage et de ses principaux équipements.....	9
Figure 6 : Localisation des prises de vues	10
Figure 7 : Vue de l'écluse en aval de la porte intermédiaire vers l'amont - Source : ARTELIA	12
Figure 8 : Vue de l'écluse vers l'estuaire avec –avec bateau attendant l'ouverture de l'écluse - Source : ARTELIA	12
Figure 9 : Statistiques de passages et fermetures des écluses au cours d'une année	13
Figure 10 : Localisation des prises de vue autour de l'écluse	14
Figure 11 : Localisation des prises de vue autour de l'écluse	14
Figure 12 : Plan masse simplifié de la solution de référence (concours et AVP)	16
Figure 13 : Plan de projet de la solution 2a	20
Figure 14 : Vanne secteur dans son environnement	21
Figure 15 : Vue aérienne de la zone de travaux ainsi que les accès prévus	28
Figure 16 : Prix moyen du kWh sur 2022 (€/kWh).....	35



DESCRIPTION DU PROJET RETENU

1. OBJET, NATURE ET CONSISTANCE DES TRAVAUX

1.1. LOCALISATION DU PROJET

Le barrage d'Arzal (ou barrage d'Arzal-Camoël) est situé sur le cours inférieur de la Vilaine, entre les communes d'Arzal et de Camoël (Morbihan).

Il est situé à une dizaine de kilomètres en amont de l'embouchure de la Vilaine dans l'océan Atlantique, entre les bourgs d'Arzal (sur la rive droite) et de Camoël (sur la rive gauche). Il franchit le fleuve près d'un ancien passage par bac, au lieu-dit La Vieille-Roche.

Les cartes suivantes permettent de localiser le projet et les parcelles concernées. L'intégralité du projet se situe sur la commune d'Arzal et sur des parcelles appartenant au Maître d'Ouvrage.

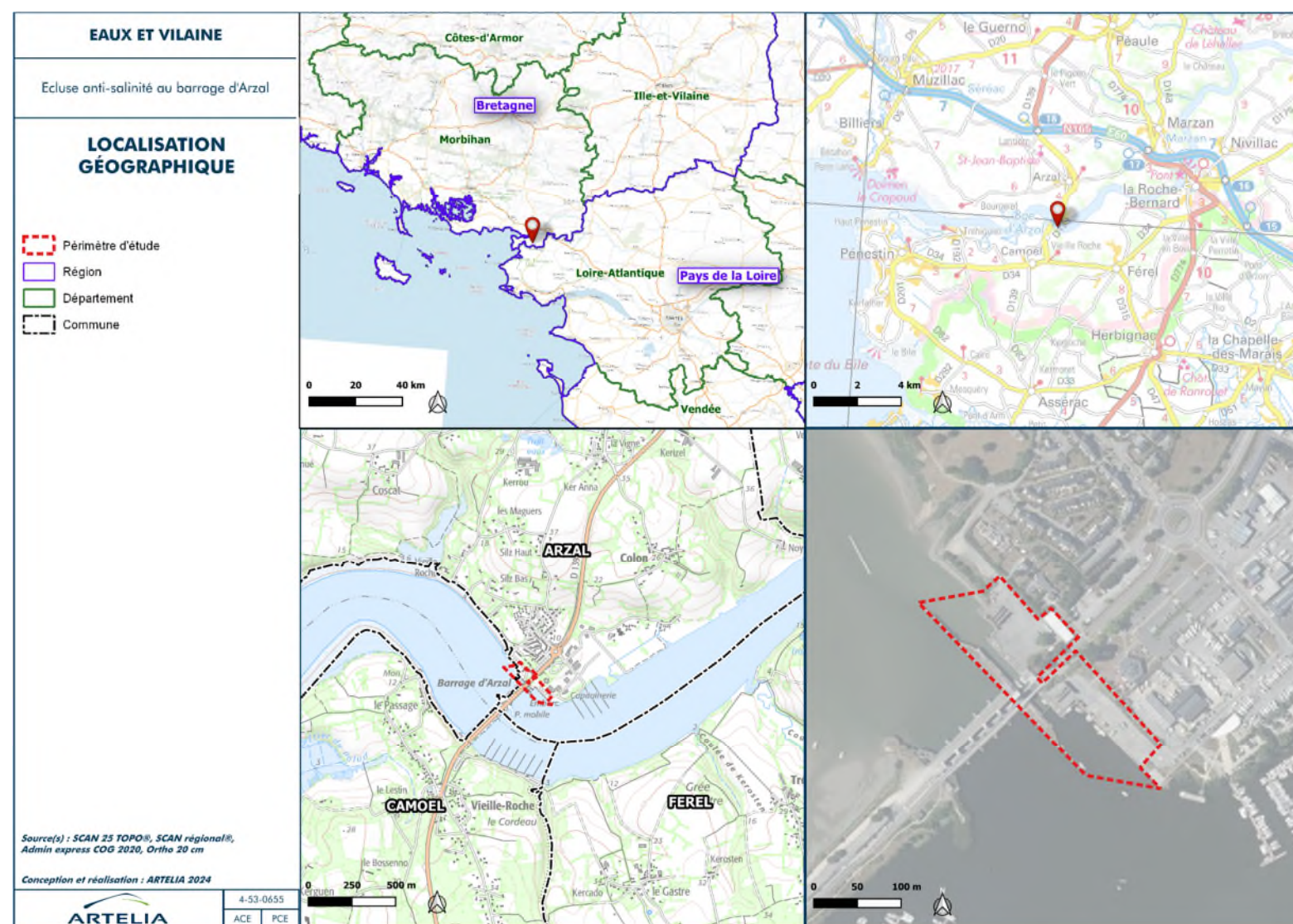


Figure 1 : Localisation géographique du projet

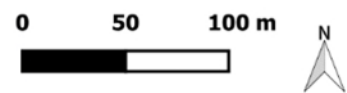
EAUX ET VILAINE

Aménagement d'une écluse anti-salinité au barrage d'Arzal

VUE AÉRIENNE ET CADASTRALE

Cadastre

-  Bâtiment
-  Parcelle
-  Section
-  Commune



Source(s) : Ortho 20 cm, Cadastre

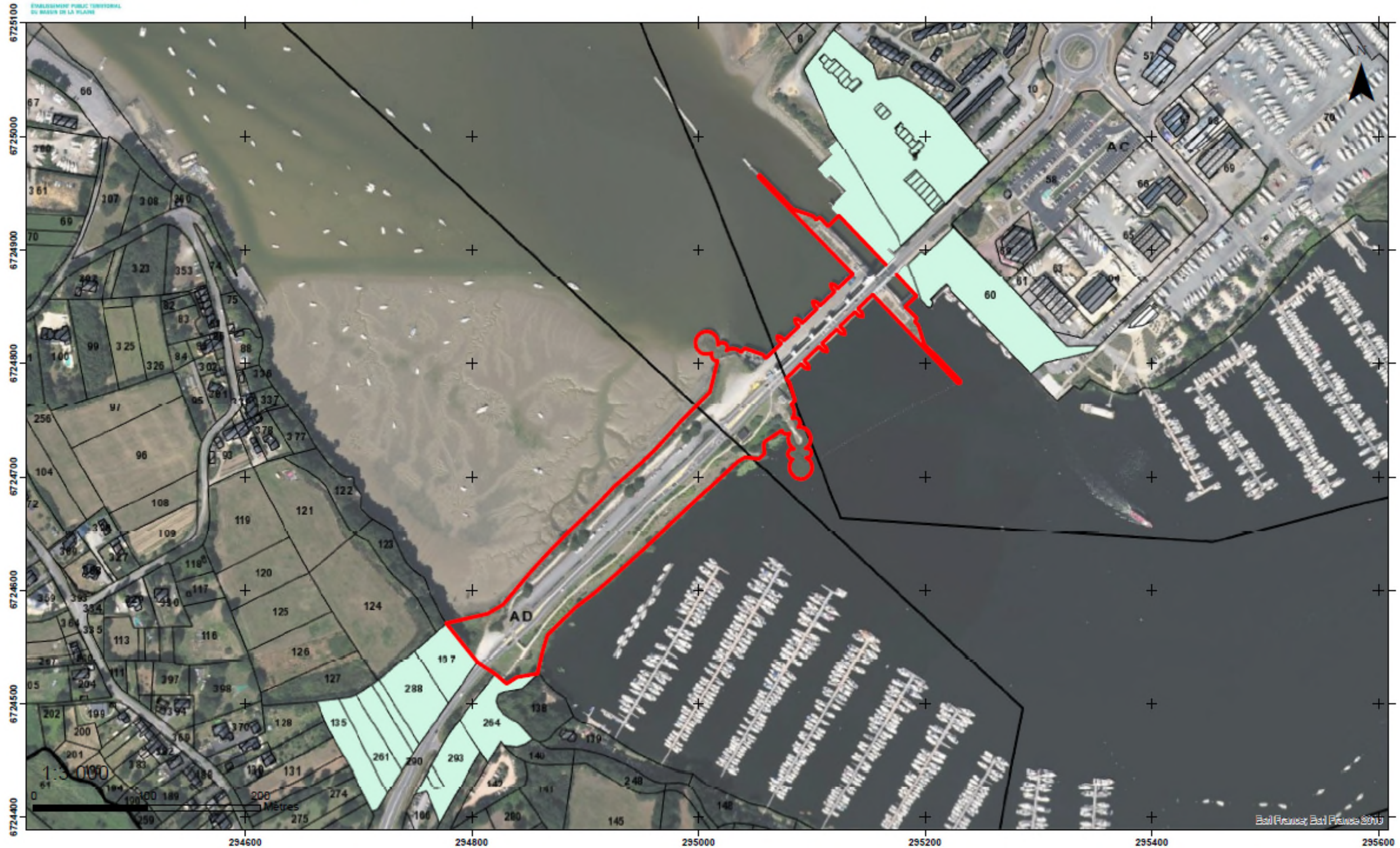
Conception et réalisation : ARTELIA 2023



4-53-0655

ACE JBU





1.2. OBJET DES TRAVAUX

Le barrage d'Arzal, inauguré en 1970, est un ouvrage clé pour la gestion des niveaux sur le bassin de la Vilaine aval. Il contrôle une réserve d'eau douce de 50 millions de mètres cubes alimentant la plus grande unité de production d'eau potable de Bretagne : l'usine de Vilaine Atlantique à Férel, dont la prise d'eau est située à l'amont immédiat du barrage. Cette réserve est multi-usage et peut engendrer des conflits complexes à gérer, notamment en période de sécheresse entre la production d'eau potable et la navigation de plaisance.

Le barrage est équipé d'une écluse pour permettre le passage des bateaux de plaisance, entraînant des intrusions d'eau de mer lors des éclusées. Un système de siphons permet actuellement de capter la majeure partie des eaux salées parasites et de les rediriger vers l'estuaire. Cependant, en étiage, malgré les siphons, une fraction d'eau salée peut remonter dans le plan d'eau et dégrader la qualité de l'eau à la prise d'eau de l'usine. De plus les siphons sont très consommateurs d'eau et ce sont ainsi près de 400 000 m³ de ressource qui sont perdus chaque jour. En période de sécheresse, la seule solution pour préserver la ressource est ainsi de procéder à des restrictions d'éclusage pour limiter les entrées d'eau salée, voire de fermer complètement l'écluse pour arrêter les siphons et préserver la quantité d'eau. Dans un contexte de changement climatique ou les périodes de sécheresse vont se multiplier, les tensions sur la ressource vont être de plus en plus fortes et les conflits d'usage pourraient s'exacerber.

Le projet a ainsi pour objectif d'apporter une solution visant à traiter le problème « à la source » en supprimant les entrées d'eaux salées dans la réserve d'eau douce contrôlée par le barrage d'Arzal, ce qui permettra de sécuriser l'alimentation en eau potable et de garantir la continuité de navigation quelles que soient les conditions hydrologiques de la Vilaine.



Figure 4 : Vue aérienne du barrage et de l'usine de Vilaine Atlantique

1.3. NATURE ET CONSISTANCE DES TRAVAUX

Le projet consiste à mettre en place un système anti-salinité qui s'intègre dans le corps même de l'ouvrage formé par l'écluse existante, au Nord du barrage. Le concept repose sur la création d'une vanne secteur en remplacement de la porte intermédiaire mais en amont du pont routier à moins de 10 m en aval de la porte écluse amont. Le fonctionnement de cette vanne secteur permettra le remplissage du sas par des eaux douces en surverse, tandis que les eaux saumâtres seront aspirées en fond d'écluses par l'intermédiaire de la station de pompage à créer. De cette façon, les eaux salées seront substituées du sas évitant ainsi toute incursion de sel lors de l'ouverture de celui-ci. La figure suivante, issue du rapport d'avant-projet (Artelia, novembre 2023), illustre le principe général du projet.

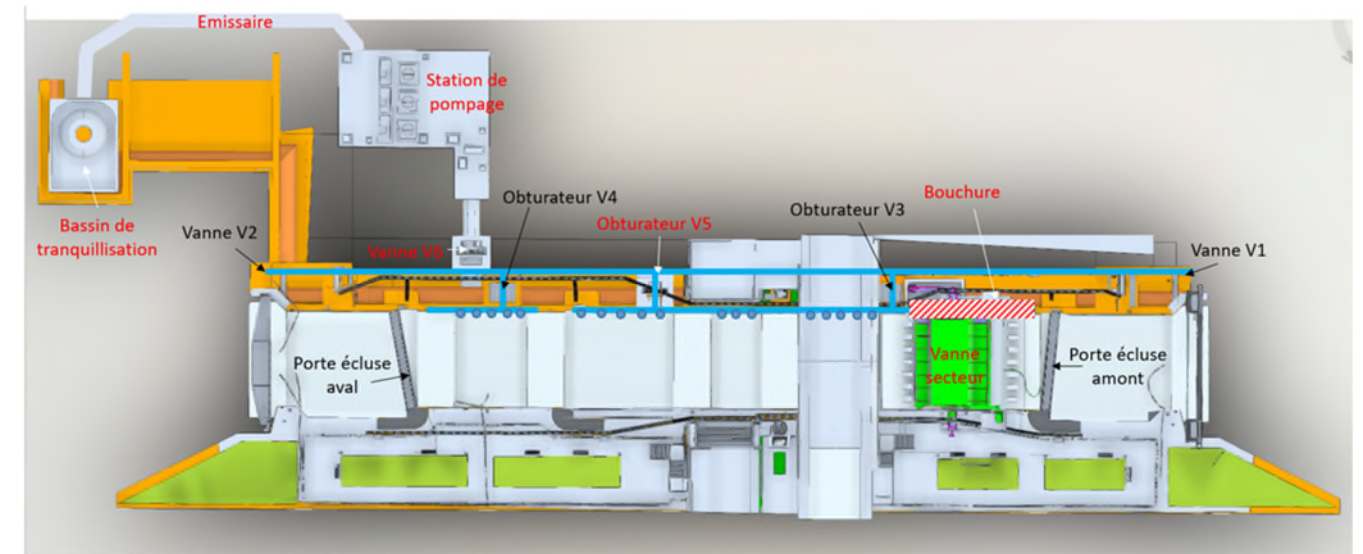


Figure 5 : Plan masse d'avant-projet de la solution retenue

Les travaux seront réalisés dans l'emprise de l'écluse existante exclusivement et consisteront à :

- Modifier l'existant : Bouchure de l'amont de la galerie de distribution amont, dépose de la porte écluse intermédiaire, remplacement de l'installation électrique et hydraulique, rénovation de la vantellerie existante ;
- Ajouter de nouvelles structures : vanne secteur, station de pompage et sa vanne d'isolement (V6), émissaire et bassin de tranquillisation, obturbateur secondaire (V5) au niveau de la galerie de distribution amont.

Les travaux se dérouleront sur une période continue de 18 mois entre novembre 2025 et avril 2027. L'écluse ne fonctionnera pas durant les deux périodes hivernales sur une durée de cinq mois maximum (de novembre à fin mars). Néanmoins, la continuité de service relative à la circulation routière, au fonctionnement des vannes du barrage et des dispositifs de montaison (passe et rampe) sera assurée pendant toute la durée du chantier.

Pour plus de détails sur la nature et la consistance des travaux prévus, on pourra se référer à la partie 6 « Description du déroulement des travaux ».

2. PRESENTATION DU BARRAGE D'ARZAL

2.1. DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS

Le barrage d'Arzal est un ouvrage multi-usages qui assure les fonctions de :

- Retenue d'eau pour la fourniture d'eau potable ;
- Protection contre les crues et gestion des niveaux d'eau ;
- Navigation via les éclusées ;
- Circulation routière en crête d'ouvrage ;
- Passes à poisson pour la migration piscicole.

Pour assurer ces fonctions, le barrage est composé de plusieurs organes, de la rive droite vers la rive gauche :

- Une écluse (13 m de large et 80 mètres de long) et les ouvrages d'alimentation associés ;
- Une rampe à anguille située le long du mur guide-eau (construite en 2006) ;
- Un pont mobile levant permettant le passage des bateaux pendant les éclusées. Le barrage est en effet situé au droit d'une route départementale (la RD139), et le passage des bateaux nécessite l'arrêt de la circulation ;
- Cinq pertuis d'évacuation, équipés chacun d'une vanne levante (dimensions 18 m x 12 m) sur laquelle repose un volet basculant ;
- Une passe à poissons (construite en 1996), constituée d'une passe à bassins permettant le franchissement par les migrateurs, et de deux rampes à anguilles ;
- Une digue de fermeture de la Vilaine.

La longueur totale du barrage est d'environ 500 m : 140 m pour les ouvrages hydrauliques et 360 m pour la digue. Ses fondations sont complexes : les ouvrages hydrauliques (vannes et écluses) sont posés sur le substratum rocheux en rive droite, la digue est assise sur un sol vaseux aux mécanismes de tassement complexes en rive gauche principalement.

Cependant, la construction d'un tel ouvrage n'est pas sans conséquences :

- Le fonctionnement de l'écluse laisse pénétrer dans la Vilaine de l'eau salée qui gêne l'usine de production d'eau potable de Vilaine Atlantique. Ces intrusions sont d'autant plus importantes en été que le débit d'étiage est faible et que le trafic des bateaux est fort ;
- La construction du barrage a eu pour conséquence une aggravation du phénomène d'envasement à l'échelle globale de l'estuaire de la Vilaine. Plus localement, à l'aval de l'écluse actuelle, l'envasement du chenal d'accès oblige Eaux et Vilaine à réaliser régulièrement des opérations de curage pour maintenir le tirant d'eau nécessaire au passage des bateaux. Les essais de chasse réalisés via l'écluse se sont révélés peu concluants, car limités par la conception des portes ;

- Les passes à poisson existantes, bien que fonctionnelles, ne compensent pas totalement l'obstacle à la libre circulation piscicole que constitue le barrage. Le rétablissement d'une continuité hydraulique lors des périodes de migration pourrait constituer une amélioration supplémentaire.

Les figures en pages suivantes permettent d'avoir une vue générale de l'ouvrage et des équipements qui le constituent.

AVAL



AMONT

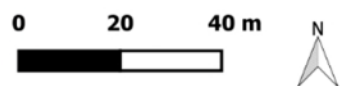


EAUX ET VILAINE

Ecluse anti-salinité au barrage d'Arzal

LOCALISATION DES PRISES DE VUES

> Prise de vue



Source(s) : Ortho 20 cm

Conception et réalisation : ARTELIA 2024



4-53-0655

ACE JBU

2.2. FONCTIONNEMENT GENERAL DE L'OUVRAGE

Le barrage d'Arzal vient bloquer la marée qui remontait auparavant jusqu'à l'amont de Redon. En période de vives-eaux, la marée venait contrarier l'écoulement des crues, provoquant des inondations à répétition de la vallée. Le barrage a ainsi permis de réduire notablement les risques de débordement, même si la région reste toujours sensible aux grandes crues de la Vilaine. En régulant à l'amont le niveau du plan d'eau, le barrage facilite aussi la navigation sur la rivière et a permis le développement de plusieurs ports de plaisance. Finalement, en arrêtant la marée, le barrage crée un plan d'eau douce favorable aux activités touristiques et à l'approvisionnement en eau potable.

2.3. FONCTIONNEMENT DE L'ECLUSE

Le barrage d'Arzal est doté d'une écluse qui permet la navigation entre le fleuve et l'océan.

D'une longueur de 89m et largeur de 13m, l'écluse fonctionne en éclusées continues en commençant par la remontée des bateaux.

En fonction des conditions de marées, le niveau en estuaire peut être plus haut ou plus bas que le niveau de la Vilaine en amont. Une phase préalable d'équilibrage gravitaire des niveaux entre le sas et la Vilaine en éclusées montantes et entre le sas et l'estuaire en éclusées descendantes est donc nécessaire.

En fonction du nombre de bateaux à transiter, l'écluse peut fonctionner en grand sas (utilisation des portes écluse amont et aval) ou en petit sas (utilisation des portes écluse aval et intermédiaire). Le fonctionnement général reste toutefois similaire.

Le séquençage actuel pour des cycles en grand sas est décrit dans le tableau suivant.

Cycle lorsque le niveau de mer est <u>supérieur</u> au niveau de la Vilaine	Cycle lorsque le niveau de mer est <u>inférieur</u> au niveau de la Vilaine
Porte écluse amont fermée	Porte écluse amont fermée
Porte intermédiaire ouverte	Porte intermédiaire ouverte
Pont mobile ouvert (il reste abaissé en cas de fonctionnement petit sas) - circulation routière arrêtée	Pont mobile ouvert (il reste abaissé en cas de fonctionnement petit sas) - circulation routière arrêtée
1. Ouverture de la porte aval et entrée des bateaux dans l'écluse	1. Ouverture de la porte aval et entrée des bateaux dans l'écluse
2. Fermeture de la porte aval	2. Fermeture de la porte aval
3. Equilibrage gravitaire du sas avec le niveau d'eau amont - Ouverture de la vanne d'aqueduc en amont (V1)	3. Equilibrage gravitaire du sas avec le niveau d'eau amont - Ouverture de la vanne d'aqueduc en amont (V1)
4. Ouverture de la porte écluse amont à la fin de l'équilibrage et fermeture de V1 (ouverture du pont mobile si petit sas)	4. Ouverture de la porte écluse amont à la fin de l'équilibrage et fermeture de V1 (ouverture du pont mobile si petit sas)
5. Sortie des bateaux montants	5. Sortie des bateaux montants
6. Entrée dans le sas des bateaux en descente	6. Entrée dans le sas des bateaux en descente
7. Fermeture de la porte écluse amont (abaissement du pont mobile si petit sas)	7. Fermeture de la porte écluse amont (abaissement du pont mobile si petit sas)
8. Equilibrage gravitaire du sas avec le niveau aval – ouverture de la vanne d'aqueduc en aval (V2). A la fin de l'équilibrage, fermeture de V2	8. Equilibrage gravitaire du sas avec le niveau aval – ouverture de la vanne d'aqueduc en aval (V2). A la fin de l'équilibrage, fermeture de V2
9. Ouverture de la porte écluse aval, les bateaux sortent de l'écluse	9. Ouverture de la porte écluse aval, les bateaux sortent de l'écluse
10. Abaissement du pont mobile et reprise de la circulation routière	10. Abaissement du pont mobil et reprise de la circulation routière

Sauf avis contraire (crue, étiage sévère, travaux, incident), l'écluse fonctionne aux heures indiquées ci-dessous. En période de pointe, un éclusage peut durer plus de 40 minutes, notamment l'éclusage de fin de journée les dimanches et jours fériés. En période de grande crue, la navigation peut être totalement interdite entre Redon et le barrage d'Arzal.

Le calendrier et les horaires des éclusées sont établis à l'avance (en intégrant les contraintes de niveaux) et communiqués aux plaisanciers :

- En période de pointe (août) la première éclusée est programmée à 8h et la dernière à 21h ;
- Les éclusées peuvent s'enchaîner toutes les heures lors des périodes de plus fortes sollicitations (sauf incident, ce planning est sensiblement respecté) ;
- En hiver (de novembre à mars inclus), six éclusées sont programmées chaque jour de 8h00 à 18h00 ;
- En mi-saison, (avril, mai, juin, d'une part et septembre, octobre, d'autre part) le programme propose sept éclusées quotidiennes avec huit à dix jours proposant deux éclusées complémentaires- plage d'ouverture 8h00 à 21h00 en moyenne ;

- En haute saison, (juillet et août), huit éclusées minima sont proposées pour juillet et neuf pour août avec certains jours (9 ou 10) qui proposent deux éclusées complémentaires. La plage d'ouverture est également 8h00-21h00 ;
- A raison de 22 à 25 bateaux maximum par éclusée et par sens, la programmation théorique actuelle permet d'offrir au maximum en pointe onze éclusées soit 484 à 550 passages quotidiens cumulés dans les deux sens, soit un maximum absolu de 1650 passages (avalant + montant) sur le mois en supposant un remplissage intégral de l'écluse à chaque sassée ;
- La mise en place du Passeport-écluse permet à chaque plaisancier de connaître à l'avance les horaires de passage à l'écluse d'Arzal et de s'y pré-inscrire. Cette possibilité de pré-inscription n'est que partiellement utilisée, et les plaisanciers ne se conforment pas toujours à leur pré-inscription. En revanche, elle donne à tous, exploitant et plaisanciers, une vision prospective de la fréquentation de l'écluse lors des prochains passages et un laminage des pointes s'opère naturellement par ce biais.

Sauf ordre particulier, les bateaux rentrent dans le sas de l'écluse en fonction de l'ordre d'arrivée à quai. Les éclusages commencent toujours par le sens montant. Les bateaux sortant de l'écluse sont prioritaires. Les plaisanciers qui rentrent dans l'écluse sont tenus d'appliquer les ordres et consignes donnés par les barragistes, le lamaneur ou le personnel du port présent sur le plan d'eau. Tous les bateaux présents devant l'écluse à l'heure du dernier éclusage seront systématiquement sassés.



Figure 8 : Vue de l'écluse en aval de la porte intermédiaire vers l'amont - Source : ARTELIA



Figure 9 : Vue de l'écluse vers l'estuaire avec –avec bateau attendant l'ouverture de l'écluse - Source : ARTELIA

Sur la période 2016-2019, on compte en moyenne 55 jours de fermeture de l'écluse. Parmi eux :

- Près de la moitié (24 jours) est liée aux crues rendant la navigation impossible ;
- Le tiers (18 jours) est lié à l'objectif de protection de la ressource (salinité) ;
- Le reste (13 jours) est lié à des opérations de maintenance et des causes diverses.

Sur La période 2020-2022, on comptabilise au total près de 140 jours de fermeture cumulés :

- En 2020 : 56 jours de fermeture, en totalité en période hivernale pendant les crues ;
- En 2021 : 24 jours de fermeture, en totalité en période hivernale pendant les crues ;
- En 2022 : près de 60 jours de fermeture entre début août et début octobre, liés à l'objectif de protection de la ressource (salinité).

Les jours de fermeture pour des questions de risque de salinisation sont concentrés sur la période de fin de l'étiage : août, septembre et octobre.

- Les critères de restriction liés à la protection de la ressource en eau potable (qualitative et quantitative) sont les suivants :
- Débit naturel de la Vilaine $\geq 10 \text{ m}^3/\text{sec}$ - pas de restriction ;
- Débit compris entre 2.5 et 10 m^3/sec (étiage prononcé) – limitations d'éclusage ;

- Débit < 2.5 m3/sec – les éclusées peuvent être interdites.

On notera en 2017, un taux de disponibilité de l'écluse de 65 % entre août et octobre, et en 2022 un taux de disponibilité de l'écluse quasi-nul sur août et septembre. Ces chiffres sont à comparer avec la répartition annuelle moyenne du nombre de passages pour une année peu affectée par le problème de salinité – 2018, par exemple qui présentait 7 jours de fermeture- graphique ci-après.

- De fait, la tension reste la plus forte sur août et juillet.
- Ne sont pas comptabilisés ici les jours d'ouverture partielle où certaines éclusées ont été supprimées. Cependant, celles-ci ne représentent qu'un nombre très marginal.

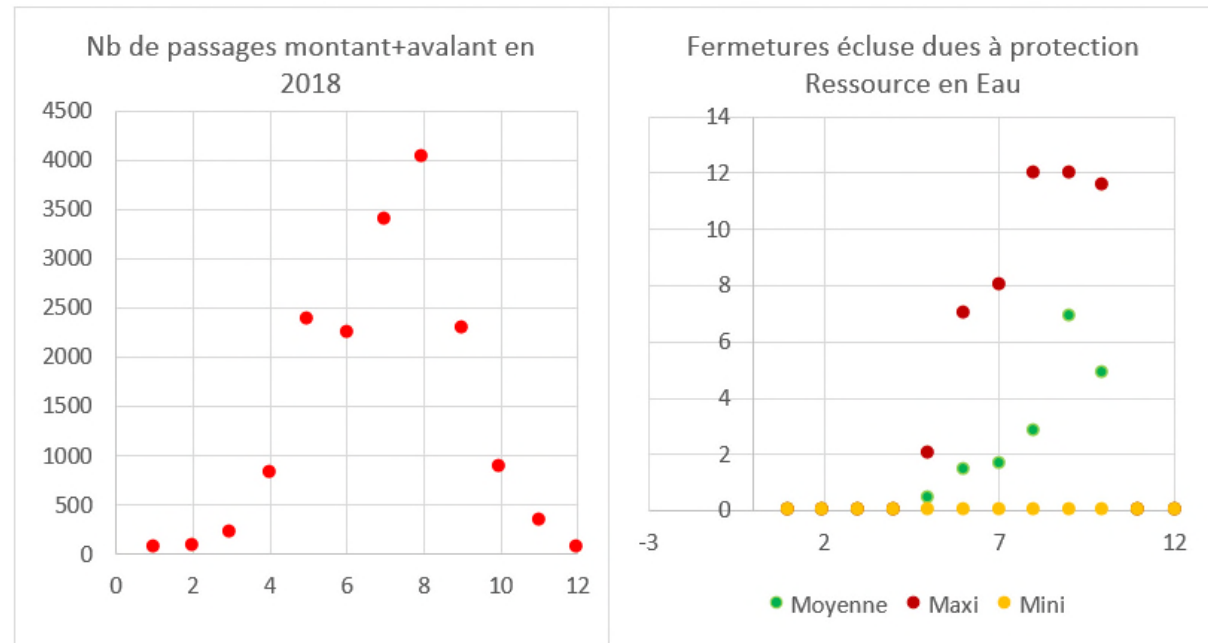


Figure 10 : Statistiques de passages et fermetures des écluses au cours d'une année

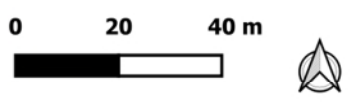
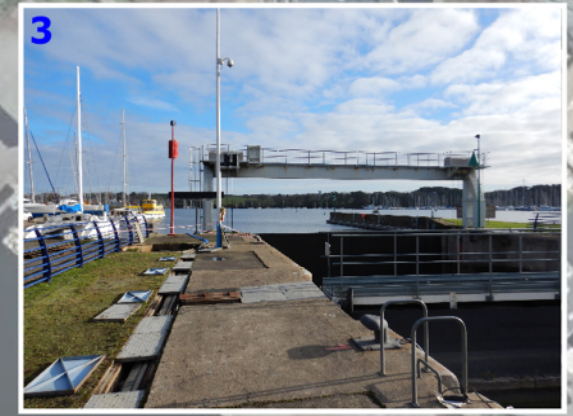
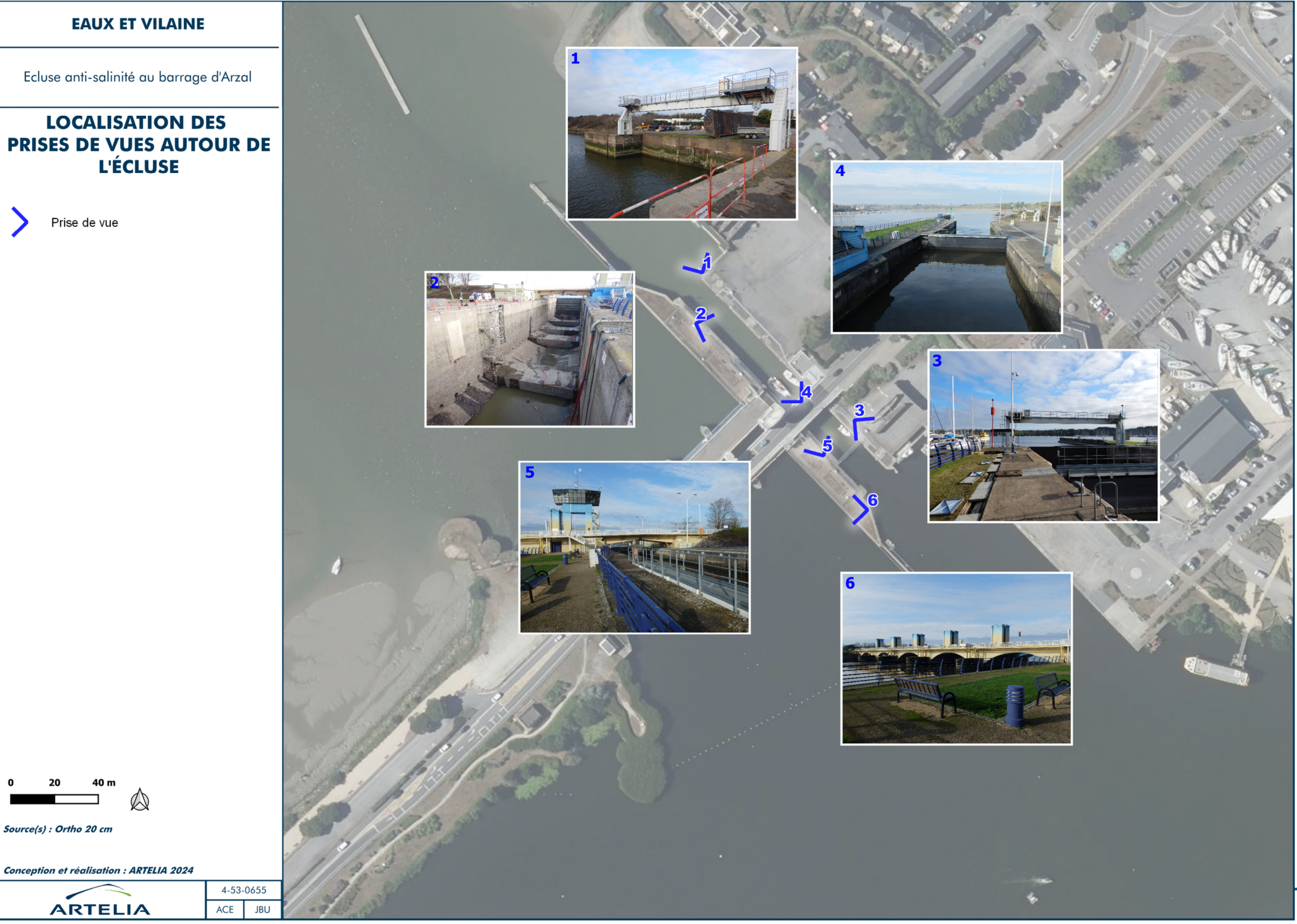
EAUX ET VILAINE

Ecluse anti-salinité au barrage d'Arzal

LOCALISATION DES PRISES DE VUES AUTOUR DE L'ÉCLUSE



Prise de vue



Source(s) : Ortho 20 cm

Conception et réalisation : ARTELIA 2024



4-53-0655
ACE | JBU

3. PRINCIPAUX ENJEUX DU PROJET

Le projet de partition de l'écluse d'Arzal répond aux objectifs principaux décrits dans les paragraphes suivants.

A noter qu'entre le concours en 2009 et la recherche de solutions optimisées en 2021, certains objectifs et critères à respecter ont évolué, en particulier :

- La continuité de service : totale en 2009, des coupures sont autorisées sur des durées maximales de 4 à 5 mois en période hivernale à partir de 2021 ;
- Le budget d'investissement a dû être revu à la baisse faute de financement, d'où la recherche de solutions optimisées sur l'ouvrage existant ;
- Les coûts d'exploitation et de maintenance sont à minimiser afin de rester dans une enveloppe proche de la solution du concours.

3.1. SUPPRIMER LES INTRUSIONS D'EAUX SALINES DANS LA VILAINE DEPUIS L'ESTUAIRE

Cet aspect est primordial et motive la genèse même du projet.

En effet, à ce jour, l'utilisation de l'écluse favorise la remontée des chlorures dans la Vilaine, jusqu'à l'usine de production d'eau potable de Vilaine Atlantique. La présence de chlorures devient en période d'étiage limitante pour le fonctionnement de l'usine d'eau potable, dont la filière de traitement ne saurait traiter ce paramètre. Eau&Vilaine a fixé la concentration maximale en chlorures de sodium à ne pas dépasser, égale à 100 mg/l au droit de l'usine.

L'usine de Vilaine Atlantique présente une capacité de 96 000 m³/j, et constitue un point stratégique pour la distribution de l'eau potable sur le littoral Morbihannais, sur la Loire Atlantique mais également au niveau du secteur Sud-Ouest de l'Ille-et-Vilaine. Début 2024, la mise en service de l'aqueduc Vilaine Atlantique permettra de sécuriser l'usine de production d'eau potable de Villejean à Rennes et d'être sécurisée en retour.

La problématique est aujourd'hui partiellement gérée par la mise en œuvre de siphons pour renvoyer, partiellement, dans l'estuaire les chlorures entrés dans la Vilaine. Toutefois, cette solution ne contribue pas à abattre de manière satisfaisante les teneurs en chlorure au droit de la prise d'eau de l'usine Vilaine Atlantique en particulier en période d'étiages sévères où elle s'accompagne également de pertes importantes de la réserve en eau douce. L'unique solution pour garantir la ressource est alors l'arrêt des éclusages très pénalisants pour les plaisanciers en période estivale.

La tension sur l'objectif de préservation de la ressource d'eau brute de l'usine de Vilaine Atlantique est de plus en plus prégnante. En effet, les travaux d'extension réalisés sur l'usine, les interconnexions et, de manière globale, l'importance des besoins et le tarissement de la ressource sur les dernières années, contribuent à maintenir au premier plan cet objectif à la fois sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif.

3.2. AMELIORER LE TRANSIT DES BATEAUX

Les installations actuelles sont associées à un calendrier d'éclusage, fonction notamment de la saison, des horaires et des coefficients de marée.

Il s'en suit des durées d'éclusées importantes et des fréquences réduites.

Il convient donc de réduire significativement les contraintes liées au calendrier d'éclusage :

- En augmentant leur fréquence,
- En réduisant la durée de chaque opération ;
- En bénéficiant, dans des situations de pointe extrêmes, du maintien de l'écluse dans sa configuration actuelle de grand sas.

3.3. REDUIRE LES INTERRUPTIONS DU TRAFIC ROUTIER

En fonctionnement actuel, le trafic de la route départementale RD 139 est interrompu pendant la quasi-totalité des opérations d'éclusées, soit environ 45 minutes à 1 heure. L'analyse de 2009 montrait également que, pour une levée du pont comprise entre 30 et 45 minutes, la file d'attente représentait entre 650 et 970 véhicules pour une file pouvant mettre 46 à 69 minutes à se dissiper.

Ce phénomène ne peut que se dégrader avec l'augmentation du trafic routier (+1.47% par an sur la période 2014-2019 dans le Morbihan). S'il ne peut supprimer totalement ces interruptions, le projet doit permettre de réduire ces durées d'interruption au risque à terme de saturer la voie.

3.4. LIMITER L'ENSABLEMENT

L'envasement de l'estuaire de la Vilaine s'est fortement accéléré depuis la présence du barrage d'Arzal. Cette tendance est liée au fait que le barrage a entraîné la diminution du volume oscillant de la marée d'environ 70-80% et a donc considérablement diminué l'effet de chasse de la marée. Également, l'ouvrage existant ne permet pas la réalisation de chasses récurrentes. Pour pallier ce constat, Eau & Vilaine mène régulièrement des travaux ponctuels de désenvasement par rotodévaseur lors de marées de coefficients supérieurs à 70 au jasant.

Le futur fonctionnement de l'écluse en mode anti-sel implique la mise en place d'un équipement hydromécanique pouvant fonctionner en souverse. L'objectif de limitation de l'ensablement pourrait être atteint par ce biais en définissant des consignes de gestion spécifiques et adaptées.

3.5. PERMETTRE LE FRANCHISSEMENT PISCICOLE

Concernant le franchissement piscicole, le barrage d'Arzal est déjà équipé de dispositifs fonctionnels et performants : une passe à anguilles et une passe à bassins à fentes verticales multi espèces.

Le projet peut être l'occasion de favoriser le passage des flets qui sont des poissons de fond. Néanmoins, le fonctionnement futur en anti-salinité nécessite la présence d'un seuil pour limiter les intrusions d'eaux salées. Celui-ci limitera fortement la migration des flets en fond.

4. ETUDES PREALABLES A LA DEFINITION DU PROJET

4.1. CREATION D'UNE NOUVELLE ECLUSE

Pour trouver une réponse à toutes ces insuffisances, Eaux et Vilaine a envisagé, dès 2008, la construction d'une deuxième écluse au barrage d'Arzal.

Un des objectifs de la nouvelle écluse était de limiter les intrusions d'eau saline afin de respecter les normes de potabilisation imposées (soit une concentration maximale admissible au droit de la prise d'eau de 100 mg/l en NaCl), tout en limitant, voire en supprimant, les volumes d'eau évacués par les siphons.

Une solution d'écluse complémentaire répondant à l'ensemble des objectifs fixés par Eaux et Vilaine a été définie à l'issue d'un concours conduit en 2009 et remporté par le groupement de Maitrise d'œuvre ARTELIA, ARCADIS et Spielmann.

Cette solution a été ensuite développée et a donné lieu à l'établissement d'un Avant-Projet remis en mars 2014.

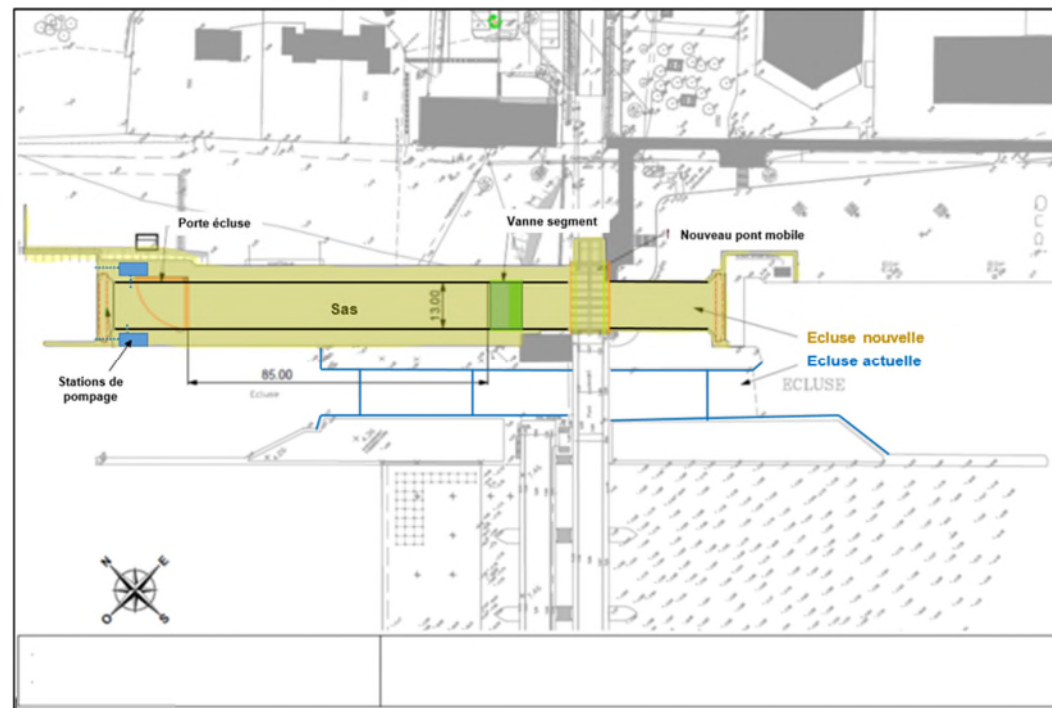


Figure 13 : Plan masse simplifié de la solution de référence (concours et AVP)

En 2020, Eaux & Vilaine a souhaité cependant étudier des solutions optimisées, alternatives ou d'attente, permettant de réduire les coûts d'investissements du projet, tout en obtenant des résultats acceptables au regard des enjeux identifiés.

4.2. SOLUTIONS ALTERNATIVES ETUDIÉES EN 2020-2022

Fin 2020, Eaux & Vilaine resollicite le groupement pour étudier des solutions alternatives visant à réduire les coûts d'investissements. Les solutions suivantes ont été étudiées au stade faisabilité :

- Solutions alternatives par la création d'une nouvelle écluse mais dont les dimensions seraient réduites de façon à espérer réduire les coûts de construction mais également les coûts de fonctionnement car les volumes de pompage de substitution seraient moins importants:
 - Une écluse à sas raccourci, qui sera moins coûteuse à construire et à exploiter (volume de substitution plus faible) – solution 1a ;
 - Une écluse de largeur réduite – solution 1b ;
 - Une écluse à sas moins long et plus étroit (combinaison des solutions 1a et 1b) – solution 1c.
- Solutions alternatives par l'amélioration de l'écluse existante :
 - Partition du sas actuel en deux sections – solution 2a ;
 - Allongement de l'écluse actuelle vers l'aval – solution 2b ;
 - Remplacement de la porte amont par une vanne segment – solution 2c ;
 - Mise en place d'un système de substitution des eaux salées par de l'eau douce – solution 2d ;
 - Déplacement de la prise d'eau de Férel – solution 2e.

Les solutions 1a, 1b et 1c ont rapidement été écartées. En effet, bien qu'elles permettent chacune de réduire les coûts d'investissement par la diminution de la taille du batardeau, la réduction des terrassements et du curage, la réduction du coût du génie civil en section courante et la diminution du nombre de vannettes de substitution (solutions 1a et 1c seulement), les économies calculées restent modestes car une part importante des coûts de construction se loge dans les deux extrémités de la nouvelle écluse.

On note également que ces alternatives nécessitent toujours la construction d'un second pont mobile sous la route départementale (avec son cortège de nuisances et de charges d'exploitation-maintenance) et un allongement du chenal d'accès.

Enfin, les économies d'exploitation sont certaines (de l'ordre d'environ 50% du pompage) mais non significatives pour retenir ces solutions.

La solution 2e consistant à déplacer la prise d'eau de Férel afin de l'éloigner à l'exposition du risque de sur-salure, a également fait partie des scénarios étudiés. Néanmoins, même au prix d'un déplacement de plusieurs kilomètres vers l'amont, la prise d'eau peut demeurer exposée à une sur-salure lors des étiages sévères de la Vilaine. Le manque de renouvellement des eaux est susceptible de conduire à une augmentation des concentrations en NaCl (chlorure de sodium) et une extension vers l'amont de la zone de sur-salure.

De plus, d'un point de vue réglementaire, le déplacement de la prise d'eau impliquerait une révision du Périmètre de Protection de Captage, assorti d'une nouvelle procédure et très probablement d'une extension du nombre de parcelles concernées par le périmètre sensible.

Le tableau en page suivante met en évidence les avantages et les inconvénients de chacune des autres variantes alternatives étudiées (2a, 2b, 2c et 2d).

Tableau 1 : Comparaison des solutions alternatives envisagées

	Solution 2a Partition du sas actuel en 2 sections	Solution 2b Allongement de l'écluse actuelle vers l'aval	Solution 2c Remplacement du batardeau fixe amont par une vanne segment	Solution 2d Remplacement du batardeau fixe amont par une vanne segment et mise en place d'un système de substitution des eaux salées par de l'eau douce
Impact sur la géométrie de l'ouvrage	Valorisation de l'ouvrage existant, aucune modification de l'emprise de l'écluse existante	Travaux d'aménagement dépassant l'emprise actuelle des ouvrages, pour permettre l'extension de 40m de l'écluse vers l'aval	Travaux d'aménagement dépassant l'emprise actuelle de l'écluse pour permettre l'extension de l'écluse vers l'amont	Travaux d'aménagement dépassant l'emprise actuelle de l'écluse pour permettre l'extension de l'écluse vers l'amont. Réduction de la largeur utile du sas pour intégrer les aqueducs complémentaires
Gestion de la salinité	Double barrière anti-salinité en la couplant avec le batardeau amont anti-salinité Pilotage extrêmement fin des intrusions de salinité dans la retenue voire exclusion totale	Double barrière anti-salinité en la couplant avec le batardeau amont anti-salinité Résultats très satisfaisants du fonctionnement hydraulique et anti-salinité, sans recours à des durées de pompage de substitution trop élevées Pilotage extrêmement fin des intrusions de salinité dans la retenue voire exclusion totale	Réduction significative de la salinité entrant dans la retenue grâce à une gestion adaptée de la vanne-segment	Réduction significative de la salinité entrant dans la retenue grâce à une gestion adaptée de la vanne-segment
Capacité de transit pour la navigation de plaisance / Gestion du trafic ordinaire et de pointe / Durée des éclusées	Réduction légère de la capacité de transit des bateaux avec l'installation du sas anti-salinité (sas de 80m). Toutefois, enchaînement plus rapide des éclusées en l'absence de contraintes liées à l'intrusion des eaux salées et grâce à une interruption de trafic beaucoup plus limitée qu'actuellement. Utilisation possible ponctuellement du sas de 89 m (pleine charge) pour faire face aux besoins en pointe de trafic ou en période de débits importants. Temps de passage à l'écluse (sassée complète) peu impacté	Conservation d'un sas de grande capacité de 80 m permettant d'accueillir 25 à 35 bateaux en toutes circonstances. Temps de passage à l'écluse pour les bateaux sensiblement impacté (+ 10 à 15 min)	Maintien de la capacité totale du sas, tout en lui conférant une fonction anti-sel Augmentation significative de la durée des éclusées (augmentation de la durée de la substitution des eaux salées) + 10 à 15 min	Maintien de la capacité totale du sas, tout en lui conférant une fonction anti-sel Augmentation légère de la durée des éclusées (moins de 10 minutes)
Trafic routier et temps de fermeture du pont routier	Interruption de trafic bien plus courte (10 min environ)	Interruption de trafic bien plus courte (10 min environ)	Augmentation de la durée de fermeture de la voirie routière (10 min environ), pouvant entraîner la congestion de l'ouvrage	Réduction non significative de la durée de fermeture de la voirie routière (10 min de moins environ), pouvant entraîner la congestion de l'ouvrage
Travaux : facilité de mise en œuvre / risque d'aléas	Travaux d'une durée continue de 18 mois avec 2 fermetures hivernales de l'écluse : suppression temporaire du service offert aux plaisanciers	Délais de travaux allongés : environ 41 mois (soit 3 ans ½ pour une finalisation de l'ouvrage)	2 à 3 fermetures hivernales de l'écluse : dégradation temporaire du service offert aux plaisanciers	Réalisation de deux aqueducs latéraux permettant de distribuer l'eau douce en surface. Ces travaux pourront être entrepris parallèlement aux autres travaux sans modifier significativement la durée des travaux, et les

	Phasage opportun permettant de minimiser les contraintes de fermeture et les aléas qui les accompagnent	Contraintes de réalisation et aléas techniques notables et plus importants du fait du caractère fluvio-maritime du chantier 3 à 4 fermetures hivernales de l'écluse : dégradation temporaire du service offert aux plaisanciers Recours à des techniques particulières (préfabrication d'un caisson amené en flottaison) pour respecter la contrainte de maintien en service de l'écluse sur une période allant de mi-mars à mi-novembre	Phasage opportun permettant de minimiser les contraintes de fermeture et les aléas qui les accompagnent	plages de fermeture de l'écluse à prévoir à cette fin. 2 à 3 fermeture hivernale de l'écluse : dégradation temporaire du service offert aux plaisanciers
Impact environnemental en phase chantier / exploitation	Emprise de l'écluse actuelle restant inchangée. Seuls les travaux d'installation de la station de pompage (vanne d'isolement, bêche, émissaire et bassin) seront réalisés hors emprise actuelle de l'écluse stricto sensu mais sur des zones de stationnement déjà imperméabilisées. Travaux réalisés dans l'enceinte même de l'écluse existante et au niveau du terre-plein attenant, en milieu fermé, sur des zones déjà anthropisées Travaux réalisés hors d'eau grâce à la mise à sec totale de l'écluse via les batardeaux existants	Augmentation de l'emprise actuelle de l'écluse Travaux réalisés en dehors de l'emprise de l'écluse, prise en compte des contraintes fluvio-maritimes Chantier plus long, réalisé sur 3 ou 4 phases hivernales Construction d'un batardeau provisoire à l'intérieur duquel seront réalisés les travaux Nécessité de réaliser des travaux de terrassements : curage, déblais meubles et déblais rocheux, préparation de l'assise des ouvrages	Augmentation de l'emprise actuelle de l'écluse Travaux réalisés en dehors de l'emprise de l'écluse, prise en compte des contraintes fluvio-maritimes Chantier réalisé sur 2 à 3 phases hivernales Construction d'un batardeau provisoire à l'intérieur duquel seront réalisés les travaux Nécessité de réaliser des travaux de terrassements : curage, déblais meubles et déblais rocheux, préparation de l'assise des ouvrages	Augmentation de l'emprise actuelle de l'écluse Travaux réalisés en dehors de l'emprise de l'écluse, prise en compte des contraintes fluvio-maritimes Chantier réalisé sur 2 à 3 phases hivernales Construction d'un batardeau provisoire à l'intérieur duquel seront réalisés les travaux Nécessité de réaliser des travaux de terrassements : curage, déblais meubles et déblais rocheux, préparation de l'assise des ouvrages
Souplesse d'exploitation / entretien / adaptabilité	Gestion de l'écluse précise et adaptable Adaptation en fonction des besoins et des circonstances du moment : alternances de sassées anti-sel et sassées normales, permettant d'ajuster le fonctionnement pour minimiser les files d'attentes sur la route et la voie d'eau	Gestion de l'écluse précise et adaptable Adaptation en fonction des besoins et des circonstances du moment : alternances de sassées anti-sel et sassées normales, permettant d'ajuster le fonctionnement pour minimiser les files d'attentes sur la route et la voie d'eau	Gestion de l'écluse précise et adaptable Adaptation en fonction des besoins et des circonstances du moment : alternances de sassées anti-sel et sassées normales, permettant d'ajuster le fonctionnement pour minimiser les files d'attentes sur la route et la voie d'eau	Gestion de l'écluse précise et adaptable Adaptation en fonction des besoins et des circonstances du moment : alternances de sassées anti-sel et sassées normales, permettant d'ajuster le fonctionnement pour minimiser les files d'attentes sur la route et la voie d'eau

Le dégradé de couleurs permet de donner une indication sur les aspects les plus positifs (vert foncé) aux plus contraignants (rouge).

5. PRESENTATION DE LA SOLUTION RETENUE ET DES MODALITES DE SA MISE EN ŒUVRE

La solution 2a, décrite ci-après, a été retenue à l'issue des études préalables.

Cette solution consiste à modifier l'écluse existante en la partitionnant, évitant ainsi la création d'une seconde écluse en valorisant l'ouvrage déjà existant. Ainsi, le projet s'intègre entièrement dans le corps même de l'ouvrage.

Seuls les travaux d'installation de la station de pompage seront réalisés hors emprise actuelle de l'écluse stricto sensu mais sur des zones de stationnement déjà imperméabilisées.

La capacité de transit des bateaux sera plus réduite avec la solution de sas anti-salinité (sas de 80m) qu'avec la solution de construction d'une nouvelle écluse (sas de 89m). Néanmoins, il sera possible d'enchaîner les éclusées plus rapidement, en l'absence de contraintes liées à l'intrusion des eaux salées et grâce à une interruption de trafic beaucoup plus limitée qu'actuellement. L'écluse pourra continuer d'être utilisée à pleine charge (sas de 89m également) pour faire face aux besoins en pointe de trafic ou en période de débits importants.

En comparaison de la solution initiale de doublement de l'écluse actuelle, cette alternative permet de limiter les impacts sur les milieux environnants. En effet, les travaux seront plus courts et réalisés sur deux années consécutives en période hivernale. Il y a aura moins de terrassement et moins de nouvelles structures à construire donc moins de trafic, moins de bruit, moins de poussières. Les interventions ne se feront que sur des ouvrages et des zones de stationnement imperméabilisées existants.

Le concept repose sur la création d'une vanne secteur en remplacement de la porte intermédiaire mais en amont du pont routier à moins de 10 m en aval de la porte écluse amont. Le fonctionnement de cette vanne secteur permettra le remplissage du sas par des eaux douces en surverse, tandis que les eaux saumâtres seront aspirées en fond d'écluses par l'intermédiaire de la station de pompage à créer. De cette façon, les eaux salées seront substituées du sas évitant ainsi toute incursion de sel lors de l'ouverture de celui-ci.

Le plan-masse du projet est présenté en page suivante.

5.1. PLAN-MASSE

Par rapport à l'écluse existante, il y a peu de modifications. L'écluse conserve l'essentiel de son génie civil et ses dimensions extérieures. On notera toutefois qu'une station de pompage de substitution viendra s'intégrer dans le terre-plein du quai en rive droite. L'essentiel de l'ouvrage sera enterré à l'exception d'un petit local d'exploitation en émergence.

Le plan-masse du projet est présenté en page suivante.

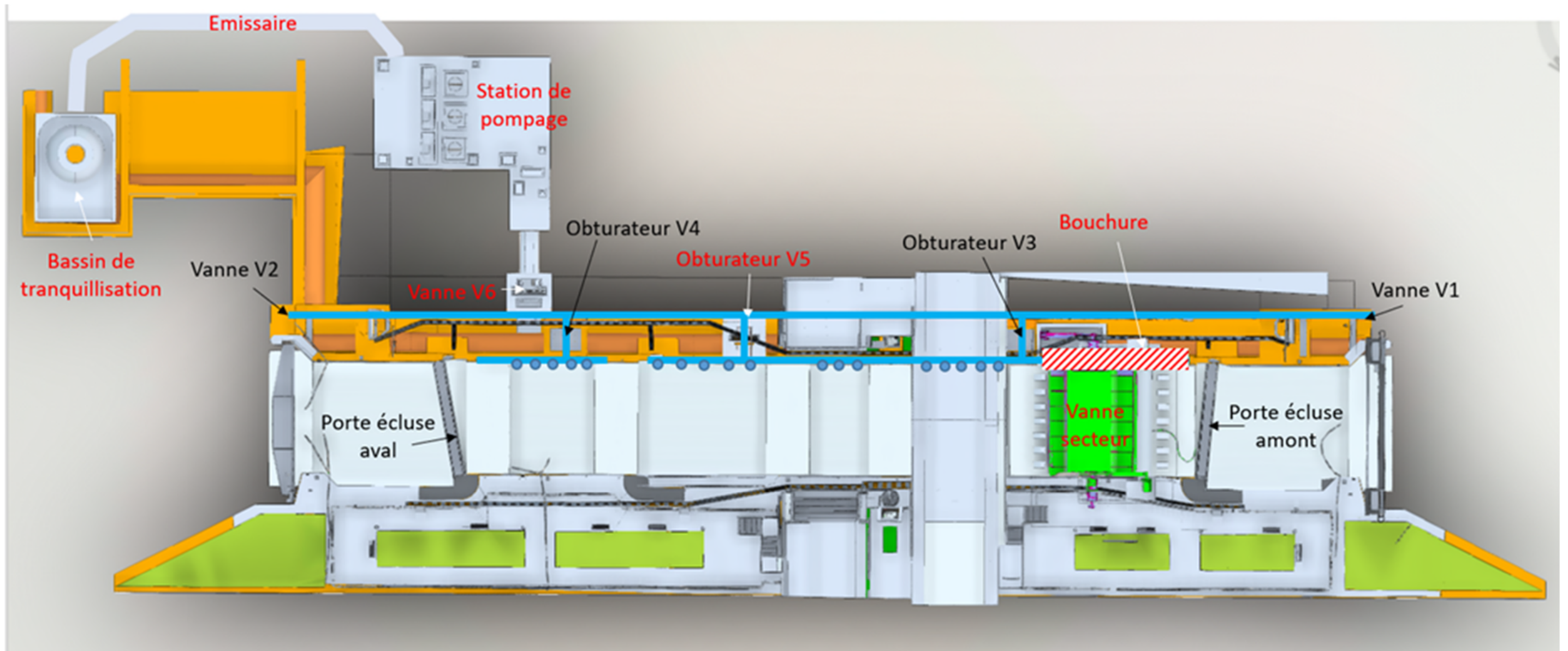


Figure 14 : Plan de projet de la solution 2a

5.2. PRINCIPES RETENUS POUR LA PARTITION DU SAS EN DEUX ELEMENTS

Le sas de 89 m est coupé en deux parties par l'adjonction à l'ouvrage d'une nouvelle vanne secteur qui devra être implantée en amont du pont routier levant.

La longueur utile du sas, en aval de la vanne, sera d'environ 80 m.

En mode anti-sel, cette nouvelle vanne constitue la limite amont du sas et est utilisée pour procéder aux opérations de substitutions.

En mode normal, la vanne peut rester effacée dans le radier et libère ainsi la totalité du sas pour accueillir les bateaux comme dans la configuration actuelle. A noter que le tirant d'eau au droit du sas est légèrement réduit (de 1.20 m) du fait de l'insertion de la vanne secteur dans l'existant sans reprise du radier existant pour des questions de stabilité générale de l'ouvrage.

La porte qui assurera cette partition serait constituée d'une vanne segment pouvant prendre plusieurs positions en fonction de son usage :

- Effacement vers le bas pour laisser passer les bateaux ;
- Position de surverse lors de la substitution ;
- Position de souverse pour l'évacuation des chasses ;
- Position de fermeture lors des phases d'équilibrage du sas ou en position d'attente entre chaque éclusée ;
- Position haute pour la maintenance et les inspections d'ouvrage.

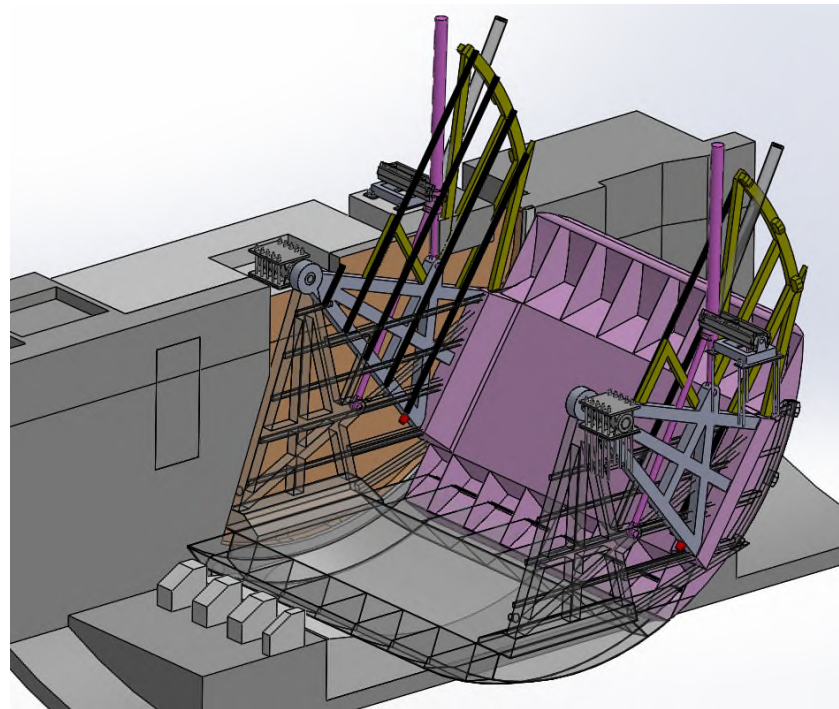


Figure 15 : Vanne secteur dans son environnement

Le principe consiste bien, lorsque l'équilibre est atteint entre le niveau de la retenue (eau douce) et le niveau dans le sas (eau salée), à engager le pompage de substitution en abaissant sensiblement la vanne secteur pour admettre un débit équivalent en eau douce, de la manière la plus laminaire qui soit, pour introduire une nappe d'eau douce en surface venant se substituer à l'eau salée aspirée par le fond.

L'évacuation des eaux salées vers l'aval sera assurée par les larrons et galeries de distribution et aqueduc existants auxquels on aura connecté une station de pompage.

La conception du génie civil de l'écluse existante ne permet pas, sans prendre des risques excessifs lors de la construction, d'envisager la réalisation d'une chambre encastrée totalement dans le radier de l'ouvrage. Pour cette raison, il est prévu de réaliser un seuil de vanne qui sera implanté en élévation par rapport au fond actuel du sas soit -3.50 IGN69 au lieu de -4.70 IGN69.

En fonctionnement normal ou anti-sel: ce seuil ne générera pas de contraintes de tirant d'eau (pas plus que n'en génère aujourd'hui le batardeau mobile disposé dans les engravures amont qui limite le tirant d'eau à son niveau à 3.87 m). En effet, lors du passage au-dessus du seuil des navires montant ou avalant, le tirant d'eau sur **le seuil sera d'environ 5.70 m** (niveau de la retenue normale à +2.20 IGN69 – Cote du seuil à -3.50 IGN 69). Ce tirant d'eau disponible pour les bateaux de plaisance est largement suffisant.

De toute évidence, il faudra prévoir un marquage de tirant d'eau très visible sur les bajoyers du sas pour avertir les plaisanciers du tirant d'eau disponible au-dessus de la porte en toutes circonstances.

5.3. FONCTIONNEMENT PROJETE

Les paragraphes suivants décrivent pour chaque configuration bateaux montants ou descendants et les conditions de marées, les séquences à mettre en œuvre. Ces séquences sont illustrées graphiquement.

Cette solution technique apporte une grande souplesse d'utilisation car ses modes de fonctionnement (anti-salinité ou fonctionnement actuel "grande écluse" lors des pics de forts trafics de bateaux) sont facilement adaptables en fonction des circonstances du moment (trafic bateaux, trafic routier, état de salinité de la retenue, débits naturels en Vilaine, etc.).

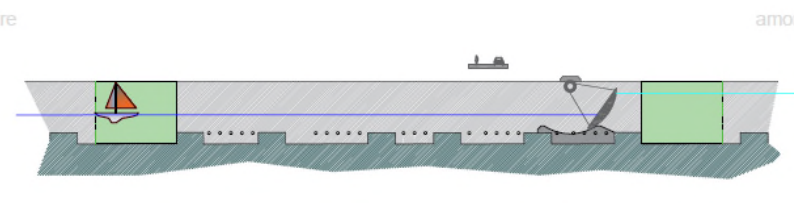
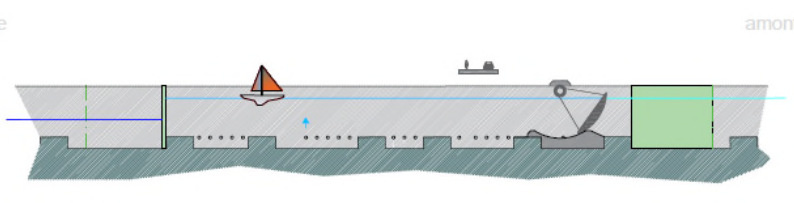
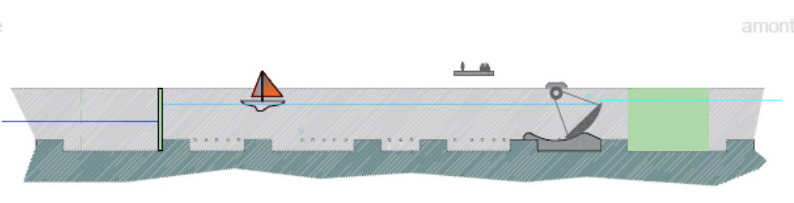
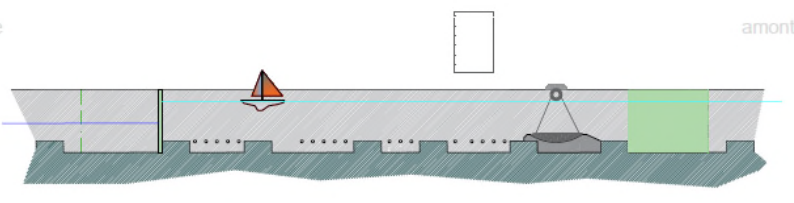
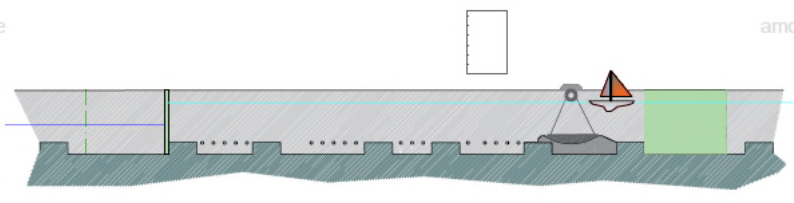
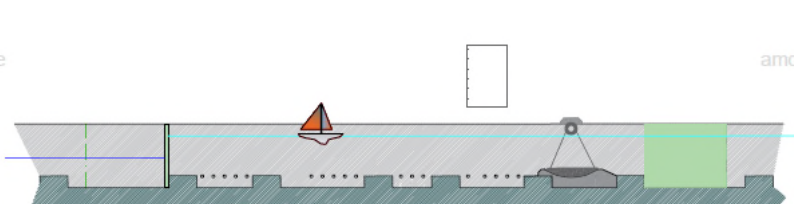
L'écluse ne fonctionne qu'en éclusées continues en commençant par la remontée des bateaux. Sur certaines éclusées, il peut ne pas y avoir de bateau, néanmoins, le cycle se fait de la même façon qu'en présence d'embarcation.

5.3.1. Lorsque le niveau de mer est supérieur au niveau de la Vilaine

Séquence de fonctionnement	Illustration
Porte écluse amont ouverte Vanne secteur fermée Pont mobile abaissé – continuation de la circulation routière 1. Ouverture de la porte aval 2. Entrée des bateaux dans le sas de l'écluse	
3. Fermeture de la porte aval 4. Equilibrage du sas avec le niveau d'eau de la retenue amont par pompage. Renvoi de l'eau salée en estuaire	
5. Substitution des eaux salées par les eaux douces Abaissement progressif de la vanne secteur avec adjonction laminaire d'eau douce. Pompage des eaux saumâtres en fond puis rejet en estuaire	
6. Vanne secteur en position baissée pour permettre le passage des bateaux 7. Ouverture du pont mobile – circulation routière stoppée	

Séquence de fonctionnement	Illustration
8. Sortie des bateaux montants	
9. Entrée dans le sas des bateaux en descente	
10. Fermeture de la vanne secteur et abaissement du pont mobile – reprise de circulation routière	
11. Equilibrage du sas avec le niveau aval par gravité – ouverture de la vanne sur aqueduc en aval (V2). A la fin de l'équilibrage, fermeture de V2	
12. Ouverture de la porte écluse aval	
13. Sortie du sas des bateaux descendants la Vilaine	

5.3.2. Lorsque le niveau de mer est inférieur au niveau de la Vilaine

Séquence de fonctionnement	Illustration
<p>Porte écluse amont ouverte Vanne secteur fermée Pont mobile abaissé – continuation de la circulation routière 1. Ouverture de la porte aval 2. Entrée des bateaux dans le sas de l'écluse</p>	<p>1 et 2</p> 
<p>3. Fermeture de la porte aval 4. Equilibrage du sas avec le niveau d'eau de la retenue amont par gravité – ouverture de la vanne sur aqueduc en amont (V1). A la fin de l'équilibrage, fermeture de V1</p>	<p>3 et 4</p> 
<p>5. Substitution des eaux salées par les eaux douces Abaissement progressif de la vanne secteur avec adjonction laminaire d'eau douce. Pompage des eaux saumâtres en fond puis rejet en estuaire</p>	<p>5</p> 
<p>6. Vanne secteur en position baissée pour permettre le passage des bateaux 7. Ouverture du pont mobile – circulation routière stoppée</p>	<p>6 et 7</p> 
<p>8. Sortie des bateaux montants</p>	<p>8</p> 
<p>9. Entrée dans le sas des bateaux en descente</p>	<p>9</p> 

Séquence de fonctionnement	Illustration
10. Fermeture de la vanne secteur et abaissement du pont mobile – reprise de circulation routière	
11. Equilibrage du sas avec le niveau aval par gravité – ouverture de la vanne sur aqueduc en aval (V2). A la fin de l'équilibrage, fermeture de V2	
12. Ouverture de la porte écluse aval	
13. Sortie du sas des bateaux descendants la Vilaine	

6. DESCRIPTION DU DEROULEMENT DES TRAVAUX

Remarque liminaire : Pour plus de précisions sur le projet et les travaux prévus, le rapport d'étude du projet au stade AVP est fourni en annexe.

Les travaux se dérouleront sur une période continue de 18 mois entre novembre 2025 et avril 2027. L'écluse ne fonctionnera pas durant les deux périodes hivernales sur une durée de cinq mois maximum (de novembre à fin mars). Néanmoins, la continuité de service relative à la circulation routière, au fonctionnement des vannes du barrage et des dispositifs de montaison (passe et rampe) sera assurée pendant toute la durée du chantier.

La première saison hivernale sera consacrée aux travaux suivants :

- Batar dage et mise à sec de l'écluse par pompage ;
- Réalisation de la vanne d'isolement de la station de pompage en plusieurs étapes :
 - Terrassement de la zone (remblai et rocher) ;
 - Hydrodémolition du génie civil de l'aqueduc principal existant ;
 - Réalisation des nouvelles structures de raccordement à l'existant en béton armé ;
 - Mise en place des équipements (vanne, grilles fines et rainurages à batardeaux. La vanne d'isolement sera maintenue fermée lors de la remise en eau de l'écluse ;
- Rénovation de la porte écluse aval en place (nettoyage, retouches de peinture, démontage vérins et contrôle, remplacement des pièces d'usure, essais de fonctionnement et étanchéité) ;
- Réalisation du génie civil de la vanne secteur :
 - Terrassement de la rive gauche et de la rive droite. Les déblais seront entreposés sur les zones de stockage identifiées sur les vues aériennes ci-dessous avant évacuation en décharge agréée de la partie qui ne sera pas remise en place ;
 - Hydrodémolition des structures de génie civil en place (bajoyers rives gauche et droite) ;
 - Réalisation en béton armé des massifs d'ancrages pour le scellement des pièces fixes de la vanne secteur, du radier concave et de ses plots de protection ;
- Arrêt des travaux au sein de l'écluse, débatardage et remise en eau de l'écluse pour la belle saison.

Durant le printemps/été 2026, l'écluse sera fonctionnelle mais les travaux (décrits ci-dessous) de la construction de la station de pompage qui peuvent être réalisés indépendamment de la mise à sec de l'écluse auront lieu. Des emprises terrestres seront occupées en particulier au niveau du parking de la zone d'exploitation du barrage d'Arzal en rive droite mais ne gêneront pas la navigation et le passage de l'écluse par les bateaux.

- Réalisation de la station de pompage :
 - Terrassement sur le terre-plein en rive droite de la zone de la future station sur une profondeur maximum de 12 m par rapport au terre-plein (remblai et rocher) ;
 - Réalisation en béton armé du radier, des voiles périphériques et intérieurs, de la dalle de couverture, des murs du bâtiment en extérieur ;
 - Réalisation de la toiture végétalisée et pose des menuiseries du bâtiment en extérieur ;

- Réalisation en béton armé du bassin de tranquillisation ;
- Pose de l'émissaire ;
- Mise en place de tous les équipements de la station de pompage (pompes, démarreurs, clapets anti-retour, échelles, trappes, grilles, etc.) ;

- Fabrication en atelier de la vanne secteur.

A la fin de la saison estivale, la station de pompage sera finalisée et raccordée à la vanne d'isolement. La seconde saison hivernale permettra de poursuivre le projet en réalisant les travaux suivants :

- Batar dage et mise à sec de l'écluse par pompage ;
- Dépose de la porte intermédiaire, démantèlement avant évacuation pour retraitement en filières spécialisées agréées ;
- Rebouchage en béton armé de l'emplacement laissé vide de la porte intermédiaire ;
- Réalisation du nouvel obturateur sur la galerie de distribution amont en plusieurs étapes :
 - Terrassement de la zone (remblai et rocher) ;
 - Hydrodémolition du génie civil de l'aqueduc principal existant ;
 - Réalisation des nouvelles structures de raccordement à l'existant en béton armé ;
 - Mise en place du nouvel obturateur et de ces équipements de manœuvre ;
- Rénovation de la porte écluse amont en place (nettoyage, retouches de peinture, démontage vérins et contrôle, remplacement des pièces d'usure, essais de fonctionnement et étanchéité) ;
- Dépose de la centrale hydraulique existante et remplacement en lieu et place par une nouvelle centrale plus puissante ;
- Pose de la nouvelle vanne secteur ;
- Rénovation des vannes d'aqueduc et des obturateurs existants (dépose, envoi en atelier pour nettoyage, retouches de peinture, remplacement des pièces d'usure, repose et tests de fonctionnement et d'étanchéité) ;
- Remplacement de toute la partie électrique basse tension et haute tension de l'écluse ;
- Modification de l'automatisme et de la supervision pour intégrer les nouvelles structures et le nouveau fonctionnement en mode antisel ;
- Tests et mise au point ;
- Travaux de finitions ;
- Fin des travaux, débatardage et remise en eau de l'écluse pour la belle saison.

Remarque générale relative aux terrassements : A ce stade (phase AVP), il a été privilégié le terrassement par talutage des terrains afin de s'affranchir, autant que faire se peut, de soutènements provisoires onéreux. Compte tenu de la perméabilité des remblais, de la présence de la nappe à faible profondeur (2 m) et d'un substratum fracturé, un

pompage en fond de fouille est prévu Ce dispositif pourrait être complété par des injections dans le substratum rocheux, si la perméabilité de fractures est localement trop importante.

Au sein des terrains rocheux, la mise en place d'un grillage pour se prémunir de la chute de pierre, voire d'un gunitage (béton projeté + cloutage) n'est pas exclu compte tenu de la hauteur du talus (8 m environ).

Les deux saisons nécessiteront la mise à sec totale de l'écluse grâce aux batardeaux existants. L'ensemble des travaux se fera hors d'eau. Les installations de travaux (base-vie, zone de stockage, etc.) seront positionnées exclusivement sur les zones de stationnement imperméabilisées attenantes à l'écluse en rive droite et en amont et en aval du pont routier.

Le fonctionnement de l'écluse sera interrompu durant les phases de travaux. Pour les bateaux qui devront transiter depuis l'aval vers l'amont pour rejoindre les chantiers navals, des alternatives seront mises en place ponctuellement (levage des bateaux, chargement sur des camions jusqu'aux chantiers ou remise à l'eau en amont).

La vue aérienne en page suivante présente la zone de travaux ainsi que les accès prévus.

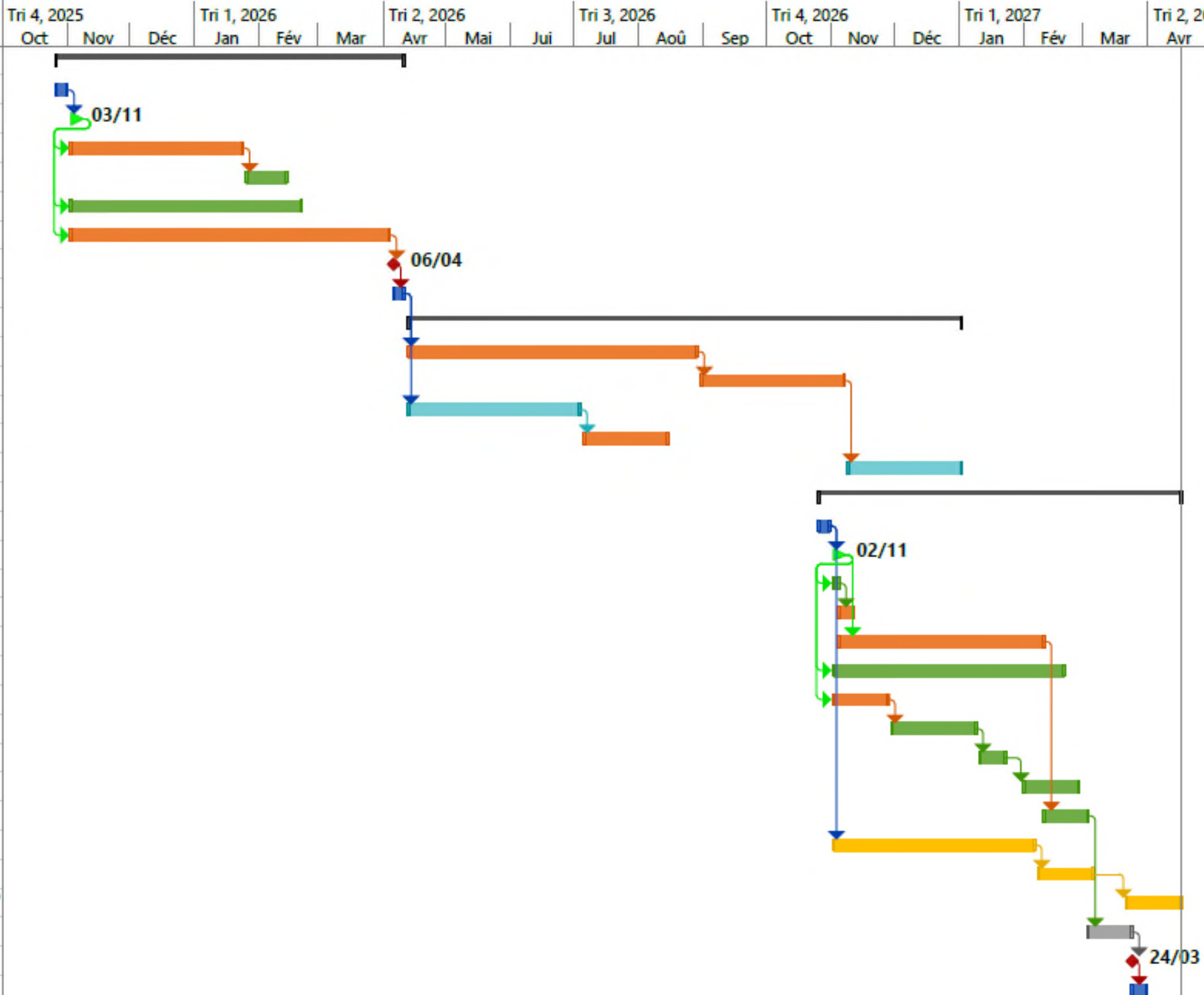


Figure 16 : Vue aérienne de la zone de travaux ainsi que les accès prévus

Groupement de MOE : ARTELIA - ARCADIS et SPIELMANN & CHIRINO Maitre d'Ouvrage : Eau & Vilaine

PLANNING PREVISIONNEL PARTITION DE L'ECLUSE D'ARZAL

N°	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédi	Tri 4, 2025																							
						Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr					
1	Travaux saison hivernale 1 - écluse à sec	24 semaines	Lun 27/10/25	Ven 10/04/26		[Barre noire]																							
2	Batardage et mise à sec de l'écluse	1 semaine	Lun 27/10/25	Ven 31/10/25		[Barre orange]																							
3	Démarrage des travaux saison 1	0 semaine	Lun 03/11/25	Lun 03/11/25	2	[Barre orange]																							
4	Génie civil V8	12 semaines	Lun 03/11/25	Ven 23/01/26	3	[Barre orange]																							
5	Pose V8	3 semaines	Lun 26/01/26	Ven 13/02/26	4	[Barre orange]																							
6	Rénovation porte écluse aval	16 semaines	Lun 03/11/25	Ven 20/02/26	3	[Barre orange]																							
7	Génie civil vanne secteur	22 semaines	Lun 03/11/25	Ven 03/04/26	3	[Barre orange]																							
8	Arrêt des travaux dans l'écluse	0 semaine	Lun 06/04/26	Lun 06/04/26	7	[Barre orange]																							
9	Débatardage et remise en eau de l'écluse	1 semaine	Lun 06/04/26	Ven 10/04/26	8	[Barre orange]																							
10	Travaux saison estivale - écluse en fonctionnement	38 semaines	Lun 13/04/26	Ven 01/01/27		[Barre noire]																							
11	Génie civil station de pompage	20 semaines	Lun 13/04/26	Ven 28/08/26	9	[Barre orange]																							
12	Construction bâtiment station de pompage	10 semaines	Lun 31/08/26	Ven 08/11/26	11	[Barre orange]																							
13	Pose émissaire	12 semaines	Lun 13/04/26	Ven 03/07/26	9	[Barre orange]																							
14	Génie civil bassin émissaire	6 semaines	Lun 08/07/26	Ven 14/08/26	13	[Barre orange]																							
15	Mise en place équipements pompage	8 semaines	Lun 09/11/26	Ven 01/01/27	12	[Barre orange]																							
16	Travaux saison hivernale 2 - écluse à sec	25 semaines	Lun 26/10/26	Ven 16/04/27		[Barre noire]																							
17	Batardage et mise à sec de l'écluse	1 semaine	Lun 26/10/26	Ven 30/10/26		[Barre orange]																							
18	Démarrage des travaux saison 2	0 semaine	Lun 02/11/26	Lun 02/11/26	17	[Barre orange]																							
19	Dépose porte écluse intermédiaire	0.5 semaine	Lun 02/11/26	Mer 04/11/26	18	[Barre orange]																							
20	Rebouchage porte intermédiaire	1 semaine	Mer 04/11/26	Mer 11/11/26	19	[Barre orange]																							
21	Génie civil V5	14 semaines	Mer 04/11/26	Mer 10/02/27	18	[Barre orange]																							
22	Rénovation porte écluse amont	16 semaines	Lun 02/11/26	Ven 19/02/27	18	[Barre orange]																							
23	Aléa fin du génie civil vanne secteur	4 semaines	Lun 02/11/26	Ven 27/11/26	18	[Barre orange]																							
24	Pose vanne secteur	6 semaines	Lun 30/11/26	Ven 08/01/27	23	[Barre orange]																							
25	Remplacement centrale hydraulique C1	2 semaines	Lun 11/01/27	Ven 22/01/27	24	[Barre orange]																							
26	Rénovation V1 à V4	4 semaines	Lun 01/02/27	Ven 26/02/27	25	[Barre orange]																							
27	Pose V5	3 semaines	Mer 10/02/27	Mer 03/03/27	21	[Barre orange]																							
28	Rénovation HT/BT (solution 2)	14 semaines	Lun 02/11/26	Ven 05/02/27	17	[Barre orange]																							
29	Raccordement	4 semaines	Lun 08/02/27	Ven 05/03/27	28	[Barre orange]																							
30	Automatisation - Tests et mise au point	4 semaines	Lun 22/03/27	Ven 16/04/27	29FD	[Barre orange]																							
31	Travaux de finitions	3 semaines	Mer 03/03/27	Mer 24/03/27	27	[Barre orange]																							
32	Arrêt des travaux dans l'écluse	0 semaine	Mer 24/03/27	Mer 24/03/27	31	[Barre orange]																							
33	Débatardage et remise en eau de l'écluse	1 semaine	Mer 24/03/27	Mer 31/03/27	32	[Barre orange]																							



TRAVAUX DE PARTITION DE L'ÉCLUSE D'ARZAL - AVPM


Zone d'emprise des travaux saison hivernale 1 27/10/2025 – 10/04/2026


-  Batardeaux en place - écluse à sec
27/10/25 – 10/04/26
-  Zone d'emprise de la rénovation de la porte écluse aval
03/11/25 au 20/02/26
-  Zone d'emprise des travaux de génie civil de la vanne d'isolement V6 + pose
03/11/25 au 13/02/26
-  Zone d'emprise des travaux de génie civil de la vanne secteur
27/10/25 – 03/04/26
-  Base vie – Zones de stockage



TRAVAUX DE PARTITION DE L'ÉCLUSE D'ARZAL - AVPM

Zone d'emprise des travaux
saison estivale
13/04/2026 – 28/08/2026

 Zone d'emprise des travaux de génie civil de la station de pompage (bâche, émissaire et bassin)
13/04/26 – 28/08/26

 Base vie – Zones de stockage et stockage des batardeaux



eaux & vilaine
ÉTABLISSEMENT PUBLIC TERRITORIAL
DU BASSIN DE LA VILAINE

Groupement de Maîtrise d'Œuvre

ARTELIA
Planification & Solutions

ARCADIS

PRELIMAS & CHENO
ARCHITECTURE

2

Google

TRAVAUX DE PARTITION DE L'ÉCLUSE D'ARZAL - AVPM

Zone d'emprise des travaux saison estivale
31/08/2026 – 23/10/2026

Zone d'emprise des travaux de construction du bâtiment de pompage
31/08/26 – 06/11/26

Base vie – Zones de stockage et stockage des batardeaux



TRAVAUX DE PARTITION DE L'ÉCLUSE D'ARZAL - AVPM

Zone d'emprise des travaux saison hivernale 2 26/10/2026 – 08/01/2027

-  Batardeaux en place - écluse à sec
26/10/2026 – 31/03/2027
-  Zone d'emprise des travaux d'installation des équipements de pompage
09/11/27 – 01/01/27
-  Zone d'emprise de la rénovation de la porte écluse aval
02/11/26 au 19/02/27
-  Zone d'emprise des travaux de génie civil de l'obturateur V5 + pose
04/11/26 au 03/03/27
-  Zone d'emprise des travaux sur la vanne secteur (fin génie civil + pose)
02/11/26 – 08/01/27
-  Zone d'intervention pour travaux électriques
02/11/26 – 05/02/27
-  Base vie – Zones de stockage



4



TRAVAUX DE PARTITION DE L'ÉCLUSE D'ARZAL - AVPM

Zone d'emprise des travaux saison hivernale 2
11/01/2027 – 31/03/2027

- Batardeaux en place - écluse à sec
26/10/2026 – 31/03/2027
- 1 Zone d'emprise des travaux de génie civil de l'obturateur V5 + pose
04/11/26 au 03/03/27
- Zone d'intervention pour travaux électriques
02/11/26 – 05/02/27
- 2 Zone d'emprise de la rénovation de la porte écluse aval
02/11/26 au 19/02/27
- 3 Zone d'emprise de la rénovation de V1 à V4
01/02/27 au 26/02/27
- 4 Zone d'intervention pour travaux sur centrale hydraulique et GE
11/01/27 au 29/01/27
- Base vie – Zones de stockage



8. COUT PREVISIONNEL DU PROJET

8.1. COUT GLOBAL DES TRAVAUX

Le coût estimatif du projet s'élève à 12 531 000 € HT.

Ce coût s'entend hors frais de Maîtrise d'Œuvre et aléas durant la phase chantier (intempéries, etc.)

N°	Libellé des postes	Montant € HT
1000	Travaux et Prestations Générales, études EXE	1 645 000 €
2000	Génie civil commun	2 633 575 €
2100	Terrassement du terre-plein aval en rive droite	746 000 €
2200	Station de pompage et bassin de tranquillisation	1 064 420 €
2300	Création d'un obturateur V5	358 160 €
2400	Comblement de l'emplacement de la porte écluse intermédiaire	147 700 €
2500	Vanne V6 et connexion aqueduc/pompage	144 975 €
2600	Radier et blocs béton de la vanne secteur	154 820 €
2700	Divers - Equipements	17 500 €
3000	Génie civil vanne secteur - Solution 2 (bras incrustés)	807 570 €
3100	Terrassement à l'intérieur de l'alvéole 3	104 110 €
3200	Réservations de la vanne secteur - sur les 2 rives	442 200 €
3300	Renforcement de la structure existante en rive gauche	117 290 €
3400	Réalisation des massifs d'ancrage de la porte secteur - rive gauche	41 040 €
3500	Réalisation des massifs d'ancrage de la porte secteur - rive droite	48 510 €
3600	Ancrages, tirants et micropieux	54 420 €
4000	Vantellerie et équipements	2 252 920 €
4100	Rénovation 2x portes écluse et valet SANS DEPOSE NI CARENAGE	220 500 €
4200	Rénovation vannes V1 V2	100 160 €
4250	Rénovation grilles GV1 GV2	30 200 €
4300	Rénovation obturateurs V3 V4	100 160 €
4400	Dépose porte écluse intermédiaire SANS AMIANTE	162 000 €
4450	Equipements protection accès	38 000 €
4500	Remplacement centrale oléo-hydraulique	201 500 €
4600	Vanne secteur HORS CENTRALE HYDRAULIQUE	1 110 000 €
4650	Vanne secteur - OPTION bras incrustés	52 000 €
4700	Vanne d'isolement station de pompage V6 - 1,82 x1,82	147 300 €
4800	Vanne de sasement V5 aqueduc de fond partie centrale	91 100 €
5000	Equipements de la station de pompage	1 948 345 €
6000	Equipements de l'ouvrage de dissipation	76 500 €
7000	Bâtiment station de pompage	322 680 €
8000	Electricité et automatisme	756 250 €
	Total	10 442 840 €
	Divers et aléas techniques 20%	2 088 568 €
	Total ARRONDI €HT nov. 2023 YC aléas et divers	12 531 000 €

8.2. COUT DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE POMPAGE

La station de pompage projetée met en œuvre des puissances électriques importantes. Par conséquent, la consommation électrique du barrage va fortement augmenter.

Calcul du coût additionnel :

Les hypothèses de calculs pour estimer le surcoût lié à l'installation de la station de pompage sont les suivantes :

- Les 3 pompes fonctionnent simultanément :
 - Les 5 premières minutes : 1 pompe ;

- Les 15 minutes suivantes : 3 pompes ;
- Fonctionnement des pompes à plein régime (ON/OFF) ;
- Fonctionnement en mode anti-salinité : 12 à 14 utilisations de la station de pompage par jour, lors de débits inférieurs à 10 m³/s soit 20% de l'année ou 73 jours par an en moyenne ;
- Puissance de la pompe : 143 kW ;
- Coût de l'énergie : 16 c€/ HT/ kWh (valeur moyenne sur l'année 2022).

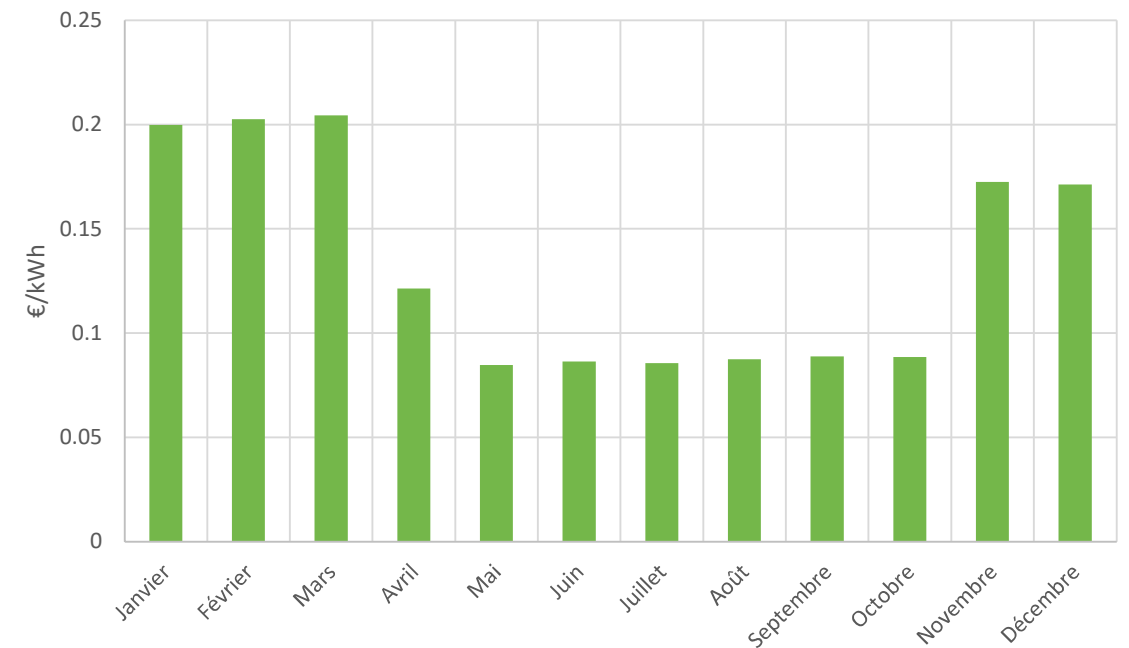


Figure 17 : Prix moyen du kWh sur 2022 (€/kWh)

Les résultats sont les suivants :

- Consommation annuelle de la station de pompage :
 - Par cycle : 143 kW * 5 min + 143 kW * 3 * 15 min = 120 kWh/cycle ;
 - Par jour : 120 * 13 = 1 560 kWh/j ;
 - Par an : 1 560 * 73 = 113 880 kWh/an ;
 - Coût : 0 * 0,16 = 18 000 €/an.

Le coût annuel de la station de pompage est donc estimé à **18 000 € HT/an**. Ce montant viendra s'ajouter à la consommation actuelle de l'écluse qui atteint un coût annuel d'environ **37 000 € HT/an** (Montant 2022 pour une consommation de 250 000 kWh/an).