



VILLE DES

**Saintes Maries de la Mer**

*Capitale de la Camargue*

## CREATION D'UN DISPOSITIF DE CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE ET DE FRANCHISSEMENT POUR ALEVINS ET POISSONS

***Mission 3 : La réalisation d'une étude détaillée des solutions techniques et insertion paysagère***

***Mission 4 : La réalisation d'une note de synthèse et comparaison des scénarios***

***Mission 5 : La définition d'un protocole de suivi***



**Septembre 2017**

**BRL**  
Ingénierie





	<b>BRL ingénierie</b> <b>1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001</b> <b>30001 NIMES CEDEX 5</b>

<b>Date du document</b>	<b>18 Octobre 2016</b>
<b>Contact</b>	<b>Gilles Pahin</b>

<b>Titre du document</b>	Création d'un dispositif de continuité écologique au droit du Pertuis de la Fourcade
<b>Référence du document :</b>	A00016_Phase2_Fourcade
<b>Indice :</b>	g

<b>Date émission</b>	<b>Indice</b>	<b>Observation</b>	<b>Dressé par</b>	<b>Vérfié et Validé par</b>
18/10/16	a	Première émission	J.Bosch	G.Pahin
09/01/17	b	Intégration commentaires client du 19/12/16	J.Bosch	G.Pahin
11/01/17	c	Intégration commentaires client du 11/01/17	J.Bosch	G.Pahin
10/05/17	d	Reprise du rapport suite au COPIL intermédiaire de phases 3, 4 et 5 et à la réunion de travail du 27/04/17 relative à la définition du dispositif de suivi	J. Bosch	G.Pahin
22/05/17	e	Intégration commentaires client du 16/05/17	J.Bosch	G.Pahin
22/09/17	f	Reprise du rapport suite aux demandes de compléments et de vérification du fonctionnement du dispositif émises par l'AFB lors du COPIL du 30/05/17	J.Bosch	G.Pahin
29/09/17	g	Intégration commentaires client des 25/09 et 28/09/17	J.Bosch	G.Pahin



# CREATION D'UN DISPOSITIF DE CONTINUITÉ ECOLOGIQUE ET DE FRANCHISSEMENT POUR ALEVINS ET POISSONS

## *Rapport de phase 2 : Propositions d'aménagements pouvant permettre de rétablir la continuité écologique entre le Vaccarès et la Mer Méditerranée*

PREAMBULE .....	1
1. RAPPEL DES CONCLUSIONS ISSUES DE LA PHASE 1 : ETAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC .....	3
2. DEROULEMENT DE LA PHASE 2 DE L'ETUDE .....	4
3. MISSION 3 : LA REALISATION D'UNE ETUDE DETAILLEE DES SOLUTIONS TECHNIQUES ET INSERTION PAYSAGERE .....	6
<b>3.1 Présentation des aménagements et synthèse des échanges avec les différents acteurs</b>	<b>6</b>
3.1.1 Présentation des aménagements envisagés	6
3.1.2 Synthèse des échanges avec les différents acteurs en fin de Phase 1	6
<b>3.2 Scénario A : Création d'un aménagement intégré au futur projet du SYMADREM</b>	<b>9</b>
3.2.1 Scénario A1 : Mise en place de vanelles au droit des vannes du futur Pertuis de la Fourcade	9
3.2.1.1 Principe d'aménagement	9
3.2.1.2 Dimensionnement	10
3.2.1.3 Résultats	10
3.2.2 Scénario A2 : Mise en place de vanelles piscicoles étagées au droit des vannes du futur Pertuis de la Fourcade	11
3.2.3 Estimation financière des scénarii A1 ou A2	11
3.2.4 Conclusion concernant les aménagements présentés au sein du scénario A	12
<b>3.3 Scénario B : Création d'un aménagement indépendant au projet porté par le SYMADREM</b>	<b>13</b>
3.3.1 Implantation et données de base	13
3.3.1.1 Attractivité des dispositifs de franchissement	13
3.3.1.2 Environnement immédiat du Pertuis et attractivité de la passe	13
3.3.1.3 Implantation du dispositif de franchissement au droit du Pertuis de la Fourcade	16
3.3.1.4 Cotes des plans d'eau amont et aval et niveaux de marnage ciblés	16
3.3.1.5 Les vitesses de nage	19
3.3.1.6 Eléments de langage	20
3.3.2 Scénario B1 : Passe à bassins à fentes verticales	21
3.3.2.1 Principe d'aménagement	21
3.3.2.2 Outil de dimensionnement utilisé	21
3.3.2.3 Dimensionnement	22
3.3.2.4 Schémas côtés des installations	22
3.3.2.5 Résultats	25

3.3.2.6	Principes de fonctionnement, d'entretien et de suivi	26
3.3.2.7	Conclusion concernant le scénario B1	28
3.3.2.8	Estimation financière	29
3.3.3	Scénario B2 : Passe à macrorugosités	30
3.3.3.1	Principe d'aménagement	30
3.3.3.2	Dimensionnement	30
3.3.3.3	Schémas côtés des aménagements	32
3.3.3.4	Résultats	35
3.3.3.5	Modification de la continuité hydraulique suite à la mise en place de l'aménagement	39
3.3.3.6	Principes de fonctionnement, d'entretien et de suivi	41
3.3.3.7	Conclusion concernant le scénario B2	44
3.3.3.8	Estimation financière	45
3.3.4	Conclusion concernant les aménagements présentés au sein du scénario B	46
<b>4.</b>	<b>MISSION 4 : LA REALISATION D'UNE NOTE DE SYNTHESE ET COMPARAISON DES SCENARII .....</b>	<b>47</b>
<b>5.</b>	<b>MISSION 5 : LA DEFINITION DU PROTOCOLE DE SUIVI .....</b>	<b>51</b>
<b>5.1</b>	<b>Création d'un suivi des conditions hydrauliques au sein du dispositif de franchissement</b>	<b>52</b>
<b>5.2</b>	<b>Suivi hydrologique</b>	<b>53</b>
5.2.1	Maintien des suivis salinité et niveaux dans les étangs du système Vaccarès	53
5.2.1.1	Maintien du suivi des salinités	53
5.2.1.2	Maintien du suivi des niveaux	54
5.2.2	Renouvellement du suivi de la qualité des eaux et des sédiments	55
5.2.3	Maintien et adaptation du suivi physico-chimique des lagunes de la Réserve	56
<b>5.3</b>	<b>Création d'un suivi bathymétrique et géomorphologique</b>	<b>58</b>
<b>5.4</b>	<b>Suivi Hydrobiologique</b>	<b>61</b>
5.4.1	Maintien du suivi des peuplements de poissons du Vaccarès	61
5.4.2	Création d'un suivi des peuplements de poissons dans les Impériaux	62
5.4.3	Création d'un suivi spécifique concernant l'échappement des espèces via la passe à poissons	65
5.4.4	Maintien du suivi des pêches professionnelles sur les Impériaux	66
5.4.5	Maintien du suivi réalisé par MRM au droit de la passe piège à civelles de la station de l'éolienne	67
<b>5.5</b>	<b>Suivi et entretien de l'aménagement</b>	<b>68</b>
5.5.1	Matériaux utilisés et durée de vie	68
<b>5.6</b>	<b>Télégestion et définition des conditions d'ouverture et de fermeture des vannes</b>	<b>69</b>
<b>5.7</b>	<b>Tableau de synthèse du dispositif de suivi proposé</b>	<b>70</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>75</b>	
<b>Annexe 1.</b>	<b>Formules utilisées pour le dimensionnement des vannes</b>	<b>77</b>
<b>Annexe 2.</b>	<b>Résultats bruts du dimensionnement réalisé pour les vannes</b>	<b>81</b>
<b>Annexe 3.</b>	<b>Résultats bruts de l'outil Cassiopée, utilisé pour le dimensionnement de la passe à bassins</b>	<b>91</b>
<b>Annexe 4.</b>	<b>Résultats bruts de l'outil d'aide au dimensionnement de passes à macrorugosités</b>	<b>99</b>
<b>Annexe 5.</b>	<b>Fiche technique des tapis picots en élastomère, dispositif de montaison pour l'anguille</b>	<b>103</b>



# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vantelle piscicole .....	10
Figure 2 : Schéma d'une martellière équipée de vantelles étagées .....	11
Figure 3 : Environnement immédiat du Pertuis de la Fourcade.....	14
Figure 4 : Station de l'Eolienne (BRL i, 2015) .....	14
Figure 5 : Martellières du chenal de rejet de la station de l'Eolienne (BRLi, 2016) .....	15
Figure 6 : Dalots béton évacuant les eaux de la station de l'Eolienne au droit du Pertuis de la Fourcade (BRLi, 2016) .....	15
Figure 7 : Courbes de marnages classés (2006/2015) .....	18
Figure 8 : Vue en coupe d'une passe à bassins à fente verticale (source AFB) .....	21
Figure 9 : Vue en plan des dispositifs de franchissement de type passes à bassins .....	23
Figure 10 : Vue en coupe des dispositifs de franchissement de type passes à bassins.....	24
Figure 11 : Passe à macrorugosités au droit du seuil de Canet en Roussillon, Dimensionnement réalisé par BRL Ingénierie, Pyrénées Orientales, CG66.....	30
Figure 12 : Schémas de la passe à macrorugosités proposée au droit du Pertuis de la Fourcade.....	33
Figure 13 : Schéma de la passe à macrorugosités et de la passe à anguilles proposée au droit du Pertuis de la Fourcade .....	34
Figure 14 : Fréquence pluriannuelle de fonctionnement de la passe à macrorugosités (2006-2016) .....	36
Figure 15 : Fréquence pluriannuelle de fonctionnement de la passe à macrorugosités durant la période de migration de janvier à mai (2006-2016) .....	37
Figure 16 : Fonctionnement quotidien du dispositif .....	41
Figure 17 : Ouverture et fermeture des vannes du dispositif .....	42

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs de marnages extrêmes retenues pour le dimensionnement.....	16
Tableau 2 : Tableau de synthèse des capacités de nage des espèces ciblées .....	19
Tableau 3 : Bilan des vitesses minimales retenues pour le dimensionnement des ouvrages de franchissement pour un aménagement intégrant le passage de l'anguille .....	19
Tableau 4 : Bilan des vitesses minimales retenues pour le dimensionnement des ouvrages de franchissement pour un aménagement visant le passage des espèces progressant par la nage .....	20
Tableau 5 : Fréquence de fonctionnement de la passe à macrorugosités sur une année entière.....	35
Tableau 6 : Fréquence de fonctionnement de la passe durant la période de migration de janvier à fin mai.....	36
Tableau 7 : Synthèse concernant les fréquences de bon fonctionnement de la passe dimensionnée .....	38
Tableau 8 : Analyse multicritère des différents scénarii proposés .....	48





## PREAMBULE

La restauration de la continuité écologique constitue aujourd'hui un axe fort dans la reconquête du bon état écologique des cours d'eau. En effet, les ouvrages transversaux peuvent à la fois impacter la continuité sédimentaire mais également les migrations piscicoles que ce soit à la montaison ou à la dévalaison.

Le SDAGE Rhône-Méditerranée 2016-2021 précise que les lagunes méditerranéennes doivent faire l'objet de mesures pour restaurer cette continuité au même titre que les cours d'eau. Ces mesures sont confirmées dans le programme d'action de ce même document cadre.

En outre, le principe de restauration de la continuité fait partie d'un des objectifs forts de la Loi Grenelle mais aussi du classement des cours d'eau au titre de l'article L.214-17 du Code de l'Environnement. Les objectifs qui émanent de ces réglementations réaffirment pour les étangs du Vaccarès, les objectifs en matière de reconquête de la continuité écologique sur le court et le moyen terme.

Dans le cadre des objectifs assignés par cette réglementation, la commune des Saintes Maries de la Mer a mandaté le bureau d'études BRLi afin d'étudier les opportunités et modalités techniques permettant d'améliorer la continuité écologique du pertuis de la Fourcade situé à l'exutoire des étangs du Vaccarès.

Cette étude, dont la finalité vise la définition et la proposition de scénarios pour la restauration de la continuité écologique au pertuis de la Fourcade, comprend 5 phases principales :

- ▶ Mission 1 : la connaissance générale, technique et administrative de l'ouvrage ;
- ▶ Mission 2 : l'analyse des impacts de l'ouvrage et des enjeux hydromorphologiques et biologiques ;
- ▶ Mission 3 : la réalisation d'une étude détaillée des solutions techniques et insertion paysagère ;
- ▶ Mission 4 : la réalisation d'une note de synthèse et comparaison des scénarios ;
- ▶ Mission 5 : la définition d'un protocole de suivi

**Ce rapport correspond aux missions 3, 4 et 5.**



# 1. Rappel des conclusions issues de la phase 1 : Etat des lieux et diagnostic

Le diagnostic réalisé durant la Phase 1, dans le cadre de l'étude de restauration des continuités écologiques au sein du Pertuis de la Fourcade, a conduit aux observations suivantes :

- Sur la période 2006-2015 :
  - L'ensemble des vannes ont été clôturées 32.1% du temps. Les ouvertures sont restées quant à elles majoritairement focalisées sur 1 vanne (21.6%), 2 vannes (18.6%) et 3 vannes (14.1%).
  - Les cotes observées de parts et d'autres du pertuis ont été très largement en faveur d'intrusions marines (80.2% du temps en moyennes annuelles).
- Parmi les espèces répertoriées, les civelles possèdent **les plus faibles capacités de nage** ( $V_{\text{maximum}} = 0.3 \text{ m.s}^{-1}$ ). Le dimensionnement d'un dispositif permettant le franchissement de l'ouvrage par cette espèce assurera donc **la restauration de la continuité écologique pour l'ensemble des espèces inventoriées.**
- La période de migration correspondant à l'entrée des poissons dans la lagune s'étend de novembre à août principalement (toutes espèces confondues).
- La période de migration correspondant à l'échappement des poissons en mer s'étend de septembre à décembre.
- Lors de la migration d'entrée dans la lagune, les espèces sont restées bloquées en moyenne 23.7 % du temps du fait de la fermeture des vannes. Durant la même période, lorsque les vannes étaient ouvertes, les espèces ont rencontrées des vitesses limitantes dans les chenaux 21.4% du temps. **L'effet bloquant global de l'ouvrage, lors des migrations d'entrée dans la lagune, est donc estimé à 40% (toutes espèces confondues).**
- Lors de la migration de sortie de la lagune, les espèces sont restées bloquées en moyenne 43.5 % du temps du fait de la fermeture des vannes. Durant la même période, lorsque les vannes étaient ouvertes, les espèces ont rencontrées des vitesses limitantes dans les chenaux 52.4% du temps. **L'effet bloquant global de l'ouvrage, lors des migrations de sortie de la lagune, est donc estimé à 73.1% (toutes espèces confondues).**

**Un blocage important des processus migratoires a donc été identifié au droit de l'ouvrage ; et ce dans les deux sens de migration.**

**Au vu des éléments de diagnostic établi, il est impératif, pour rétablir la continuité écologique au droit du pertuis de la Fourcade, d'assurer une continuité permanente entre la mer et les étangs, et de réduire les vitesses transitant au droit des chenaux via un aménagement piscicole spécifique.**

## 2. Déroulement de la phase 2 de l'étude

La réalisation de la phase 2 de l'étude de restauration des continuités écologiques au droit du Pertuis de la Fourcade a été l'occasion de réaliser de nombreux entretiens et étapes de validation, synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Etapes	Date	Objectifs	Remarque
<b>Fin du rapport de Phase 1 et COPIL de restitution de la phase 1</b>	08/07/2016	Valider le diagnostic avec l'ensemble des acteurs	Accord de l'ensemble des membres du COPIL sur l'intérêt de mettre en place un aménagement de franchissement piscicole
<b>Entretien avec les acteurs du territoire</b>	24/11/2016 et 25/11/2016	Amorcer les échanges et définir les besoins en termes de suivi (mission 5)	Tour du Valat et Réserve rencontrés le 24/11/2016 MRM et PNRC rencontrés le 25/11/2016
<b>Point d'avancement présenté en CEDE</b>	08/12/2016	Présenter l'avancement du projet et recueillir l'avis des experts du territoire	Validation des éléments présentés et discussion constructive avec l'ensemble des acteurs
<b>Réalisation d'un COPIL intermédiaire (COPIL n°3)</b>	19/01/2017	Présenter et faire valider par les membres du COPIL le dimensionnement du dispositif de franchissement	Validation de la part de l'ensemble des membres du COPIL du dispositif de franchissement, avec quelques ajustements mineurs demandés par l'AFB
<b>Réunion de travail</b>	27/04/2017	Définir avec l'ensemble des acteurs du territoire un protocole de suivi du milieu suite à la mise en place du dispositif de franchissement	Définition conjointe du dispositif de suivi piscicole et sédimentaire, validation des autres dispositifs de suivi envisagés
<b>COPIL n°4</b>	30/05/2017	Présenter le bilan de la Phase 2 Valider l'étude et amorcer la phase suivante (AVP) portées par le SYMADREM	Remise en cause des gammes de fonctionnement du dispositif par les services de l'AFB (basées sur des moyennes journalières), les vitesses en sorties du dispositif pouvant s'avérer limitantes. Nécessité de vérifier les vitesses en sortie de passe et les fréquences de fonctionnement avec des pas de temps plus fins.
<b>Réception des données provenant de la Tour du Valat et de la Réserve Nationale de Camargue</b>	15/06/2017	Intégrer ces données aux calculs réalisés afin de vérifier la fonctionnalité du dispositif	/
<b>Création d'un outil spécifique au dimensionnement de la passe du Pertuis de la Fourcade</b>	Fin juin	Création d'un outil spécifique sur la base de la feuille de calcul de l'AFB	Création de l'outil Intégration des niveaux de marnages transmis par la Tour du Valat et la Réserve Nationale de Camargue au pas de temps de la ½ heure Vérification de la fonctionnalité de la passe et proposition de 3 scénarii alternatifs permettant d'augmenter la fonctionnalité

<b>Echanges divers avec l'AFB</b>	Juillet Août	Vérifier la validité de l'outil créé par BRL i sur la base de l'outil de dimensionnement de l'AFB Valider le dispositif de franchissement piscicole	/
<b>Echange téléphonique avec P. SAGNES (Pôle éco-hydraulique AFB)</b>	18/08/2017	Valider le dispositif	Validation finale du dispositif Correction apportée par l'AFB sur l'outil réalisé et validation de ce dernier Accord sur une modification légère de la géométrie de la passe afin de limiter la sensibilité de ce dernier aux embâcles et améliorer les conditions d'entretien => tout en maintenant une fonctionnalité similaire à ce qui avait été présenté lors des COPIL n°3 et n°4

Le présent rapport de phase 2 présente au chapitre 3.3.3 le dispositif de franchissement à macrorugosités validé à l'issue de ces nombreux échanges et vérifications.

## 3. Mission 3 : La réalisation d'une étude détaillée des solutions techniques et insertion paysagère

Afin d'avancer sur la Phase 2, des propositions d'aménagements ont été réalisées en fin de phase 1 afin d'explorer les champs des possibles et amorcer les débats et échanges avec les acteurs et parties prenantes, notamment lors d'entretien et à l'occasion du COPIL dernier.

Ces aménagements et leurs dimensionnements seront repris dans la suite du rapport, notamment au sein de la mission 3, il convient toutefois de rappeler les conclusions des échanges réalisés lors du dernier COPIL.

### 3.1 PRESENTATION DES AMENAGEMENTS ET SYNTHÈSE DES ÉCHANGES AVEC LES DIFFÉRENTS ACTEURS

#### 3.1.1 Présentation des aménagements envisagés

Afin d'envisager le maximum de solutions réalisables, les propositions ont été séparées en deux types de scénarii :

- Scénario A : création d'un aménagement intégré au projet du SYMADREM
- Scénario B : création d'aménagement indépendant du projet porté par le SYMADREM.

Quatre scénarii ont été proposés comme suit :

- Scénario A : Création d'un aménagement intégré au projet du SYMADREM :
  - Scénario A1 : Mise en place de vanelles piscicoles au droit des vannes du futur pertuis ;
  - Scénario A2 : Mise en place de vanelles piscicoles avec différents niveaux d'ouvertures (dites étagées) au droit des vannes du futur pertuis.
- Scénario B : Création d'un aménagement indépendant du projet porté par le SYMADREM :
  - Scénario B1 : Création de passes à bassins à fentes verticales ;
  - Scénario B2 : Création de passes à macrorugosités.

#### 3.1.2 Synthèse des échanges avec les différents acteurs en fin de Phase 1

Cette synthèse présente les avantages et inconvénients des différents aménagements envisagés, la position générale des acteurs vis-à-vis de ce dernier, ainsi que les orientations à suivre dans le cadre de la suite de l'étude pour chaque proposition.

Il est important de rappeler à ce stade que l'ensemble des acteurs ont été mis à contribution pour la définition de ces aménagements, les échanges avec chacun d'entre eux ont ainsi permis d'optimiser les propositions, notamment pour les scénarii de type B.

En revanche, les scénarii de type A, devant s'intégrer au projet du SYMADREM, c'est-à-dire sans proposer de passe spécifique pour les espèces piscicoles et sans ralentir les écoulements au sein des chenaux, ce qui serait contre-productif avec les objectifs de ressuyage des crues, rencontrent très rapidement des problèmes de fonctionnalité du fait de vitesses trop importantes au sein des chenaux du Pertuis.

Scénario envisagé	Avantage	Inconvénient	Optimisations réalisées grâce aux échanges avec les différents acteurs	Orientations à suivre pour la suite de l'étude définies lors du dernier COFIL
<b>A1 : Mise en place de vanelles piscicoles au droit des vannes du Pertuis</b>	<p>Connexion continue mer-étang favorisant les échanges</p> <p>Migration passive favorisée au travers de la vanelle</p>	<p>Contraction des écoulements rendant impossible la migration active à travers les vanelles</p> <p>Difficulté de gérer les volumes d'eau entrant</p>	<p>Ce scénario n'a pas séduit les acteurs</p> <p>Aucune proposition d'optimisation n'a été faite</p>	<p>Apporter des arguments chiffrés sur l'impact résiduel à la migration dans le cadre de cet aménagement, et se concentrer sur les aménagements de type B</p>
<b>A2 : Mise en place de vanelles étagées</b>	<p>Connexion continue mer-étang favorisant les échanges</p> <p>Migration passive favorisée au travers de la vanelle</p> <p>Gestion des volumes d'eau entrant</p>	<p>Contraction des écoulements rendant impossible la migration active à travers les vanelles</p>	<p>Ce scénario n'a pas séduit les acteurs</p> <p>Aucune proposition d'optimisation n'a été faite</p>	<p>Apporter des arguments chiffrés sur l'impact résiduel à la migration dans le cadre de cet aménagement, et se concentrer sur les aménagements de type B</p>
<b>B1 : Création de passes à bassins à fentes verticales</b>	<p>Franchissement possible pour la plupart des espèces piscicoles</p> <p>Aménagement en parallèle sans incidences sur les capacités de ressuyage</p> <p>Gestion des volumes entrants</p>	<p>Blocage hydrodynamique potentiel pour les civelles</p>	<p>A ce stade, ce scénario arrive en deuxième position dans le choix fait par les acteurs</p> <p>La géométrie des passes à fentes verticales est spécifique à un sens de circulation des écoulements, il est impératif de doubler la passe pour assurer son fonctionnement dans le sens mer-étang et étang-mer</p>	<p>Vérifier la pertinence de l'aménagement pour la civelle</p> <p>L'amélioration de l'accessibilité des étangs pour l'anguille est un point important de l'étude, mis en avant par de nombreux acteurs.</p>

Scénario envisagé	Avantage	Inconvénient	Optimisations réalisées grâce aux échanges avec les différents acteurs	Orientations à suivre pour la suite de l'étude définies lors du dernier COPIL
<b>B2 : Création d'une passe à macrorugosités</b>	<p>Franchissement possible pour toutes les espèces, y compris pour les civelles</p> <p>Aménagement en parallèle sans incidences sur les capacités de ressuyage</p> <p>Gestion des volumes entrants</p>	<p>Pas de points négatifs identifiés à ce stade, emprise (largeur d'implantation) certainement plus importante qu'une passe à bassins</p>	<p>A ce stade, ce scénario arrive en première position dans le choix fait par les acteurs</p> <p>De nombreuses optimisations découlent des entretiens réalisés avec les acteurs et parties prenantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer une pente latérale pour favoriser la montaison de l'anguille et permettre sa reptation</li> <li>- Proposer des vannes de part et d'autre de la passe pour limiter les intrusions marines en cas de surcote marine importante.</li> <li>- Séparer le dispositif de montaison pour l'anguille du dispositif toutes espèces pour améliorer l'attractivité de la passe et sa fonctionnalité</li> </ul>	<p>Porter tous les efforts sur ce scénario qui semble être le plus pertinent</p> <p>S'assurer de la fonctionnalité de la passe pour l'ensemble des espèces présentes</p> <p>Réfléchir à la surface de reptation qui sera la plus adaptée au stade de civelle pour les pentes latérales des passes.</p>

## 3.2 SCENARIO A : CREATION D'UN AMENAGEMENT INTEGRE AU FUTUR PROJET DU SYMADREM

L'objectif de ces propositions est de s'intégrer au projet du SYMADREM, donc sans proposer d'aménagement parallèle spécifique à la migration piscicole.

Il est important de rappeler que le projet du SYMADREM vise à augmenter les capacités de ressuyage des crues du Pertuis afin de limiter les impacts des événements météorologiques exceptionnels sur les niveaux des étangs, et notamment sur les enjeux humains et matériels environnant.

De ce fait, il serait totalement contreproductif d'envisager de freiner les écoulements au sein des chenaux présents sous le Pertuis de la Fourcade. Le scénario A vise donc à proposer différents types de vannes pouvant assurer une continuité des échanges hydrauliques mer – étang et par la même occasion des échanges entre les populations piscicoles des deux compartiments lorsque les conditions physiques le permettent (vitesses non limitantes).

### 3.2.1 Scénario A1 : Mise en place de vannes au droit des vannes du futur Pertuis de la Fourcade

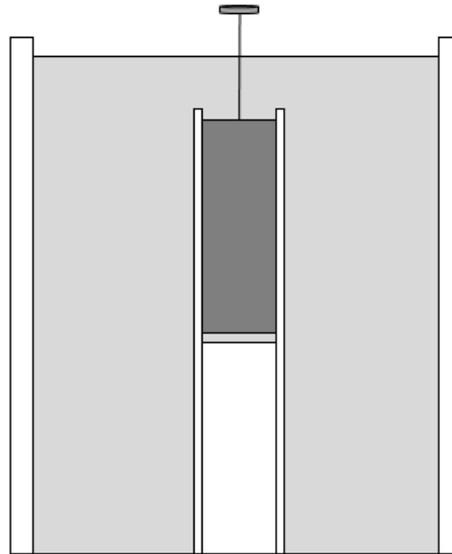
#### 3.2.1.1 Principe d'aménagement

Une vanne piscicole se présente sous la forme d'une ouverture au droit des vannes situées sur le Pertuis de la Fourcade. La vanne se compose d'une ouverture associée à un système de martellière qui lui sera propre afin de permettre la fermeture individualisée des vannes. Cela permettra de gérer les intrusions marines dans le système d'étang situé en amont.

Les vannes seront automatisées de manière à s'ouvrir lors des périodes de fermeture des vannes, afin de maintenir une continuité hydraulique entre les deux compartiments (mer – étang) et de favoriser le franchissement des espèces lorsque les conditions hydrodynamiques sont favorables.

Le schéma ci-dessous illustre l'aménagement envisagé.

Figure 1 : Vantelle piscicole



### 3.2.1.2 Dimensionnement

Nous rappelons ici à titre préliminaire que les aménagements prévus au droit du Pertuis de la Fourcade visent à améliorer la migration de l'ensemble des espèces présentes. Parmi ces espèces, celle qui dispose de la vitesse de nage la plus faible est l'anguille, cette dernière ne peut pas dépasser les 30cm/s alors que les juvéniles des autres espèces peuvent en moyenne atteindre 50cm/s.

Dans le cadre du dimensionnement, plusieurs dimensions de vantelles ont été testées au sein d'un modèle réalisé pour l'occasion, afin d'identifier l'incidence de l'aménagement sur les vitesses d'écoulement.

Ce modèle se base sur les formules de seuils noyés et dénoyés, rappelées en annexe 1. Dans notre cas, la charge aval (les écoulements pouvant apparaître dans les deux sens, nous appellerons arbitrairement aval le compartiment qui reçoit les écoulements) sera déterminante pour savoir si le seuil est dit noyé ou dénoyé.

### 3.2.1.3 Résultats

Les dimensions de vantelles testées sont présentées en annexe 2, aucun scénario étudié n'a permis d'obtenir des vitesses adaptées aux conditions de nage des espèces cibles.

Comme pressenti lors des phases précédentes, les ouvertures des vantelles ont pour effet de concentrer les écoulements et engendrent des survitesses, totalement impraticables pour la plupart des espèces visées, notamment au stade juvénile.

Il apparaît ainsi qu'à partir d'une différence de charge de 5 cm entre les deux compartiments, des survitesses de 75 à 80 cm/s apparaissent, ces vitesses ne sont pas adaptées aux espèces ciblées.

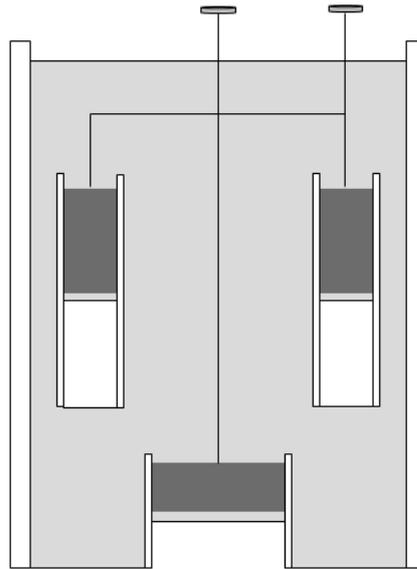
Ainsi, le positionnement de plusieurs vantelles à différents niveaux sur la vanne (scénario A2) ne permettrait pas d'obtenir de meilleurs résultats à ce stade.

### 3.2.2 Scénario A2 : Mise en place de vanelles piscicoles étagées au droit des vannes du futur Pertuis de la Fourcade

Ce scénario visait à proposer différents niveaux de vanelles dans le cas où les faibles différences de charge entre les deux compartiments permettaient d'obtenir des vitesses adaptées aux conditions de nage des espèces cibles.

Le schéma suivant présente l'aménagement envisagé.

Figure 2 : Schéma d'une martellière équipée de vanelles étagées



Comme vu précédemment dans l'analyse du scénario A1, une différence de charge de seulement 5 cm engendre des survitesses trop importantes. Ce scénario ne sera donc pas fonctionnel, quel que soit le positionnement appliqué aux vanelles.

### 3.2.3 Estimation financière des scénarii A1 ou A2

#### Aménagement du pertuis de la Fourcade

Prix généraux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Installations et replis de chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000,00 €
Gestion des eaux durant le chantier (pompage, etc...)	Ft	1	5 000,00 €	5 000,00 €
Sujétions environnementales durant le chantier (filtre MES, prélèvements qualité des eaux, etc...)	Ft	1	2 000,00 €	2 000,00 €
				<b>22 000 €</b>

#### Vantellerie et automatisation

Vanne motorisée inox 1m de large	u	2	12 000,00 €	24 000,00 €
Coffret de commande	Ft	1	2 500,00 €	2 500,00 €
Télégestion	Ft	1	2 000,00 €	2 000,00 €
				<b>28 500 €</b>

### 3.2.4 Conclusion concernant les aménagements présentés au sein du scénario A

Les analyses réalisées concernant le scénario A permettent d'éliminer ces deux sous types de scénarii dans le cadre d'une réflexion d'amélioration permanente de la continuité écologique au droit du Pertuis de la Fourcade.

En effet, il est important de noter que la mise en place de vannes aurait un effet bénéfique certain sur la continuité écologique en favorisant la migration passive (où les individus se laissent porter par le courant). Les vannes sont en effet fermées actuellement en moyenne 32% du temps, la mise en place de vannes assurerait une continuité hydraulique et limiterait l'impact de ces fermetures sur la migration.

Toutefois, cela ne réglerait pas le problème engendré par les vitesses limitantes au droit du Pertuis pour la migration active (en moyenne 22% du temps dans le sens mer => lagune ; et 53% du temps dans le sens lagune => mer).

### 3.3 SCENARIO B : CREATION D'UN AMENAGEMENT INDEPENDANT AU PROJET PORTE PAR LE SYMADREM

L'objectif de ces propositions est de réaliser un aménagement spécifique à la continuité écologique, qui ne sera pas utilisé dans le cadre de l'amélioration des capacités de ressuyage du Pertuis de la Fourcade.

Cette nouvelle configuration nous permet d'envisager de freiner les écoulements via la mise en place d'aménagements piscicoles spécifiques, et d'assurer le franchissement des espèces cibles, dans les deux sens de circulation.

Ces aménagements indépendants impliquent toutefois une emprise bien plus importante du projet combiné final (ressuyage + continuité écologique).

#### 3.3.1 Implantation et données de base

##### 3.3.1.1 Attractivité des dispositifs de franchissement

L'attractivité d'un dispositif de franchissement est liée à son implantation au droit de l'obstacle, en particulier à la situation de son ou de ses entrées, aux conditions hydrodynamiques (débits, vitesses, lignes de courant) au voisinage de ces entrées, qui ne doivent être masquées ni par des turbulences et écoulements à fortes vitesses, ni par des zones d'eaux mortes.

L'efficacité est liée au comportement migratoire du poisson et à ses facultés d'exploration au pied de l'ouvrage.

L'implantation des dispositifs de franchissement en rive ou à proximité des rives est la plupart du temps préférable dans la mesure où les migrateurs ont généralement tendance à se déplacer le long des rives plutôt que dans la partie centrale du chenal. De plus, un tel emplacement s'avère préférable pour des questions de facilité d'accès indispensables au contrôle, à la surveillance et à l'entretien des dispositifs.

De façon générale, même si les zones de regroupement varient selon les espèces, le poisson a tendance à remonter dans le courant le plus à l'amont possible, jusqu'à ce qu'il soit arrêté par une chute d'une hauteur infranchissable ou par des courants trop violents.

##### 3.3.1.2 Environnement immédiat du Pertuis et attractivité de la passe

Lors de la réalisation des missions d'état des lieux / diagnostic, il a été identifié une tendance de la part des individus cherchant à migrer vers les étangs à venir s'enfermer dans l'impasse hydraulique située en aval direct de la station de l'éolienne.

L'emplacement de la station de l'Eolienne est rappelé sur le plan présenté ci-dessous.

Figure 3 : Environnement immédiat du Pertuis de la Fourcade



La station de l'Eolienne, construite en 1984, permet l'assainissement des étangs et des marais communaux des Saintes Maries de la Mer et sert également d'outil de ressuyage en cas d'inondation de la commune par le petit Rhône ou par submersion marine. Equipée de deux pompes d'une capacité de 1500 l/s chacune, la station fonctionne en cycle quasi-continu, notamment en période estivale.

La station est équipée d'une passe piège à civelle depuis l'automne 2003.

Figure 4 : Station de l'Eolienne (BRL i, 2015)



Les eaux de drainage sont ensuite acheminées dans un chenal équipé de deux martellières juxtaposées, de largeur 1.20 m par 1 m de hauteur, permettant la fermeture occasionnelle du chenal.

Les débits provenant de la station de l'éolienne sont constitués d'eaux douces et présentent une incidence positive au-delà du chenal de sortie en favorisant l'attrait de ce secteur pour les espèces migratrices en mer.

Figure 5 : Martellières du chenal de rejet de la station de l'Eolienne (BRLi, 2016)



Les écoulements sont ensuite évacués à travers deux dalots situés en rive droite du Pertuis de la Fourcade. Ces dalots béton présentent une largeur d'ouverture de 1.10 m pour le plus proche de la rive et 1.20 m pour le suivant, pour une hauteur de 1m.

Figure 6 : Dalots béton évacuant les eaux de la station de l'Eolienne au droit du Pertuis de la Fourcade (BRLi, 2016)



Lors de son fonctionnement, la station de l'éolienne produit un débit d'attrait important au droit des deux dalots présentés ci-avant. Les individus remontant au sein du grau sont alors attirés par ces ouvertures, toutefois, les vitesses importantes, entre 1,5 et 2,5 m/s au droit des chenaux rive droite rendent impossible le franchissement de ces derniers par les espèces présentes.

En revanche, lorsque la station s'arrête, les vitesses ne sont plus limitantes et l'attrait est toujours présent jusqu'à stabilisation des masses d'eau. Cela engendre un afflux massif d'individus au sein de l'impasse située en aval de la station. Ce phénomène est observable notamment l'été, entre deux fonctionnements de la station de l'Eolienne.

L'anguille n'est pas affectée par ce phénomène grâce à la passe piège à civelles présente au droit de la station. Les civelles y sont piégées et sont réintroduites par la suite au sein des étangs des Impériaux par les agents de MRM.

En revanche les autres espèces restent bloquées dans l'impasse jusqu'à une nouvelle mise en marche de la station qui aura pour effet de chasser les individus les plus faibles, incapables de résister aux vitesses sur cette zone.

Cette contrainte est à prendre en considération dans le cadre de la définition de l'implantation du dispositif de franchissement piscicole au droit du pertuis de la Fourcade.

### 3.3.1.3 Implantation du dispositif de franchissement au droit du Pertuis de la Fourcade

Durant les premières phases d'étude, le devenir de la partie actuellement présente du pertuis de la Fourcade était incertain, c'est-à-dire que ce dernier pouvait être maintenu pour la partie existante et prolongé vers la rive est, ou alors entièrement détruit et reconstruit.

Les réflexions engagées par le SYMADREM, dans le cadre de son étude pour une réhabilitation de l'intégralité du pertuis de la Fourcade (outil majeur de ressuyage), au stade de l'AVP, ont permis de conclure qu'il est finalement préférable de repenser totalement le Pertuis et de procéder à des travaux d'envergure sur l'ouvrage pour le reconstruire à la géométrie adéquate.

Considérant cela, l'emplacement idéal pour réaliser la passe à poissons se situe à proximité des dalots situés en rive ouest (servant à évacuer les débits de la station de l'éolienne). En effet, cet emplacement permettra de bénéficier de l'attrait piscicole existant au droit des dalots, et provenant du débit des eaux évacuées par la station de l'éolienne.

Ainsi, en période de fonctionnement de la station de l'éolienne, les poissons seront attirés vers les dalots en rive ouest. Les vitesses en sortie de dalots étant trop importantes pour permettre leur progression vers la station de l'éolienne, ces derniers seront orientés par le dispositif de franchissement placé à côté.

En période d'arrêt du fonctionnement de l'éolienne, la passe à poissons sera seule à fournir un débit d'attrait, les espèces piscicoles seront naturellement guidées vers celle-ci.

En période de fermeture totale des martellières de l'outil de ressuyage de la Fourcade, la passe à poissons sera seule à fournir un passage piscicole entre la mer et les étangs.

### 3.3.1.4 Cotes des plans d'eau amont et aval et niveaux de marnage ciblés

D'après les préconisations de l'AFB, on peut considérer que la continuité écologique est assurée lorsqu'un aménagement permet le franchissement d'un obstacle 80 à 90% du temps. Conformément à ces recommandations, notre dispositif de franchissement devra permettre une connexion hydraulique 90 % du temps au minimum.

Pour cela, les marnages des niveaux marins et des niveaux des Impériaux ont été étudiés de part et d'autre du Pertuis, afin d'avoir un aperçu des côtes atteintes et de leurs fréquences d'apparition. La reconnexion hydraulique 90% du temps sera réalisée en éliminant les cotes extrêmes et peu fréquentes : [0% - 5%] et [95% - 100%].

Les valeurs limites retenues sont présentées dans le tableau ci-dessous :

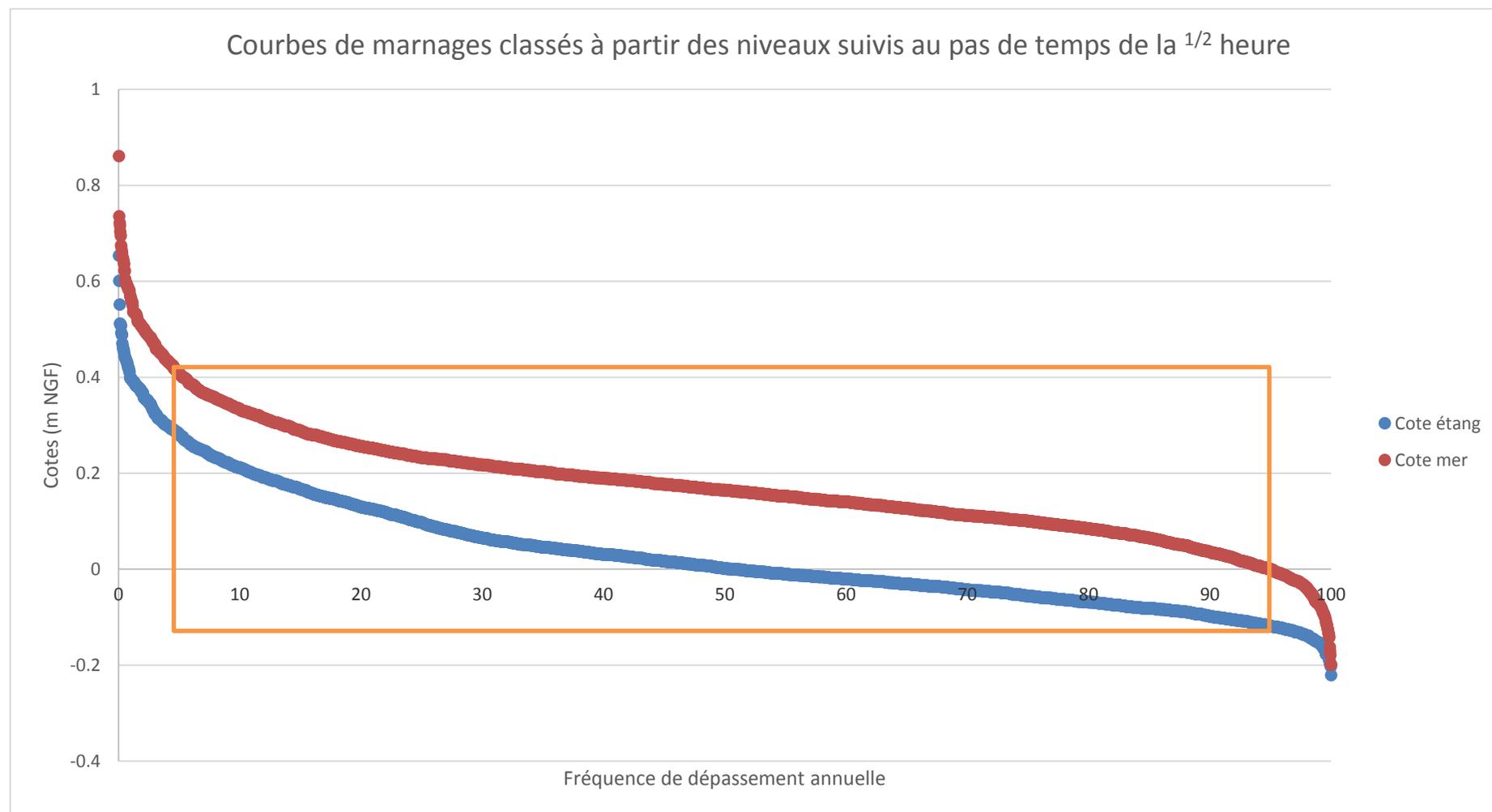
Tableau 1 : Valeurs de marnages extrêmes retenues pour le dimensionnement

	Etang	Mer
Niveau maximal (mNGF)	0.28	0.43
Niveau minimal (mNGF)	-0.11	-0.03

Ces valeurs ont été déterminées à partir de la courbe des marnages classés réalisées sur la base des suivis des niveaux d'eau de part et d'autre du Pertuis, transmis par la Tour du Valat et le SNPN Reserve Naturelle de Camargue. Sur cette courbe, on peut observer les fréquences d'apparition, sur une année moyenne, des niveaux atteints de part et d'autre du Pertuis de la Fourcade, et éliminer les niveaux extrêmes, peu fréquents.

L'encadré ci-dessous illustre la plage de fonctionnement choisie pour le futur aménagement.

Figure 7 : Courbes de marnages classés (2006/2015)



### 3.3.1.5 Les vitesses de nage

Lors de la phase 1 de l'étude de restauration de la continuité écologique au droit du pertuis de la Fourcade, il a été proposé de retenir comme vitesse limitante pour le franchissement piscicole la vitesse de pointe pour la nage de la civelle, à savoir 30 cm/s.

Toutefois, cette vitesse de nage vaut pour les entrées dans la lagune, dans ce sens de migration (mer – étangs) les individus sont en effet très jeunes et disposent de faibles capacités de nage. Dans le sens inverse (étangs – mer), les individus ont pu profiter de la zone de grossissement que représente les étangs des Impériaux et plus largement le système Vaccarès. Ainsi, les individus quittant la zone sont plus grands et disposent de capacités de nage plus importantes.

Le tableau de synthèse des éléments de phase 1 ci-dessous présente ces différentes vitesses limitantes pour les espèces piscicoles.

Tableau 2 : Tableau de synthèse des capacités de nage des espèces ciblées

Espèce considérée	Sens de migration	
	Juveniles	Adultes
	Sens mer => étang	Sens étang => mer
Civelle	0,3 m/s	0,5 à 1 m/s
Athérines, loups et daurades	0,8 à 1 m/s	1 à 1,5 m/s
Gobiidae	Transport passif uniquement	
Mugilidae	0,8 à 1 m/s	4 à 5,5 m/s
Flet	0,6 à 0,8 m/s	1 à 1,5 m/s

Tableau 3 : Bilan des vitesses minimales retenues pour le dimensionnement des ouvrages de franchissement pour un aménagement intégrant le passage de l'anguille

Bilan concernant les valeurs limitantes retenues	Sens de migration	
	Juveniles	Adultes
	Sens mer => étang	Sens étang => mer
Vitesses minimales retenues pour le dimensionnement	0,3 m/s	0,5 m/s

Les vitesses retenues pour assurer le passage de l'anguille sont faibles et engendrent des aménagements présentant une emprise importante. Dans une logique d'optimisation, il est proposé dans le scénario B2 de réaliser un dispositif spécifique au passage de l'anguille par la reptation, et de réaliser la passe à macrorugosités sur un second dispositif en parallèle. Cela permet d'accepter des vitesses plus importantes dans la passe spécifique aux espèces progressant par la nage (passe à macrorugosités) sans impacter la montaison de l'anguille. Dans cette configuration, les vitesses minimales retenues sont moins pénalisantes, et l'emprise de l'aménagement moins importante.

Tableau 4 : Bilan des vitesses minimales retenues pour le dimensionnement des ouvrages de franchissement pour un aménagement visant le passage des espèces progressant par la nage

Bilan concernant les valeurs limitantes retenues	Sens de migration	
	Juveniles Sens mer => étang	Adultes Sens étang => mer
Vitesses minimales retenues pour le dimensionnement	0,8 à 1 m/s	1 à 1,5 m/s

### 3.3.1.6 Eléments de langage

Afin d'éviter de possibles erreurs de lecture dans la suite du rapport, une précision est apportée ici au terme « sens de migration ».

Le dimensionnement des dispositifs de franchissement vise à améliorer **la migration active** des espèces présentes. En ce qui concerne **la migration passive, celle-ci sera assurée par la continuité hydraulique entre les deux compartiments** (mer et étangs), via les passes à poissons ou via les vannes ouvertes du Pertuis.

Le terme sens de migration signifie donc ici : **direction suivie par le poisson pour effectuer une migration active, par la nage.**

Ainsi, un sens de migration mer => étangs implique que les écoulements se font dans la direction opposée, c'est-à-dire des étangs vers la mer. L'individu provenant de la mer cherchera alors à remonter le courant (migration active) pour accéder aux étangs.

Dans le sens opposé, une migration étangs => mer implique que les écoulements se font de la mer vers les étangs. L'individu souhaitant quitter les étangs cherchera alors à remonter le courant (migration active) pour accéder à la mer.

### 3.3.2 Scénario B1 : Passe à bassins à fentes verticales

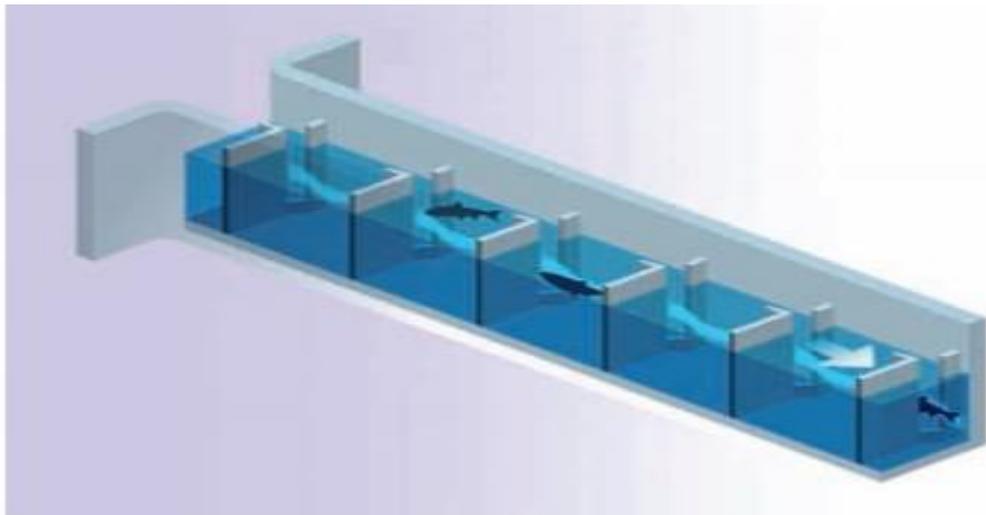
#### 3.3.2.1 Principe d'aménagement

La problématique des vitesses trop importantes dans les chenaux ne peut être solutionnée via la disposition de vannes dans les vannes. Afin de freiner les écoulements, nous proposons d'inclure un système de bassin à fente verticale dans les chenaux bétonnés. Les différences de charge de part et d'autre de l'ouvrage conditionnent directement le sens d'écoulement. Au passage de chaque bassin, une partie de l'énergie est dissipée, entraînant le ralentissement des écoulements. La plupart des espèces trouveront donc des vitesses dans les fentes verticales compatibles avec leurs capacités de nage. Une martellière sera spécifiquement installée à l'une des extrémités afin de clôturer le système en cas d'évènements exceptionnels.

Etant donné le fort ralentissement des écoulements dans les chenaux où le dispositif sera installé, ceux-ci ne participeront plus au ressuyage des étangs. Il conviendra donc de créer deux chenaux spécifiques, en parallèle de l'aménagement proposé par le SYMADREM, pour accueillir ce dispositif.

Ce dispositif permettra le franchissement des espèces au sein de la colonne d'eau en dissipant les énergies provoquées par la hauteur de chute. Le schéma suivant présente une coupe en travers de l'aménagement envisagé.

Figure 8 : Vue en coupe d'une passe à bassins à fente verticale (source AFB)



#### 3.3.2.2 Outil de dimensionnement utilisé

Le dimensionnement de la passe à bassins a été réalisé grâce à l'outil d'aide à la conception de dispositif de franchissement « Cassiopee », fourni par les services de l'AFB à l'occasion de la formation annuelle dispensée aux concepteurs de passes à poissons. Les ingénieurs de BRL Ingénierie en charge des études continuité écologique ont tous suivi cette formation et sont familiarisés avec l'utilisation de ce type d'outils.

Une copie de l'outil, comprenant les paramètres de conception et les différents résultats, pourra être fournie aux services de l'AFB.

### 3.3.2.3 Dimensionnement

Ce type de dispositif ne peut fonctionner que dans un sens de circulation (position des déflecteurs, pente au sein des bassins...), il faut donc dans notre cas doubler le dispositif puisque les écoulements peuvent se faire dans les deux sens (mer => étangs et étangs => mer).

Un travail d'itération a été réalisé grâce à l'outil d'aide au dimensionnement de la passe à bassin afin d'obtenir les meilleures caractéristiques géométriques. Seul le résultat de ce travail est présenté ci-après.

Les passes à bassins répondront aux caractéristiques géométriques suivantes :

- Nombre de passes :
  - 2 passes à bassins placées en parallèle :
    - Une fonctionnant dans le sens d'écoulement mer => étangs ;
    - L'autre fonctionnant dans le sens étang => mer.
- Caractéristiques géométriques générales :
  - Longueur de la passe : 8 m (largeur actuelle du Pertuis de la Fourcade) ;
  - Largeur de la passe : 1 m ;
  - 3 bassins successifs ;
- Caractéristiques géométriques des bassins :
  - Largeur : 1 m ;
  - Longueur : 2,5 m ;
  - Différence de hauteur entre deux radiers (fond de bassins) : 0.10 cm.
  - Puissance dissipée pour le marnage le plus important (0,41 mNGF en mer et -0.12 mNGF côté étangs) : 160 W/m<sup>3</sup>
- Caractéristiques géométriques des fentes :
  - Largeur de la fente : 0.15 m
  - Hauteur de la fente 0.8 m
  - Surface de l'orifice : 0.12 m<sup>2</sup>
  - Hauteur de la première côte déversante de la fente amont : -0.10 m NGF
  - Différence de hauteur entre deux côtes déversantes de fentes : 0.15 m

### 3.3.2.4 Schémas côtés des installations

Les schémas ci-dessous présentent en plans et en coupes la géométrie des ouvrages.

Figure 9 : Vue en plan des dispositifs de franchissement de type passes à bassins

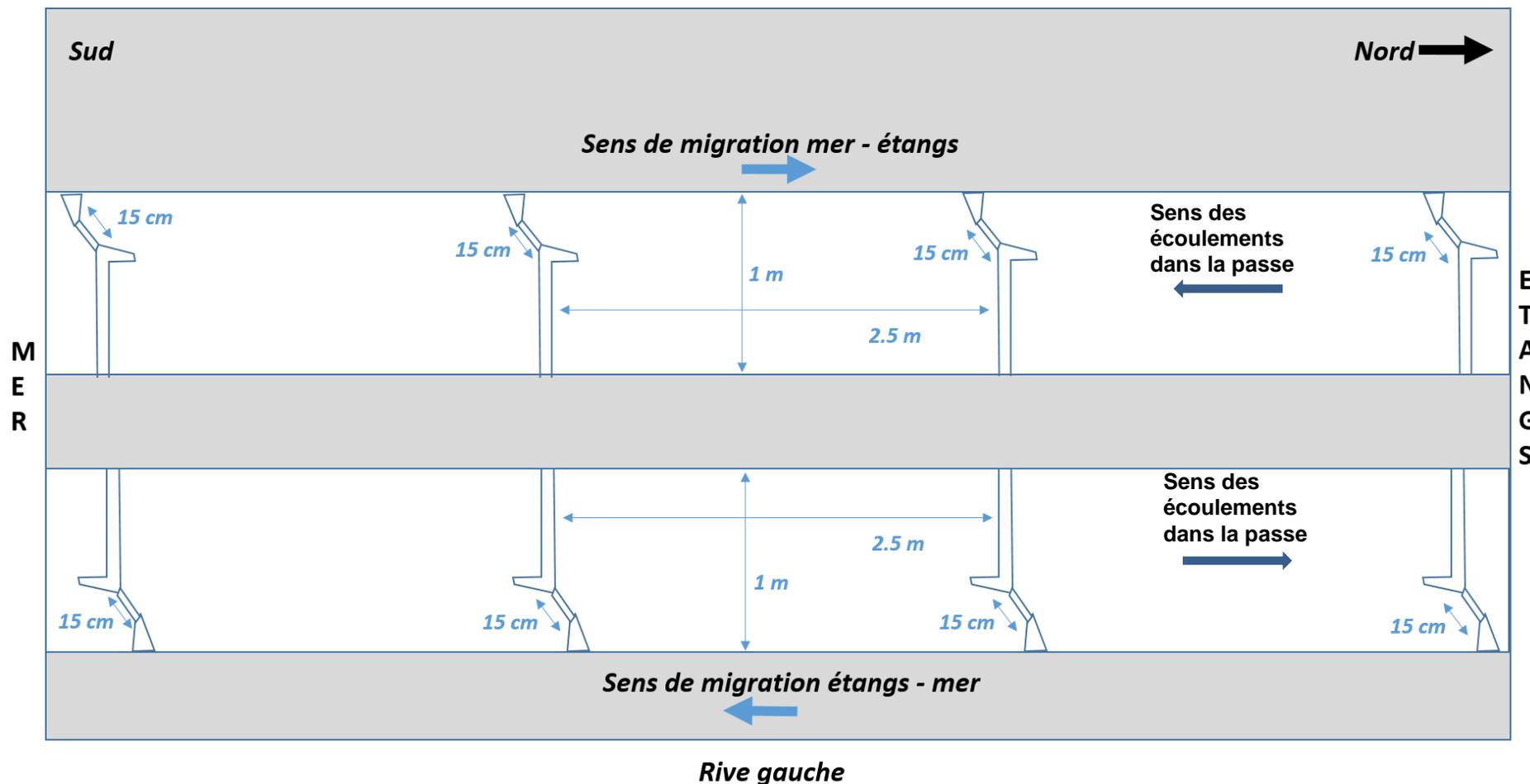
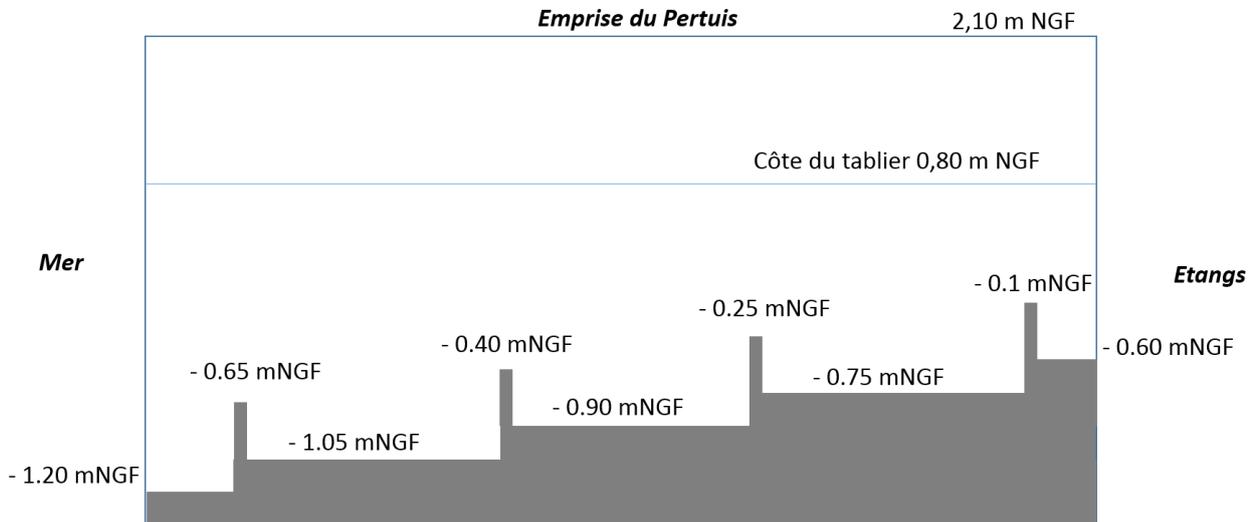
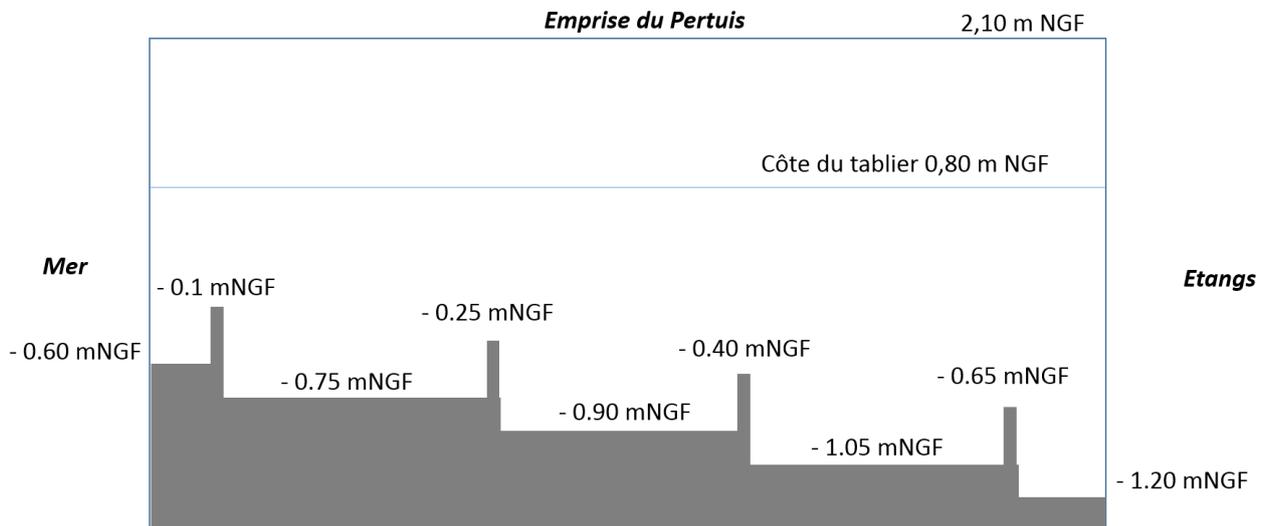


Figure 10 : Vue en coupe des dispositifs de franchissement de type passes à bassins

**Dispositif pour favoriser la migration dans le sens mer - étang**



**Dispositif pour favoriser la migration dans le sens étang - mer**



### 3.3.2.5 Résultats

Plusieurs tests ont été effectués pour vérifier l'efficacité du dispositif, les résultats pour les valeurs extrêmes de marnage sont présentés ci-après.

Des captures d'écran des résultats de l'outil d'aide au dimensionnement Cassiopée sont présentées en annexe 3.

#### 3.3.2.5.1 Résultats de l'outil Cassiopée pour la migration dans le sens étangs => mer pour les valeurs extrêmes (mer : 0.41 mNGF, étangs : -0.12 mNGF)

Localisation	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Vit débitante (m/s)	Chute (m)	Débit (m3/s)
Amont	0.41				
Bassin 1	0.26	147	0.26	0.144	0.225
Bassin 2	0.12	153	0.27	0.143	0.225
Bassin 3	-0.01	136	0.28	0.123	0.225
Aval	-0.12			0.119	0.225

Pour ces valeurs extrêmes, les vitesses débitantes sont proches des valeurs limitantes pour la nage des espèces cibles, mais ne provoquent pas de blocages. Pour des niveaux de marnages plus faibles, les vitesses débitantes diminuent et permettent le franchissement des espèces par la nage.

Rappel : pour la migration de sortie de lagune (avec des écoulements provenant de la mer vers les étangs), les individus disposent de vitesses de nage théoriques plus importantes (vitesse minimale retenue de 0,5 m/s). Les vitesses débitantes au sein de l'aménagement sont donc bien en dessous de la vitesse minimale retenue.

### 3.3.2.5.2 Résultats de l'outil Cassiopée pour la passe à bassins dans le sens mer => étangs pour les valeurs extrêmes (étangs : 0.28 mNGF, mer : 0 mNGF)

Localisation	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Vit débitante (m/s)	Chute (m)	Débit (m3/s)
Amont	0.28				
Bassin 1	0.19	67	0.20	0.086	0.158
Bassin 2	0.12	59	0.19	0.078	0.158
Bassin 3	0.05	44	0.18	0.061	0.158
Aval	0			0.054	0.158

Pour ces valeurs extrêmes, les vitesses débitantes sont en dessous des valeurs limitantes pour la nage des espèces cibles (0,30 m/s) et ne provoquent pas de blocages. Pour des niveaux de marnages plus faibles, les vitesses débitantes diminuent.

### 3.3.2.6 Principes de fonctionnement, d'entretien et de suivi

#### 3.3.2.6.1 Fonctionnement

##### FONCTIONNEMENT QUOTIDIEN

Le dispositif de franchissement a été réalisé de manière à assurer la migration piscicole dans les deux sens de circulation. Les passes sont toutefois spécifiques à un sens de migration et disposeront de vannes en côté étangs pouvant fermer le dispositif en fonction du sens de circulation des écoulements.

Pour les niveaux d'eau importants (supérieurs à 0.60 mNGF), les deux passes seront fermées afin de limiter l'usure prématurée des matériaux et un ensablement des bassins.

Le fonctionnement est ainsi synthétisé ci-dessous :

- Niveau marin supérieur à 0.60 mNGF : Les deux passes sont fermées ;
- Différentiel entre les altitudes des deux plans d'eau supérieur à 10 cm, avec entrée des eaux de mer : Ouverture de la passe pour la migration dans le sens étangs mer, fermeture de la passe pour la migration dans le sens mer étangs.
- Différentiel entre les altitudes des deux plans d'eau variant entre 0 et 10 cm : Ouverture des deux passes pour favoriser les passages.
- Différentiel entre les altitudes des deux plans d'eau supérieur à 10 cm, avec vidange des étangs : Ouverture de la passe pour la migration dans le sens mer étangs, fermeture de la passe pour la migration dans le sens étangs mer.
- Niveau des étangs supérieur à 0.60 mNGF : les deux passes sont fermées.

### FONCTIONNEMENT EN PERIODE DE CRISE

Nous appelons « période de crises » les phases où les niveaux d'eau de part et d'autre du Pertuis atteignent des extrêmes qui ne sont pas gérés par l'aménagement (Heau supérieure à 0.55 mNGF).

Pour ces niveaux, les dispositifs prévus ne sont plus fonctionnels. Ainsi, et afin de limiter les dégradations qui pourraient apparaître au sein de la passe, il est prévu de stopper les écoulements via la fermeture de deux vannes, placée côté étangs en entrée des passes à bassins.

Le fonctionnement est ainsi synthétisé ci-dessous :

- Niveau mer ou étangs supérieur à 0.60 mNGF : fermeture des dispositifs de franchissement ;
- Niveau mer ou étangs inférieur à 0.60mNGF : une à deux passes ouvertes, en cohérence avec les principes de fonctionnement quotidien décrits ci-dessus.

Aucune fermeture pour dépassement d'un niveau bas n'est envisagée à ce stade, la CEDE pourra toutefois définir des règles de gestion pour les épisodes de crises.

#### 3.3.2.6.2 Suivi et entretien de l'aménagement

### MATERIAUX UTILISES ET DUREE DE VIE

Le béton utilisé est pour la structure du radier et pour la réalisation des macro-plots correspond à du béton cyclopéen. Ce béton dispose d'une durée de vie variant de 50 à 100 ans en fonction des conditions auxquelles il est soumis. Dans notre cas, avec une fermeture prévue du dispositif en période de crue et absence de matériaux grossiers charriés, nous pouvons rester sur une estimation haute de 100 ans.

### ENTRETIEN A REALISER

Trois degrés d'entretien sont proposés :

- Degré 1 : visite de routine : 2 fois par mois, contrôle de la passe et suppression des embâcles éventuels (1 personne, durée 30 min) ;
- Degré 2 : visite annuelle : Inspection en eau (1fois / an) en période de basses eaux (1 personne, durée ½ journée) ;
- Degré 3 : Visite détaillée : Vérification de l'ouvrage et remise en état si besoin (1 fois tous les 2 à 3 ans, plusieurs personnes, durée 2 à 5 jours).

L'entretien visera à :

- Enlever les embâcles susceptibles de gêner les écoulements au sein de la passe ;
- Prévenir le développement de dépôts et éventuellement de végétaux pouvant nuire à l'ouverture/fermeture des vannes en entrée de passe et des écoulements au sein des passages inter-blocs ;
- Vérifier l'état général de l'ouvrage pour prévenir les phénomènes de sous écoulement, altération des bétons, de la structure de l'ouvrage.

Les coûts d'entretien sont dépendants du prestataire qui les réalisera.

### 3.3.2.7 Conclusion concernant le scénario B1

Le dimensionnement réalisé assure une continuité hydraulique et une dissipation des énergies au sein du dispositif permettant de diminuer les vitesses débitantes au droit des fentes du dispositif.

Pour l'ensemble des niveaux de marnages, et dans les deux sens de circulation, les passes dimensionnées engendrent des vitesses débitantes inférieures à 30 cm/s, vitesses maximales de nage des espèces cibles.

Ce dispositif est donc fonctionnel pour favoriser la migration des espèces de part et d'autre du Pertuis de la Fourcade.

En revanche, **ce dispositif ne permet pas la reptation de l'anguille**, l'obligeant ainsi à progresser exclusivement par la nage au sein du dispositif. Des retards et une sélection des individus peuvent être attendus à ce stade pour cette espèce, la vitesse de 30cm/s étant la vitesse de nage maximale des civelles.

Pour atténuer cette incidence, il est possible d'appliquer une rugosité de fond au sein des bassins, permettant aux civelles de se fixer pour se reposer avant de poursuivre la progression dans le dispositif.

**Ce dispositif est donc fonctionnel pour les conditions de franchissement visées mais est susceptible d'engendrer quelques retards sur la montaison des civelles, qui devront impérativement nager pour franchir l'obstacle.**

### 3.3.2.8 Estimation financière

#### Aménagement du pertuis de la Fourcade

Prix généraux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Installations et replis de chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000,00 €
Gestion des eaux durant le chantier (pompage, etc...)	Ft	1	5 000,00 €	5 000,00 €
Sujétions environnementales durant le chantier (filtre MES, prélèvements qualité des eaux, etc...)	Ft	1	2 000,00 €	2 000,00 €
				<b>22 000 €</b>

#### Terrassements

Amenée et repli du matériel nécessaire au battage des palplanches	Ft	1	20 000,00 €	20 000,00 €
Fourniture de palplanches métalliques PU18	kg	33030	1,00 €	33 030,00 €
Mise en fiche de palplanches PU18	ml	50	500,00 €	25 000,00 €
Battage de palplanches PU18	m <sup>2</sup>	200	12,00 €	2 400,00 €
Recépage de palplanches PU18	ml	12,8	200,00 €	2 560,00 €
Déblais	m <sup>3</sup>	380	7,00 €	2 660,00 €
Evacuation des matériaux de déblais	m <sup>3</sup>	228	15,00 €	3 420,00 €
Remblais	m <sup>3</sup>	152	12,00 €	1 824,00 €
				<b>90 894 €</b>

#### Réalisation de la passe à poissons

Réalisation du radier	u	1	10 760,00 €	10 760,00 €
<i>Béton de propreté</i>	m <sup>3</sup>	4	150,00 €	
<i>BétonC30/37</i>	m <sup>3</sup>	20,8	290,00 €	
<i>Coffrage plan</i>	m <sup>2</sup>	12,8	95,00 €	
<i>Acier</i>	kg	1456	2,00 €	
Réalisation des voiles latéraux	u	3	5 218,00 €	15 654,00 €
<i>BétonC30/37</i>	m <sup>3</sup>	4,8	290,00 €	
<i>Coffrage plan</i>	m <sup>2</sup>	33,2	95,00 €	
<i>Acier</i>	kg	336	2,00 €	
Réalisation des parois verticales des bassins	u	8	311,00 €	2 488,00 €
<i>BétonC30/37</i>	m <sup>3</sup>	0,273	290,00 €	
<i>Coffrage plan</i>	m <sup>2</sup>	2,038	95,00 €	
<i>Acier</i>	kg	19,11	2,00 €	
Tapis-brosse pour fonds de bassin	m <sup>2</sup>	16	200,00 €	3 200,00 €
Colle pour les tapis-brosses	m <sup>2</sup>	16	35,00 €	560,00 €
				<b>32 662 €</b>

#### Vantellerie et automatisation

Vanne motorisée inox 1m de large	u	2	12 000,00 €	24 000,00 €
Coffret de commande	Ft	1	2 500,00 €	2 500,00 €
Télégestion	Ft	1	2 000,00 €	2 000,00 €
				<b>28 500 €</b>

#### Passerelle

Réalisation du plancher du radier	u	1	8 345,00 €	8 345,00 €
<i>BétonC30/37</i>	m <sup>3</sup>	12	290,00 €	
<i>Coffrage plan</i>	m <sup>2</sup>	31	95,00 €	
<i>Acier</i>	kg	960	2,00 €	
Garde-corps	ml	20	200,00 €	4 000,00 €
Bi-couche	m <sup>2</sup>	80	20,00 €	1 600,00 €
				<b>13 945 €</b>

<b>Total</b>				<b>188 001 €</b>
		<i>Aléa</i>	30%	56 400 €
<b>Total</b>				<b>244 401 €</b>

### 3.3.3 Scénario B2 : Passe à macrorugosités

#### 3.3.3.1 Principe d'aménagement

La passe à macrorugosités sera positionnée en rive ouest, à proximité des dalots de la station de l'éolienne afin de bénéficier de l'attrait correspondant. Ce type d'ouvrage permet de rétablir une continuité hydraulique et écologique durant les périodes de migration des espèces cibles.

Ce type d'ouvrage permet de rétablir un franchissement de l'ouvrage en continu tout en étant spatialement indépendant de l'ouvrage actuel ou du projet porté par le SYMADREM.

La gestion de la passe sera par la même aussi indépendante.

Afin de garantir des conditions hydrodynamiques compatibles avec les capacités de nage des espèces cibles, une succession de macrorugosités régulièrement réparties et une rugosité de fond sont disposées au sein du bief. Les écoulements au sein du dispositif seront créés par les différences de cotes entre les étangs et la mer.

La photographie ci-dessous présente un aménagement de ce type réalisé au droit du seuil de Canet-en-Roussillon, sur la Têt, dans les Pyrénées Orientales.

Figure 11 : Passe à macrorugosités au droit du seuil de Canet en Roussillon, Dimensionnement réalisé par BRL Ingénierie, Pyrénées Orientales, CG66.



#### 3.3.3.2 Dimensionnement

Le dimensionnement de la passe à poissons a été réalisé grâce à l'utilisation de l'outil d'aide à la conception de passes à macrorugosités, fourni par les services de l'AFB à l'occasion de la formation annuelle dispensée aux concepteurs de passes à poissons. Cet outil a été adapté aux contraintes du secteur (deux sens de circulation dans la passe, fond plat, écoulements et vitesses engendrées par le différentiel entre les deux niveaux d'eau...) à travers la création d'un outil spécifique s'inspirant des formules mathématiques présentes au sein de l'outil initial de l'AFB.

Les services de l'AFB et du pôle éco-hydraulique de l'AFB ont eu accès à cet outil, et ont participé à son optimisation et à sa validation.

Le travail effectué depuis le précédent COPIL ayant conduit à la version finale de la passe à macrorugosités qui sera présentée ci-après est détaillé ci-après :

- Réalisation d'un outil spécifique pour intégrer l'ensemble des niveaux de marnage de 2006 à 2016 :
  - Cet outil a permis de vérifier les fréquences de fonctionnement de la passe à macrorugosités initialement dimensionnée. Les fréquences annoncées dans les précédents documents, avoisinant 94 à 96 % ont pu être vérifiées.
  - Trois autres scénarii ont été dimensionnés (présentant des modifications géométriques mineures) et proposés aux services de l'AFB
- Des réunions spécifiques en interne avec les ingénieurs en charge de l'AVP ont permis de préciser la géométrie de la passe :
  - Les systèmes de vannes et de batardage (pour l'entretien) doivent être intégrés de part et d'autre de la passe au sein de prolongement béton spécifique.
  - La longueur de la passe augmente de 8 m à 10 m ;
  - Cela engendre une diminution des pentes au sein du dispositif et une amélioration de la fonctionnalité de la passe
- Des échanges avec le pôle éco-hydraulique de l'AFB ont aussi entraîné des modifications engendrant une amélioration de la fréquence de fonctionnalité du dispositif :
  - Abaissement du fond de la passe de -0.25 mNGF à -0.40 mNGF pour améliorer les conditions de franchissement pour les espèces circulant au fond.
  - Diminution de la concentration en blocs béton au sein du dispositif pour limiter les risques d'embâcle et améliorer les conditions d'entretien.
  - Validation du passage d'une longueur de 8 à 10 m
  - Validation de l'outil réalisé spécifiquement pour ce dimensionnement.

La prise en considération de l'ensemble des éléments listés ci-dessus a permis de réaliser le dimensionnement final de la passe qui sera réalisée au droit du Pertuis de la Fourcade. Seuls les caractéristiques géométriques finales sont présentées dans les chapitres suivants.

Pour ce dimensionnement, il est prévu de réaliser deux dispositifs de franchissement, l'un présentant un devers latéral avec une rugosité adaptée, visant exclusivement le passage de l'anguille par reptation, le second à fond plat, contenant les macro-plots, pour le franchissement de toutes les espèces par la nage.

Le dispositif spécifique pour l'anguille reste inchangé par rapport à la version présentée lors du COPIL précédent. Il s'agit d'un passage spécifique, horizontal sur son profil en long et incliné sur son profil en travers. Ce dernier sera aménagé grâce à la mise en place de tapis picot en élastomère, spécifiquement adaptés à la reptation des civelles. Le plan incliné permet d'offrir une zone de franchissement (interface humide) pour les anguilles et civelles pour l'ensemble des niveaux de marnage envisagés.

La différenciation entre les deux dispositifs permet d'accepter des vitesses débitantes plus importantes au sein de la passe à macrorugosités, améliorant son attractivité et limitant son emprise, sans impacter l'anguille qui pourra franchir l'obstacle via la passe qui lui est spécifiquement adaptée.

### 3.3.3.2.1 Caractéristiques géométriques de la passe à anguilles

La passe à anguilles répondra aux caractéristiques géométriques suivantes :

- Caractéristiques géométriques générales :
  - Largeur de la passe : 3 m.
  - Pente longitudinale de la rampe : 0 % (pas de pente) ;

- Différence de niveau entre les radiers amont et aval de la rampe : 0 cm
- Longueur totale du dispositif : 10 m (correspondant à la largeur du Pertuis)
- Côtes de l'entrée hydraulique du dispositif de franchissement (identique de part et d'autre du Pertuis) :
  - Côte du point bas (entrée hydraulique) : - 0.25 m NGF
  - Côte du point haut de la passe (entrée hydraulique) : 0.50 m NGF
  - Devers latéral : 25 %
- Type de rugosité de fond :
  - Tapis picots de montaison pour passe à anguille en élastomère.
  - Hauteur des picots : 25 mm, adapté à la montaison de la civelle, mais convenant aussi à des stades de développement plus avancés.
  - Une résistance à l'abrasion importante (sable, bois, graviers...) ;
  - Une résistance aux UV et à la lumière ;
  - Une mise en œuvre facile, avec possibilité de maintenance.

Ce dispositif, caractérisé par un devers latéral, assurera une voie de passage pour la reptation de l'anguille au niveau de la frange humide pour l'ensemble des niveaux de marnage envisagés et dans les deux sens de fonctionnement.

### 3.3.3.2 Caractéristiques géométriques de la passe à macrorugosités

La passe à macrorugosités répondra aux caractéristiques géométriques suivantes :

- Caractéristiques géométriques générales :
  - Largeur de la passe : 3 m
  - Pente longitudinale de la rampe : 0 % (pas de pente)
  - Différence de niveau entre les radiers amont et aval de la rampe : 0 cm ;
  - Longueur totale du dispositif : 10 m
- Côtes de l'entrée hydraulique du dispositif de franchissement :
  - Côte du radier (entrée hydraulique) : - 0.40 m NGF
  - Devers latéral : aucun devers, passe à fond plat.
- Dimensions des blocs :
  - Type de blocs : blocs à face arrondies
  - Diamètre des blocs : 0.30 m
  - Hauteur émergente des blocs : 0.85 m
  - Concentration des blocs : 16.0 %
  - Espacement latéral d'axe à axe : 0.75 m
  - Espacement longitudinal d'axe à axe : 0.75 m
- Rugosité de fond de passe avec un support adapté pour assurer la reptation des anguilles et civelles composée de rugosités de fond (blocs 50 – 100 mm enchâssés dans le béton),

Les résultats de l'outil de calcul adapté de l'outil de l'AFB utilisé pour cette passe à macrorugosités sont présentés dans le chapitre spécifique ci-après.

### 3.3.3.3 Schémas côtés des aménagements

Les schémas ci-dessous présentent en plan et en coupe les aménagements envisagés.

Figure 12 : Schémas de la passe à macrorugosités proposée au droit du Pertuis de la Fourcade

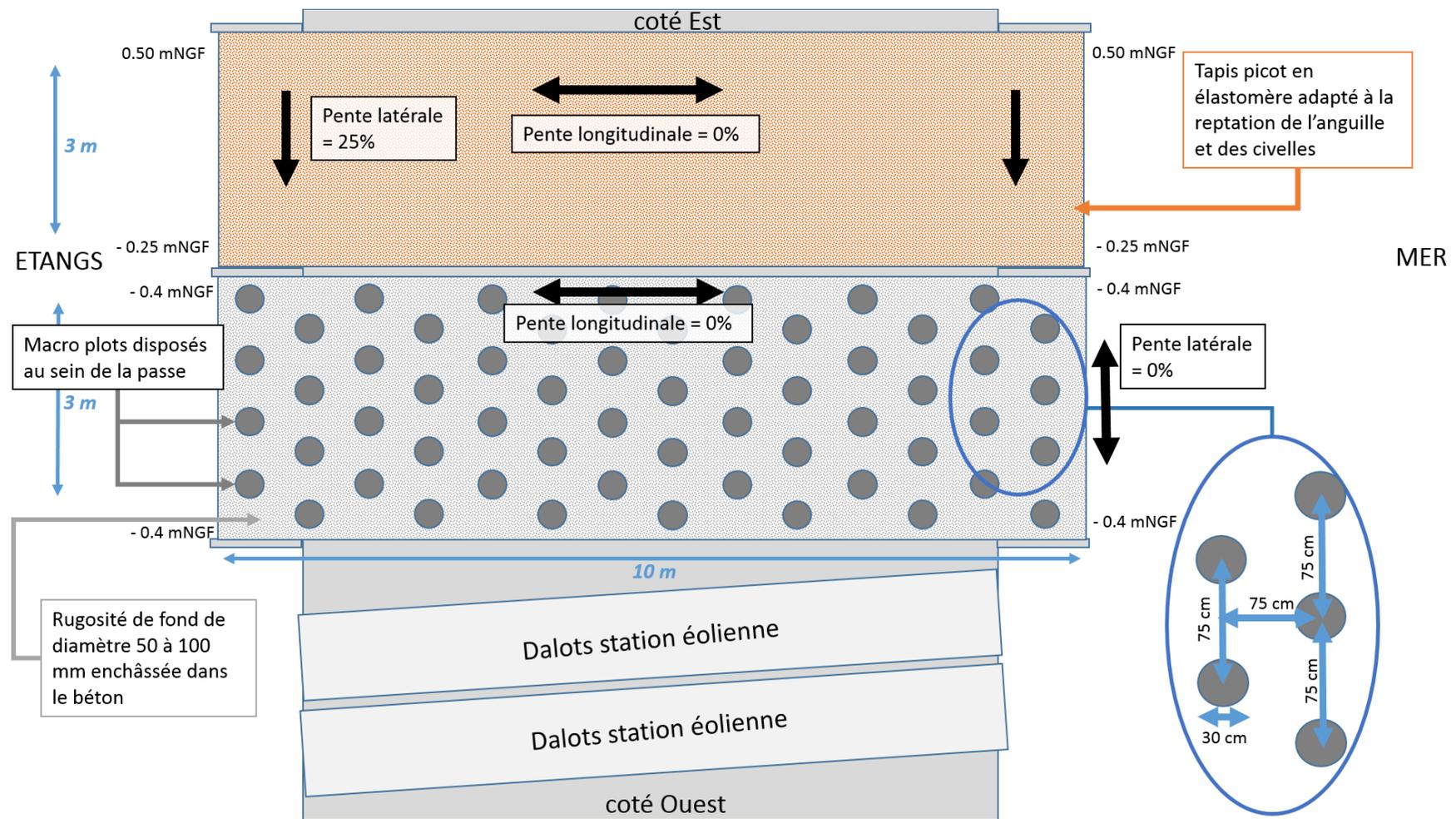
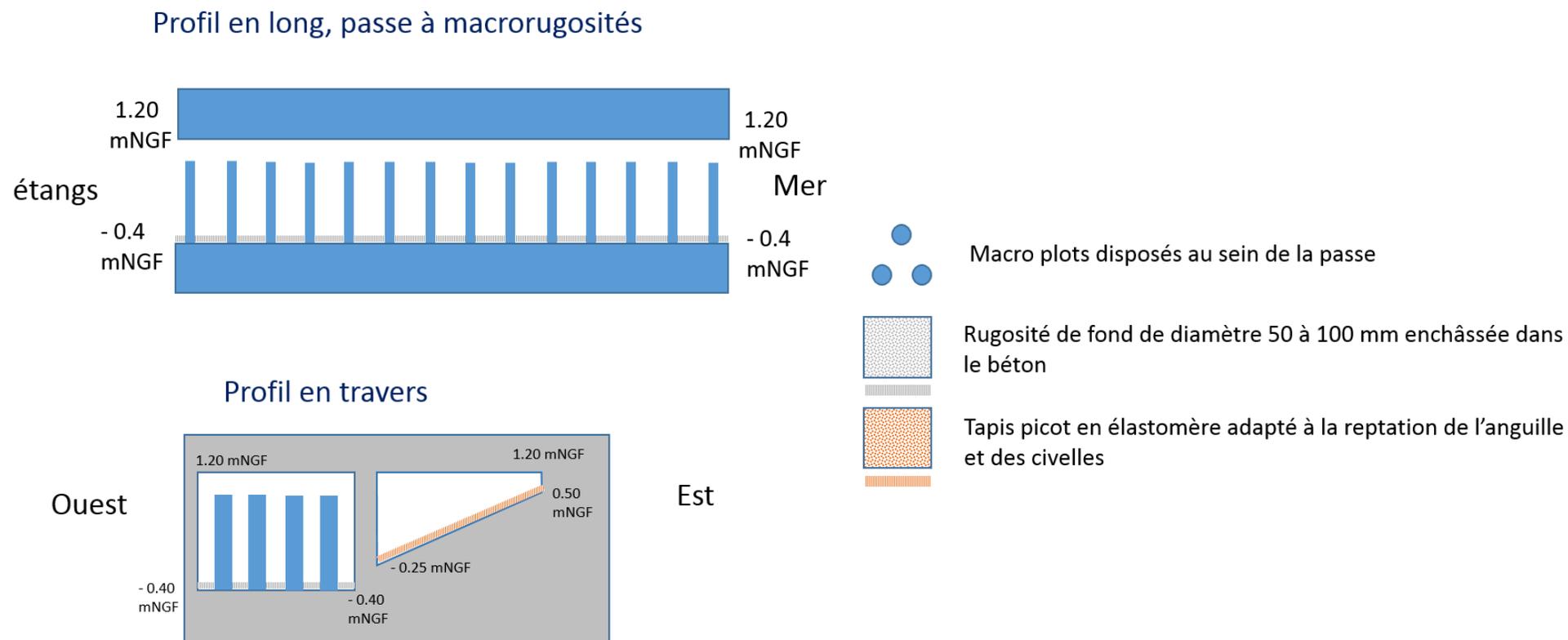


Figure 13 : Schéma de la passe à macrorugosités et de la passe à anguilles proposée au droit du Pertuis de la Fourcade



### 3.3.3.4 Résultats

L'efficacité du dispositif a été vérifiée pour l'ensemble des niveaux de marnages ayant été enregistrés entre 2006 et 2016.

Les données de niveau d'eau des étangs et de la mer, fournies par la Tour du Valat et par la SNPN Réserve Naturelle de Camargue ont permis d'affiner les résultats présentés dans les précédentes versions de l'étude de faisabilité d'une passe à macro-rugosités au droit du pertuis de la Fourcade.

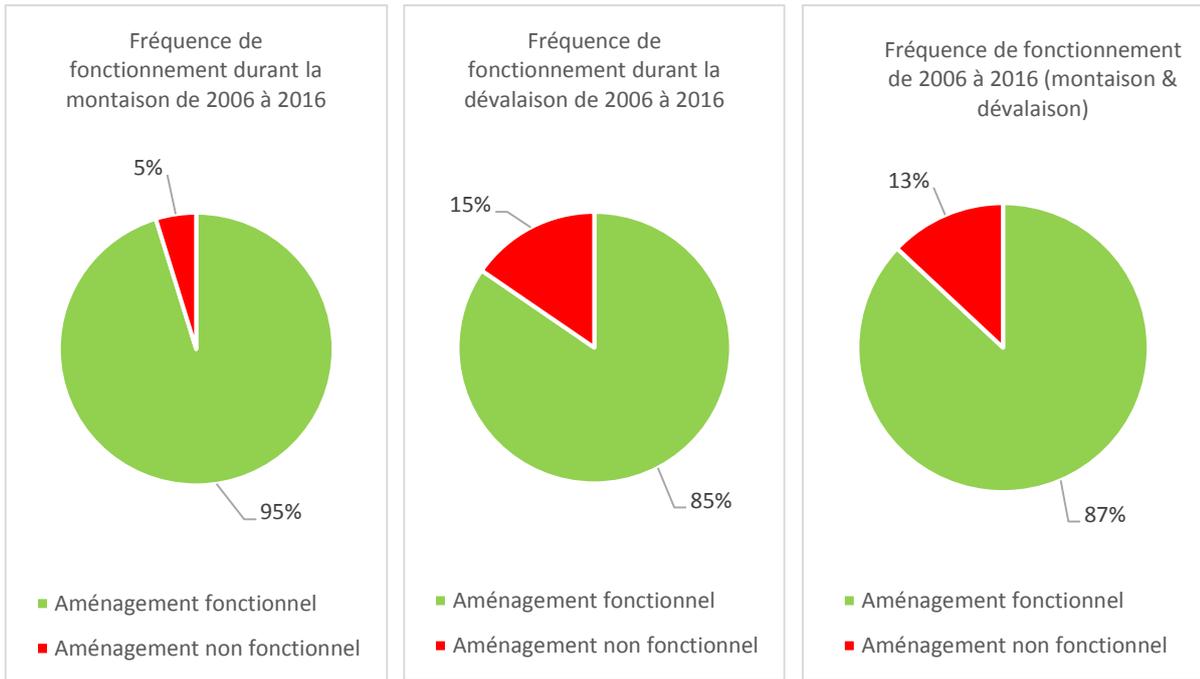
Les résultats suivants présentent la fonctionnalité de l'aménagement envisagé pour les différents niveaux d'eau enregistrés depuis 2006. Les résultats sont présentés pour une année complète, et pour une période de migration particulière ciblée entre début janvier et fin mai, correspondant à la période de migration des principales espèces visées.

Enfin, les résultats sont présentés dans les deux sens de migration. La montaison correspond ici au sens de migration mer => étang, inversement, la dévalaison correspond au sens de migration étang => mer.

Tableau 5 : Fréquence de fonctionnement de la passe à macrorugosités sur une année entière

	fréquence montaison	23%	fréquence dévalaison	77%		
	MONTAISON		DEVALAISON		Tous sens	
	Passe fonctionnelle	Passe non fonctionnelle	Passe fonctionnelle	Passe non fonctionnelle	Passe fonctionnelle	Passe non fonctionnelle
Fréquence pluriannuelle 2006-2016	95%	5%	85%	15%	87%	13%
Fréquence année 2006	90%	10%	82%	18%	84%	16%
Fréquence année 2007	94%	6%	91%	9%	92%	8%
Fréquence année 2008	93%	7%	81%	19%	82%	18%
Fréquence année 2009	99%	1%	82%	18%	87%	13%
Fréquence année 2010	99%	1%	80%	20%	85%	15%
Fréquence année 2011	99%	1%	92%	8%	93%	7%
Fréquence année 2012	92%	8%	76%	24%	77%	23%
Fréquence année 2013	94%	6%	80%	20%	82%	18%
Fréquence année 2014	94%	6%	84%	16%	86%	14%
Fréquence année 2015	93%	7%	95%	5%	94%	6%
Fréquence année 2016	99%	1%	93%	7%	94%	6%

Figure 14 : Fréquence pluriannuelle de fonctionnement de la passe à macrorugosités (2006-2016)



La passe présente des fréquences de fonctionnement très satisfaisantes durant la montaison de 2006 à 2016 avec un fonctionnement durant 95% d'une année moyenne.

La fréquence de fonctionnement durant la dévalaison et durant une année entière (la dévalaison représentant 77% des écoulements annuels) est plus faible et avoisine 85%.

Il est important de garder à l'esprit que la migration passive est aussi susceptible de permettre la circulation de nombreux individus, cela n'est pas quantifié ici, puisque l'outil ne s'intéresse qu'à la migration active.

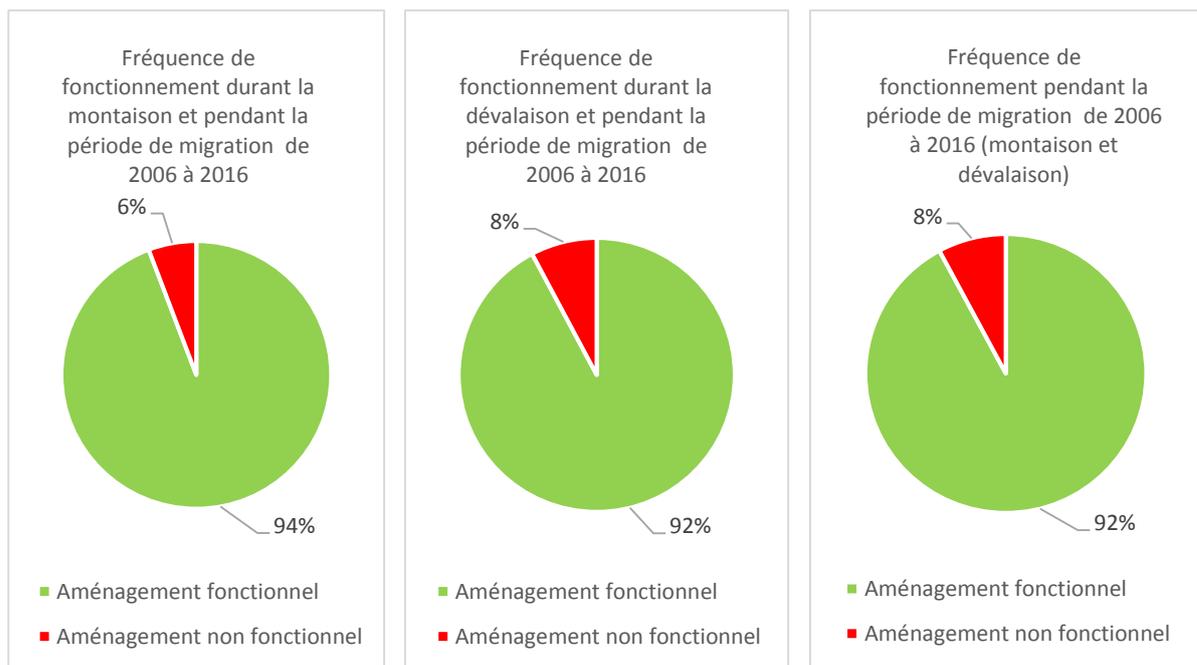
Afin d'être complète, l'analyse a été réalisée sur la période de migration des principales espèces ciblées pour le franchissement du pertuis de la Fourcade, à savoir de début janvier à fin mai. Les résultats sont présentés ci-après.

Tableau 6 : Fréquence de fonctionnement de la passe durant la période de migration de janvier à fin mai

	fréquence montaison		fréquence dévalaison		Tous sens	
	23%		77%			
	MONTAISON		DEVALAISON			
	Passe fonctionnelle	Passe non fonctionnelle	Passe fonctionnelle	Passe non fonctionnelle	Passe fonctionnelle	Passe non fonctionnelle
Fréquence période migration 2006	88%	12%	99%	1%	92%	8%
Fréquence période migration 2007	94%	6%	96%	4%	95%	5%
Fréquence période migration 2008	90%	10%	80%	20%	81%	19%

Fréquence période migration 2009	99%	1%	100%	0%	99%	1%
Fréquence période migration 2010	99%	1%	94%	6%	96%	4%
Fréquence période migration 2011	98%	2%	95%	5%	96%	4%
Fréquence période migration 2012	91%	9%	85%	15%	86%	14%
Fréquence période migration 2013	94%	6%	82%	18%	85%	15%
Fréquence période migration 2014	96%	4%	92%	8%	93%	7%
Fréquence période migration 2015	89%	11%	99%	1%	94%	6%
Fréquence période migration 2016	98%	2%	93%	7%	95%	5%
Moyenne période de migration	94%	6%	92%	8%	92%	8%

Figure 15 : Fréquence pluriannuelle de fonctionnement de la passe à macrorugosités durant la période de migration de janvier à mai (2006-2016)



L'analyse du fonctionnement de la passe durant la période de migration des espèces informe que celle-ci est fonctionnelle 94% du temps durant la montaison et 92 % durant la dévalaison et pour les deux périodes.

L'observation des niveaux de marnage, qui fluctuent de manière très importante, notamment côté mer, permet de préciser que les périodes de non fonctionnement de la passe sont très isolées dans le temps, allant d'une heure consécutive à 8h en moyenne. Cela signifie que la passe ne reste que très peu de temps non fonctionnelle sur une période de 24h à 48h, contrairement à une passe en rivière, où les débits peuvent devenir limitants sur plusieurs mois (généralement hors période cible de migration).

A titre informatif, il est intéressant de noter que la période la plus longue de non fonctionnement du dispositif sur l'ensemble des données acquises (2006-2016) est de 6,5 jours consécutifs, durant le mois d'octobre 2012 (hors période de migration).

Le tableau récapitulatif suivant synthétise les résultats obtenus pour le dimensionnement effectué.

Tableau 7 : Synthèse concernant les fréquences de bon fonctionnement de la passe dimensionnée

Fréquence de fonctionnement de la passe	Sur une année moyenne complète	Durant la période de migration
Durant la période de vidange des étangs (sens de migration mer - étangs, appelé montaison dans l'analyse précédente)	95 %	94 %
Durant la période d'entrée d'eaux de mer (sens de migration étangs - mer, appelé dévalaison dans l'analyse précédente)	85 %	92 %
Dans les deux sens de migration	87 %	92 %

La passe ainsi dimensionnée assure des possibilités de franchissement pour les espèces et stades de développement visés 95% du temps sur une année complète, en cohérence avec les préconisations des services de l'AFB (80 à 90% du temps).

### 3.3.3.5 Modification de la continuité hydraulique suite à la mise en place de l'aménagement

#### 3.3.3.5.1 Principe

L'objectif de cet exercice est d'identifier les modifications en termes de bilan hydraulique résultant de la mise en place de la passe à poissons. Il est en effet important de s'assurer que la restauration d'une continuité hydraulique constante n'engendre pas de phénomènes d'intrusions marines trop importantes.

#### 3.3.3.5.2 Etat actuel

Les volumes d'eau entrant actuellement par les vannes du pertuis de la Fourcade ont été calculés à partir des données disponibles de 2006 à 2015 (ouvertures de vannes et différentiel entre les niveaux d'eau étang et mer).

Le tableau suivant présente ces résultats.

Année considérée	volume entrant m <sup>3</sup>	volume sortant m <sup>3</sup>	Bilan entrée sortie m <sup>3</sup>
2006	- 27 813 766.00	18 532 253.00	- 9 281 513.00
2007	- 31 072 102.00	3 455 343.00	- 27 616 759.00
2008	- 16 025 534.00	635 914.00	-15 389 620.00
2009	- 8 420 071.00	33 379 351.00	24 959 280.00
2010	- 15 336 745.00	21 269 768.00	5 933 023.00
2011	- 18 595 800.00	14 701 793.00	- 3 894 007.00
2012	- 15 388 012.00	7 709 444.00	-7 678 568.00
2013	- 9 841 378.00	2 054 409.00	-7 786 969.00
2014	- 16 667 256.00	17 984 080.00	1 316 824.00
2015	- 19 538 252.00	30 025 170.00	10 486 918.00
moyenne	- 17 869 891.60	14 974 752.50	-2 895 139.10

**NB : Les volumes négatifs correspondent à une entrée des eaux dans le système lagunaire via le Pertuis de la Fourcade, des volumes positifs correspondent à une sortie des eaux.**

Les résultats sont assez variables d'une année à l'autre et dépendent principalement des manœuvres réalisées au niveau des vannes du Pertuis, mais aussi des événements météorologiques. De la même manière, les bilans hydrauliques annuels varient entre + 25 Mm<sup>3</sup> et – 28 Mm<sup>3</sup>/an.

### 3.3.3.5.3 Etat projeté

L'état projeté se focalise sur les volumes d'eau entrant et sortant exclusivement par la passe à poissons. Ces volumes correspondent au fonctionnement actuel de 3 vannes (pour des niveaux faibles) à 4,5 vannes pour des épisodes de forts coups de mer ou de gonflement des étangs (crue).

Le tableau suivant présente les volumes entrant et sortant via la passe à poissons pour une année moyenne (moyenne effectuée sur la période 2006-2015 à partir des nouvelles données de marnage au pas de temps de la ½ heure, fournis par la Tour du Valat et le SNPN Reserve Naturelle de Camargue).

Etat du Pertuis considéré	volume entrant m3	volume sortant m3	Bilan entrée sortie m3
Etat projeté sur une année moyenne (avec passe à poissons)	- 22 994 567.36	4 726 077.16	- 18 268 490.19
Etat actuel (moyenne des résultats obtenus entre 2006 et 2015)	- 17 869 891.60	14 974 752.50	- 2 895 139.10

Il est intéressant de noter que la mise en place de la passe à poissons **n'est pas de nature à modifier fortement les volumes d'eau entrants au sein du système lagunaire** (23 Mm3 en état projeté contre 18Mm3 en état actuel moyen).

Les volumes sortants sont en revanche inférieurs aux moyennes actuelles. Cela s'explique par le fonctionnement actuel des vannes (gestion manuelle) qui permet d'ouvrir plusieurs vannes simultanément, alors que l'état projeté ci-dessus se focalise uniquement sur les volumes transitant via la passe à poissons.

Le bilan entrée sortie est donc biaisé à ce niveau par la non prise en compte des volumes supplémentaires susceptibles de transiter via l'ouvertures de vannes en parallèle de la passe à poissons en période de vidange des étangs.

**L'aménagement projeté n'est pas de nature à créer une modification importante des échanges hydrauliques entre la mer et le système lagunaire, notamment en termes de volumes entrant dans le système.**

### 3.3.3.6 Principes de fonctionnement, d'entretien et de suivi

#### 3.3.3.6.1 Fonctionnement

##### FONCTIONNEMENT QUOTIDIEN

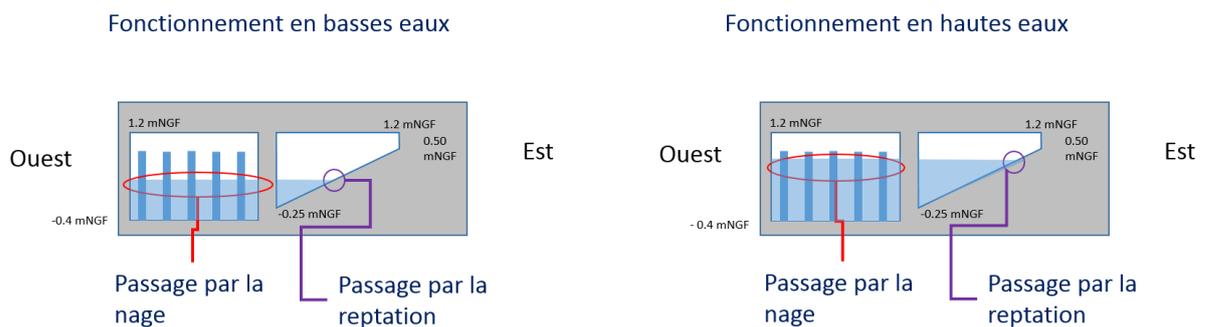
Le dispositif de franchissement a été réalisé de manière à assurer la migration piscicole dans les deux sens de circulation. Ainsi, sauf conditions météorologiques exceptionnelles, la passe restera idéalement ouverte pour des niveaux d'eau inférieurs à 0,60 mNGF.

Cette dernière est dimensionnée pour les plages de fonctionnement ciblées chapitre 3.3.1.4 côtes des plans d'eau amont et aval et niveaux de marnage ciblés, à savoir 0,43 mNGF pour le niveau le plus important.

La passe restera toutefois ouverte jusqu'à 0,60 mNGF pour favoriser la migration passive, alors que le dispositif de franchissement par migration active commencera à être limitant (surverse par-dessus les plots et perturbations hydrauliques par création de remous).

Le schéma ci-dessous présente le fonctionnement de la passe, et les zones praticables pour les espèces ciblées en basses et hautes eaux.

Figure 16 : Fonctionnement quotidien du dispositif



##### FONCTIONNEMENT EN PERIODE DE CRISE

Nous appelons « période de crises » les phases où les niveaux d'eau de part et d'autre du Pertuis atteignent des extrêmes qui ne sont pas gérés par l'aménagement (Heau supérieure à 0.55 mNGF).

Pour ces niveaux, les dispositifs prévus ne sont plus fonctionnels (rampe à anguille noyée et macroplots submergés). Ainsi, et afin de limiter les dégradations qui pourraient apparaître au sein de la passe et sur les dispositifs de reptation spécifiques pour l'anguille, engendrés par des vitesses trop importantes et un charriage possible de matériaux, il est prévu de stopper les écoulements via la fermeture de deux vannes de 3m de large, placées côté étangs en entrée de la passe à macrorugosités et de la passe à anguilles.

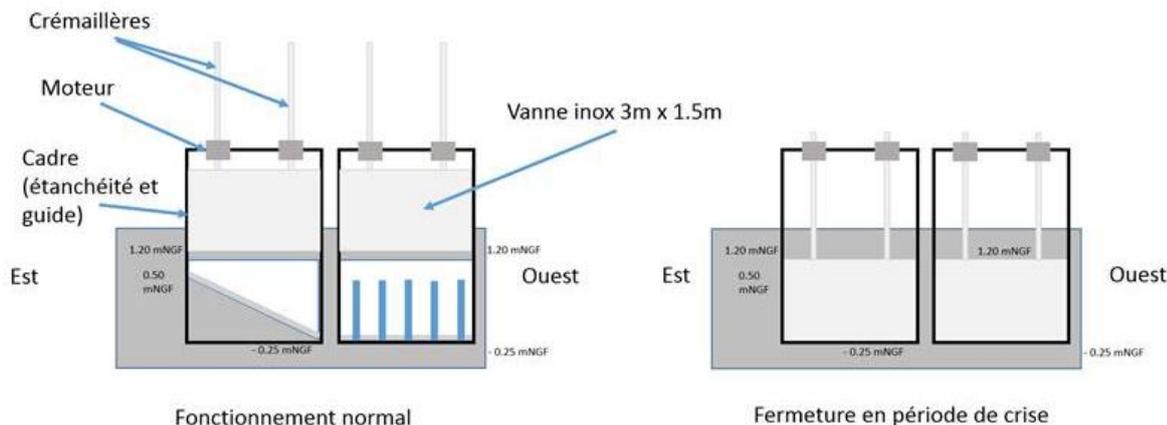
Le fonctionnement est ainsi synthétisé ci-dessous :

- Niveau mer ou étangs supérieur à 0.60 mNGF : fermeture des dispositifs de franchissement ;
- Niveau mer ou étangs inférieur à 0.60mNGF : passes ouvertes, fonctionnement normal.

Aucune fermeture pour dépassement d'un niveau bas n'est envisagée à ce stade, la CEDE pourra toutefois définir des règles de gestion pour les épisodes de crises.

Le schéma ci-dessous présente le fonctionnement des vannes tel que décrit ci-dessus. Ces vannes seront automatisées, une possibilité de déverrouillage et d'activation manuelle des vannes sera maintenue afin de gérer manuellement les vannes en cas de défaillance du système d'automatisation, ou en cas de nécessité d'intervention d'urgence de la commune.

Figure 17 : Ouverture et fermeture des vannes du dispositif



Le tableau ci-dessous présente les fréquences de fermetures annuelles des vannes pour les années 2006-2016.

	fréquence montaison		fréquence dévalaison		Tous sens	
	23%		77%			
	MONTAISON		DEVALAISON			
	Vannes fermées	Vannes ouvertes	Vannes fermées	Vannes ouvertes	Vannes fermées	Vannes ouvertes
Fréquence pluriannuelle 2006-2016	0.77%	99.23%	1.26%	98.74%	1.15%	98.85%
Fréquence année 2006	0.02%	99.98%	1.00%	99.00%	0.70%	99.30%
Fréquence année 2007	1.37%	98.63%	0.67%	99.33%	0.75%	99.25%
Fréquence année 2008	1.45%	98.55%	0.95%	99.05%	1.01%	98.99%
Fréquence année 2009	0.09%	99.91%	2.96%	97.04%	2.07%	97.93%
Fréquence année 2010	0.31%	99.69%	2.68%	97.32%	2.16%	97.84%
Fréquence année 2011	0.00%	100.00%	1.06%	98.94%	0.85%	99.15%
Fréquence année 2012	0.10%	99.90%	0.30%	99.70%	0.28%	99.72%
Fréquence année 2013	0.00%	100.00%	0.83%	99.17%	0.71%	99.29%
Fréquence année 2014	0.64%	99.36%	1.94%	98.06%	1.65%	98.35%

Fréquence année 2015	2.81%	97.19%	0.61%	99.39%	1.63%	98.37%
Fréquence année 2016	0.04%	99.96%	1.14%	98.86%	0.83%	99.17%

Les périodes de fermeture des vannes représentent au maximum 2,81% du temps (année 2015) durant la période de montaison, soit 2,35 jours et 2.96% durant la période de dévalaison (année 2009), soit 8,17 jours.

Ces périodes de fermetures sont intégrées dans les fréquences de non-fonctionnement de la passe précédemment présentées, la passe étant non fonctionnelle pour ces hauteurs d'eau importantes.

### 3.3.3.6.2 Suivi et entretien de l'aménagement

#### MATERIAUX UTILISES ET DUREE DE VIE

Le béton utilisé pour la structure du radier et pour la réalisation des macro-plots correspond à du béton cyclopéen. Ce type de béton dispose d'une durée de vie variant de 50 à 100 ans en fonction des conditions auxquelles il est soumis. Dans notre cas, avec une fermeture prévue du dispositif en période de crue et absence de matériaux grossiers charriés, nous pouvons rester sur une estimation haute de 100 ans.

Les tapis picots de montaison 25 mm en élastomère ont une durée de vie minimale de 10 ans, pouvant être prolongée si les tapis ne sont pas soumis à des vitesses débitantes trop importantes ou à des volumes sédimentaires charriés importants. Leur mise en place et leur remplacement est facilité par un assemblage de tapis de 1 x 0.5 m. Le remplacement de la totalité des tapis picots proposés est estimé à 8 700 € HT (achat + pose de matériau).

La fiche produit du tapis picot de montaison proposé est présentée en annexe 5.

Les vannes en inox et les moteurs servant à leur fonctionnement ont une durée de vie moyenne de 30 ans. Cette dernière est réévaluée en milieu marin à 20 ans, du fait d'une corrosion plus importante dans ce contexte.

#### ENTRETIEN A REALISER

Trois degrés d'entretien sont proposés :

- Degré 1 : visite de routine : 2 fois par mois, contrôle de la passe et des vannes et suppression des embâcles éventuels (1 personne, durée 30 min) ;
- Degré 2 : visite annuelle : Inspection en eau (1fois / an) en période de basses eaux (1 personne, durée ½ journée) et entretien courant des mécanismes de vanne (graissage) ;
- Degré 3 : Visite détaillée : Vérification de l'ouvrage et des vannes et remise en état si besoin (1 fois tous les 2 à 3 ans, plusieurs personnes, durée 2 à 5 jours).

L'entretien visera à :

- Enlever les embâcles susceptibles de gêner les écoulements au sein de la passe ;
- Prévenir le développement de dépôts et éventuellement de végétaux pouvant nuire à l'ouverture/fermeture des vannes en entrée de passe et des écoulements au sein des passages inter-blocs ;
- Vérifier l'état général de l'ouvrage pour prévenir les phénomènes de sous écoulement, altération des bétons, des tapis picots, de la structure de l'ouvrage.

Les coûts d'entretien sont dépendants du prestataire qui les réalisera.

### 3.3.3.7 Conclusion concernant le scénario B2

Le dimensionnement réalisé assure une continuité hydraulique et une dissipation des énergies au sein du dispositif permettant de diminuer les vitesses débitantes dans les jets.

Pour l'ensemble des niveaux de marnages, et dans les deux sens de circulation, la passe dimensionnée engendre des vitesses débitantes inférieures aux vitesses maximales de nage des espèces cibles.

Ce dispositif est donc fonctionnel pour favoriser la migration des espèces de part et d'autre du Pertuis de la Fourcade.

De plus, ce dispositif est adapté à la reptation de l'anguille et des civelles, pour l'ensemble des niveaux de marnage. Il assure la montaison des espèces par la nage et par reptation.

**Ce dispositif est donc totalement fonctionnel pour les conditions de franchissement visées et les espèces ciblées.**

## 3.3.3.8 Estimation financière

<b>Aménagement du pertuis de la Fourcade</b>				
<b>Prix généraux</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire</b>	<b>Prix total</b>
Installations et replis de chantier	Ft	1	15 000.00 €	15 000.00 €
Gestion des eaux durant le chantier (pompage, etc...)	Ft	1	5 000.00 €	5 000.00 €
Sujétions environnementales durant le chantier (filtre MES, prélèvements qualité des eaux, etc...)	Ft	1	2 000.00 €	2 000.00 €
				<b>22 000 €</b>
<b>Terrassements</b>				
Amenée et repli du matériel nécessaire au battage des palplanches	Ft	1	20 000.00 €	20 000.00 €
Fourniture de palplanches métalliques PU18	kg	19818	1.00 €	19 818.00 €
Mise en fiche de palplanches PU18	ml	30	500.00 €	15 000.00 €
Battage de palplanches PU18	m <sup>2</sup>	120	12.00 €	1 440.00 €
Recépage de palplanches PU18	m	30	200.00 €	6 000.00 €
Déblais	m <sup>3</sup>	580	7.00 €	4 060.00 €
Evacuation des matériaux de déblais	m <sup>3</sup>	406	15.00 €	6 090.00 €
Remblais	m <sup>3</sup>	174	12.00 €	2 088.00 €
				<b>74 496 €</b>
<b>Réalisation de la passe à poissons</b>				
Réalisation du radier	u	1	18 686.00 €	18 686.00 €
<i>Béton de propreté</i>	m <sup>3</sup>	3	150.00 €	
<i>BétonC30/37</i>	m <sup>3</sup>	39.25	290.00 €	
<i>Coffrage plan</i>	m <sup>2</sup>	14.3	95.00 €	
<i>Acier</i>	kg	2747.5	2.00 €	
Réalisation des voiles laté	u	3	8 870.40 €	26 611.20 €
<i>BétonC30/37</i>	m <sup>3</sup>	9.6	290.00 €	
<i>Coffrage plan</i>	m <sup>2</sup>	49.92	95.00 €	
<i>Acier</i>	kg	672	2.00 €	
Macro-plots	u	56	300.00 €	16 800.00 €
Rugosité de fond 50 / 100 mm	m <sup>2</sup>	30.00	120.00 €	3 600.00 €
Tapis picots 25	m <sup>2</sup>	30.00	290.00 €	8 700.00 €
Goujons d'ancrage	m <sup>2</sup>	30.00	24.00 €	720.00 €
				<b>75 117 €</b>
<b>Vantellerie et automatisation</b>				
Vanne motorisée inox 3m de large	u	2	30 000.00 €	60 000.00 €
Coffret de commande	Ft	1	5 000.00 €	5 000.00 €
Télégestion	Ft	1	2 000.00 €	2 000.00 €
				<b>67 000 €</b>
<b>Passerelle</b>				
Réalisation du plancher du radier	u	1	20 980.00 €	20 980.00 €
<i>BétonC30/37</i>	m <sup>3</sup>	32	290.00 €	
<i>Coffrage plan</i>	m <sup>2</sup>	76	95.00 €	
<i>Acier</i>	kg	2240	2.00 €	
Caillebotis	m <sup>2</sup>	8	200.00 €	1 600.00 €
Garde-corps	ml	40	200.00 €	8 000.00 €
Bi-couche	m <sup>2</sup>	160	20.00 €	3 200.00 €
				<b>33 780 €</b>
<b>Total</b>				<b>272 393 €</b>
		<i>Aléa</i>	30%	81 718 €
<b>Total</b>				<b>354 111 €</b>

### 3.3.4 Conclusion concernant les aménagements présentés au sein du scénario B

Concernant le franchissement des obstacles par la nage, les deux aménagements proposés au sein des scénarios B1 et B2 se valent. En effet, ils permettent dans les deux cas de dissiper les énergies au sein du dispositif, ce qui a pour effet de ralentir les écoulements et de favoriser la montaison des espèces par la nage.

En revanche, seul le scénario B2 propose des possibilités de franchissement adaptées à l'anguille et aux civelles en offrant des voies de reptations, et pour l'ensemble des niveaux de marnage pouvant être atteints.

De plus, les passes à bassins (scénario B1) sont plus sensibles au colmatage par les sables. Enfin, l'accès aux différents bassins sera difficile dans le cadre de l'entretien spécifique de l'aménagement B1.

**D'un point de vue écologique et fonctionnalité, le scénario B2 est préférable au B1.**

## 4. Mission 4 : La réalisation d'une note de synthèse et comparaison des scénarii

La mission 4 consiste en la réalisation d'une analyse multicritères des avantages et des inconvénients pour chacun des scénarii.

Les points suivants sont analysés :

- L'efficacité écologique :
  - De la passe envisagée sur la migration passive ;
  - De la passe envisagée sur la migration active :
    - Sur les espèces piscicoles capables de nage uniquement ;
    - Sur les civelles et anguilles ;
    - Sur l'hydromorphologie ;
  - La complémentarité avec la passe à civelles existante ;
  - La complémentarité avec un projet de doublement des capacités de ressuyage du Pertuis ;
- Les incidences attendues sur la qualité des eaux ;
- Evaluation économique ;
- Entretien des aménagements ;
- Evaluation des détails administratifs et du temps de réalisation des équipements et aménagements ;
- Analyse patrimoniale et paysagère ;
- Analyse juridique :
  - Propriétaires fonciers ;
  - Dossiers réglementaires induits par la nature des travaux.
- Analyse de la future gestion en situation de crise ;
- Analyse de la vulnérabilité aux actes de braconnage.

Cette analyse est présentée dans le tableau comparatif ci-dessous.

**NB : Au regard des conclusions issues de la présentation des scénarii, les scénarii A1 et A2 seront analysés ensemble, car leurs incidences sont identiques sur les différents paramètres présentés ci-avant.**

**Enfin, lorsque des modifications importantes de l'incidence sur certains paramètres pourront être attendues en réalisant la passe à poissons conjointement aux travaux de doublement des capacités de ressuyage du Pertuis, ces éléments seront précisés.**

Tableau 8 : Analyse multicritère des différents scénarii proposés

Code couleur :

- Vert : incidence positive notable
- Rouge : incidence négative notable
- Bleu : incidence neutre, pas de modifications de l'existant

Paramètre analysé		Scénarii A1 et A2	Scénario B1	Scénario B2
Efficacité écologique	Efficacité attendue sur la migration passive	Du fait d'une reconnexion hydraulique constante, cet aménagement est efficace pour la migration passive	Du fait d'une reconnexion hydraulique constante, cet aménagement est efficace pour la migration passive	Du fait d'une reconnexion hydraulique constante, cet aménagement est efficace pour la migration passive
	Efficacité attendue sur la migration active pour les espèces capables de nage uniquement	Les vitesses au droit des vantelles sont trop importantes et ne permettent pas le franchissement de l'obstacle par la nage	Les vitesses au droit de l'ouvrage sont ralenties par le dispositif et permettent le franchissement de l'obstacle par la nage	Les vitesses au droit de l'ouvrage sont ralenties par le dispositif et permettent le franchissement de l'obstacle par la nage
	Efficacité attendue sur la migration active des civelles et des anguilles	Ces aménagements ne proposent pas de dispositifs de reptation pour l'anguille et les civelles	Cet aménagement ne propose pas de dispositifs de reptation pour l'anguille et les civelles, bien que les vitesses ne soient pas limitantes pour la nage des civelles et des anguilles, des retards et une sélection peuvent être attendus du fait de la longueur du dispositif à franchir	Le plan incliné de la passe à anguilles présente des surfaces praticables pour la reptation des anguilles et civelles, pour tous les niveaux d'eaux ciblés et dans les deux sens de circulation
	Incidences sur l'hydromorphologie	Peu de gains attendus sur l'hydromorphologie dans le cas d'un aménagement seul  Dans le cas d'un aménagement associé au doublement des capacités de ressuyage du Pertuis, on peut s'attendre à un soutirage supplémentaire des sédiments présents au droit de l'Etang des Impériaux en période de crue, via les chenaux supplémentaires qui seront réalisés à cette occasion.	Peu de gains attendus sur l'hydromorphologie dans le cas d'un aménagement seul  Dans le cas d'un aménagement associé au doublement des capacités de ressuyage du Pertuis, on peut s'attendre à un soutirage supplémentaire des sédiments présents au droit de l'Etang des Impériaux en période de crue, via les chenaux supplémentaires qui seront réalisés à cette occasion.	Peu de gains attendus sur l'hydromorphologie dans le cas d'un aménagement seul  Dans le cas d'un aménagement associé au doublement des capacités de ressuyage du Pertuis, on peut s'attendre à un soutirage supplémentaire des sédiments présents au droit de l'Etang des Impériaux en période de crue, via les chenaux supplémentaires qui seront réalisés à cette occasion.
	Complémentarité avec la passe à civelles existante	L'aménagement est proposé en rive ouest, à proximité des dalots d'évacuation des débits de la station de l'éolienne afin de profiter de l'attrait piscicole correspondant. Le dispositif n'est toutefois pas de nature à empêcher la progression de certaines civelles vers l'impasse de l'éolienne. La passe piège préserve ainsi son utilité en permettant la capture des individus progressant vers la station et leur réintroduction dans le milieu après capture, comptage et mesurage.	L'aménagement est proposé en rive ouest, à proximité des dalots d'évacuation des débits de la station de l'éolienne afin de profiter de l'attrait piscicole correspondant. Le dispositif n'est toutefois pas de nature à empêcher la progression de certaines civelles vers l'impasse de l'éolienne. La passe piège préserve ainsi son utilité en permettant la capture des individus progressant vers la station et leur réintroduction dans le milieu après capture, comptage et mesurage.	L'aménagement est proposé en rive ouest, à proximité des dalots d'évacuation des débits de la station de l'éolienne afin de profiter de l'attrait piscicole correspondant. Le dispositif n'est toutefois pas de nature à empêcher la progression de certaines civelles vers l'impasse de l'éolienne. La passe piège gérée par MRM préserve ainsi son utilité en permettant la capture des individus progressant vers la station et leur réintroduction dans le milieu après capture, comptage et mesurage.
	Complémentarité avec un projet de doublement des capacités de ressuyage du Pertuis	Aucune incidence sur le projet de doublement du Pertuis	Aménagement à réaliser en parallèle, sans incidences sur le projet de doublement du Pertuis	Aménagement à réaliser en parallèle, sans incidences négatives sur le projet de doublement du Pertuis.  De plus, le dispositif prend en charge le volet environnemental du projet porté par le SYMADREM.
Incidences attendues sur la qualité des eaux		Maintien d'un flux hydraulique continu favorisant les échanges entre les différents compartiments (mer – étang des Impériaux – étangs du Vaccarès). Incidence positive sur la qualité des eaux attendue	Maintien d'un flux hydraulique continu favorisant les échanges entre les différents compartiments (mer – étang des Impériaux – étangs du Vaccarès). Incidence positive sur la qualité des eaux attendue	Maintien d'un flux hydraulique continu favorisant les échanges entre les différents compartiments (mer – étang des Impériaux – étangs du Vaccarès). Incidence positive sur la qualité des eaux attendue
Evaluation économique		50 k€	250 k€	360 k€
Entretien des aménagements		3 degrés d'entretien sont proposés :	3 degrés d'entretien sont proposés :	3 degrés d'entretien sont proposés :

Paramètre analysé	Scénarii A1 et A2	Scénario B1	Scénario B2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Degré 1 : visite de routine : 2 fois par mois, contrôle de la vantelle et suppression des embâcles éventuels (1 personne, durée 30 min)</li> <li>Degré 2 : visite annuelle : Inspection en eau (1 fois/an) en période de basses eaux (1 personne, durée ½ journée) ;</li> <li>Degré 3 : visite détaillée : Vérification de l'ouvrage et remise en état si besoin (1 fois tous les 2 à 3 ans, plusieurs personnes, durée 2 à 5 jours)</li> </ul> <p>L'entretien visera à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enlever les embâcles susceptibles de gêner les écoulements au sein de la vantelle ;</li> <li>Prévenir le développement de dépôts et éventuellement de végétaux pouvant nuire à l'ouverture / fermeture des vannes et vantelles ;</li> <li>Vérifier l'état de la vantelle et des mécanismes d'activation, et prévenir toute dégradation.</li> </ul> <p>Les coûts d'entretien sont dépendants du prestataire qui les réalisera.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Degré 1 : visite de routine : 2 fois par mois, contrôle de la passe et suppression des embâcles éventuels (1 personne, durée 30 min)</li> <li>Degré 2 : visite annuelle : Inspection en eau (1 fois/an) en période de basses eaux (1 personne, durée ½ journée) ;</li> <li>Degré 3 : visite détaillée : Vérification de l'ouvrage et remise en état si besoin (1 fois tous les 2 à 3 ans, plusieurs personnes, durée 2 à 5 jours)</li> </ul> <p>L'entretien visera à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enlever les embâcles susceptibles de gêner les écoulements au sein de la passe ;</li> <li>Prévenir le développement de dépôts et éventuellement de végétaux pouvant nuire à l'ouverture / fermeture des vannes en entrées de passes et des écoulements au sein des fentes ;</li> <li>Vérifier l'état général de l'ouvrage pour prévenir les phénomènes de sous écoulements, altération des bétons, de la structure de l'ouvrage (affaissement...).</li> </ul> <p>Les coûts d'entretien sont dépendants du prestataire qui les réalisera.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Degré 1 : visite de routine : 2 fois par mois, contrôle de la passe et suppression des embâcles éventuels (1 personne, durée 30 min)</li> <li>Degré 2 : visite annuelle : Inspection en eau (1 fois/an) en période de basses eaux (1 personne, durée ½ journée) ;</li> <li>Degré 3 : visite détaillée : Vérification de l'ouvrage et remise en état si besoin (1 fois tous les 2 à 3 ans, plusieurs personnes, durée 2 à 5 jours)</li> </ul> <p>L'entretien visera à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enlever les embâcles susceptibles de gêner les écoulements au sein de la passe ;</li> <li>Prévenir le développement de dépôts et éventuellement de végétaux pouvant nuire à l'ouverture / fermeture des vannes en entrées de passes et des écoulements au sein des passages inter-blocs ;</li> <li>Vérifier l'état général de l'ouvrage pour prévenir les phénomènes de sous écoulements, altération des bétons, des tapis picots visant la reptation des civelles, de la structure de l'ouvrage (affaissement...).</li> </ul> <p>Les coûts d'entretien sont dépendants du prestataire qui les réalisera.</p>
Détails administratifs	<p>AVP (Avant-projet) : 1,5 mois</p> <p>Dossier de déclaration Police de l'Eau + Dossier paysage pour la commission des sites possible : 2 mois de réalisation + 4 mois d'instruction</p> <p>PRO (Projet) : 1,5 mois</p> <p>DCE (Dossier de consultation des entreprises) : 1 mois</p> <p>Travaux possibles en 2019 (vannes seules)</p>	<p>AVP : 1,5 à 2 mois</p> <p>Dossier de demande d'autorisation Police de l'Eau + Notice d'incidences Natura 2000 + Dossier paysage pour la commission des sites : 4 mois de réalisation + 10 mois d'instruction</p> <p>PRO : 1,5 à 2 mois</p> <p>DCE : 1 mois</p> <p>Travaux possibles en 2019 (passe seule)</p>	<p>AVP : 1,5 à 2 mois</p> <p>Dossier de demande d'autorisation Police de l'Eau + Notice d'incidences Natura 2000 + Dossier paysage pour la commission des sites : 4 mois de réalisation + 10 mois d'instruction</p> <p>PRO : 1,5 à 2 mois</p> <p>DCE : 1 mois</p> <p>Travaux possibles en 2019 (passe seule)</p>
Analyse patrimoniale et paysagère	<p>Site anthropisé, présence de l'ouvrage hydraulique, de la station de l'éolienne, d'une aire de stationnement, de la piste très fréquentée et d'ouvrages en enrochements pour la protection maritime =&gt; on ne vient pas dégrader un espace naturel, l'aménagement s'inscrit dans ce contexte anthropisé.</p> <p>Important d'informer le public sur la fonctionnalité de l'aménagement avec des panneaux de communication.</p> <p>La problématique paysagère du site dépasse largement le cadre de l'aménagement</p>	<p>Site anthropisé, présence de l'ouvrage hydraulique, de la station de l'éolienne, d'une aire de stationnement, de la piste très fréquentée et d'ouvrages en enrochements pour la protection maritime =&gt; on ne vient pas dégrader un espace naturel, l'aménagement s'inscrit dans ce contexte anthropisé.</p> <p>Important d'informer le public sur la fonctionnalité de l'aménagement avec des panneaux de communication.</p> <p>La problématique paysagère du site dépasse largement le cadre de l'aménagement</p>	<p>Site anthropisé, présence du Pertuis de la Fourcade, de la station de l'éolienne, d'une aire de stationnement, de la piste très fréquentée et d'ouvrages en enrochements pour la protection maritime =&gt; on ne vient pas dégrader un espace naturel, l'aménagement s'inscrit dans ce contexte anthropisé.</p> <p>Important d'informer le public sur la fonctionnalité de l'aménagement avec des panneaux de communication.</p> <p>La problématique paysagère du site dépasse largement le cadre de l'aménagement</p>

Paramètre analysé		Scénarii A1 et A2	Scénario B1	Scénario B2
Analyse juridique	Propriétaires fonciers	L'aménagement prévu sera réalisé sur une parcelle appartenant à la commune des Saintes Maries de la Mer.	L'aménagement prévu sera réalisé sur une parcelle appartenant à la commune des Saintes Maries de la Mer.	L'aménagement prévu sera réalisé sur une parcelle appartenant à la commune des Saintes Maries de la Mer.
	Dossiers réglementaires induits par la nature des travaux	Dossier de déclaration Police de l'Eau + Dossier paysage pour la commission des sites	Dossier de demande d'autorisation Police de l'Eau + Notice d'incidences Natura 2000 + Dossier paysage pour la commission des sites	Dossier de demande d'autorisation Police de l'Eau + Notice d'incidences Natura 2000 + Dossier paysage pour la commission des sites
Analyse de la future gestion en situation de crise		En situation de crise, les vannes sur lesquelles seront positionnées les vannes s'ouvriront pour assurer la fonction de ressuyage des étangs.  Aucune incidence de l'aménagement sur la future gestion en situation de crise n'est attendue.	En situation de crise, les passes, réalisées en parallèle du Pertuis, ne participeront pas au ressuyage. Leur but est en effet de freiner les écoulements et serait contreproductif. Pour cela, les vannes en entrée de passes seront fermées.  Aucune incidence de l'aménagement sur la future gestion en situation de crise n'est attendue.	En situation de crise, les passes, réalisées en parallèle du Pertuis, ne participeront pas au ressuyage. Leur but est en effet de freiner les écoulements et serait contreproductif. Pour cela, les vannes en entrée de passes seront fermées.  Aucune incidence de l'aménagement sur la future gestion en situation de crise n'est attendue.
Analyse de la vulnérabilité aux actes de braconnages		Aménagement disposant d'une ouverture unique au droit des vannes, pouvant être aisément utilisée comme support pour y positionner un filet ou une pièce de ce type.	Aménagement disposant d'une ouverture unique au droit des fentes en sortie de bassins, pouvant être aisément utilisée comme support pour y positionner un filet ou un piège de ce type.	Aménagement disposant de plusieurs voies de passage entre les différents blocs. Bien qu'un piège puisse être positionné entre deux blocs, l'impact sera de plus faible ampleur car les espèces pourront passer par les autres passages inter-blocs.  De plus, il sera impossible de mettre en place un système de piégeage spécifique pour la civelle.  La vulnérabilité de cet aménagement aux actes de braconnages est donc limitée.
Note sur la fonctionnalité écologique		1/3 : migration passive exclusive	2/3 : Migration passive et active par la nage, quelques retards peuvent être attendus pour l'anguille et les civelles	3/3 : Migration passive et active favorisée par la nage et par la reptation
Note globale pour les différents paramètres		4/9	5/9	8/9

**A ce stade de l'analyse, la passe à macrorugosités semble être l'aménagement jugé le plus pertinent pour restaurer la continuité écologique au droit du pertuis de la Fourcade, dans les deux sens de migration, en assurant la migration passive, et active par la nage et/ou par la reptation.**

---

## 5. Mission 5 : La définition du protocole de suivi

Pour les différentes solutions proposées, la possibilité d'un contrôle de l'efficacité de la passe est indispensable. Un protocole de suivi adapté est proposé ci-après pour évaluer, à court, moyen et long terme, l'efficacité du dispositif de franchissement proposé.

Afin de mener à bien cette mission, de nombreux entretiens ont été menés avec les acteurs locaux et partenaires afin d'identifier d'une part, les protocoles de suivi actuellement menés sur les étangs du Vaccarès et applicables à notre secteur, et d'autre part, les besoins des partenaires en matière d'inventaires et études scientifiques.

Une réunion de travail, réalisée le 27/04/17, réunissant l'ensemble des acteurs locaux, a permis de définir avec précision les besoins scientifiques et les protocoles adaptés à mettre en application sur le secteur.

## 5.1 CREATION D'UN SUIVI DES CONDITIONS HYDRAULIQUES AU SEIN DU DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT

Ce suivi vise à vérifier in situ les vitesses débitantes au sein des vanelles, fentes ou passages inter-blocs des différents dispositifs proposés.

L'objectif est de réaliser une mesure ponctuelle des vitesses circulant au sein du dispositif via l'utilisation d'un courantomètre et de s'assurer que les vitesses présentes sont compatibles avec les capacités de nage des espèces cibles.

Dans l'idéal, ces mesures seront réalisées lors des événements suivants :

- Entrée des eaux de mer pour un fonctionnement en « conditions de fréquences importantes », c'est-à-dire avec une ligne d'eau côté mer avoisinant 20 à 30 cm NGF et une ligne d'eau côté étang plus faible.
- Vidange des étangs pour un fonctionnement en « conditions de fréquences importantes », c'est-à-dire avec une ligne d'eau côté étang avoisinant 10 à 20 cm NGF et une ligne d'eau côté mer plus faible.
- Lors des conditions limites de fonctionnement envisagées :
  - Entrée des eaux de mer pour un fonctionnement en « conditions de fréquences exceptionnelles », c'est-à-dire avec une ligne d'eau côté mer avoisinant 41 cm NGF.
  - Vidange des étangs pour un fonctionnement en « conditions de fréquences exceptionnelles », c'est-à-dire avec une ligne d'eau côté étangs avoisinant 28 cm NGF.

Ce suivi sera effectué par un organisme compétent, disposant du matériel nécessaire, à savoir un courantomètre. Ce suivi n'a pas vocation à être prolongé à long terme, les conditions hydrodynamiques au sein de la passe ne sont en effet pas de nature à changer au fil du temps.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi des conditions hydrauliques au sein du dispositif de franchissement	Trois à quatre suivis ponctuels durant l'année suivant la réalisation du dispositif de franchissement	Vitesses maximales dans les jets	Mesure sur site via l'utilisation d'un courantomètre	SYMADREM ou bureau d'études en charge du suivi des travaux	6 k€

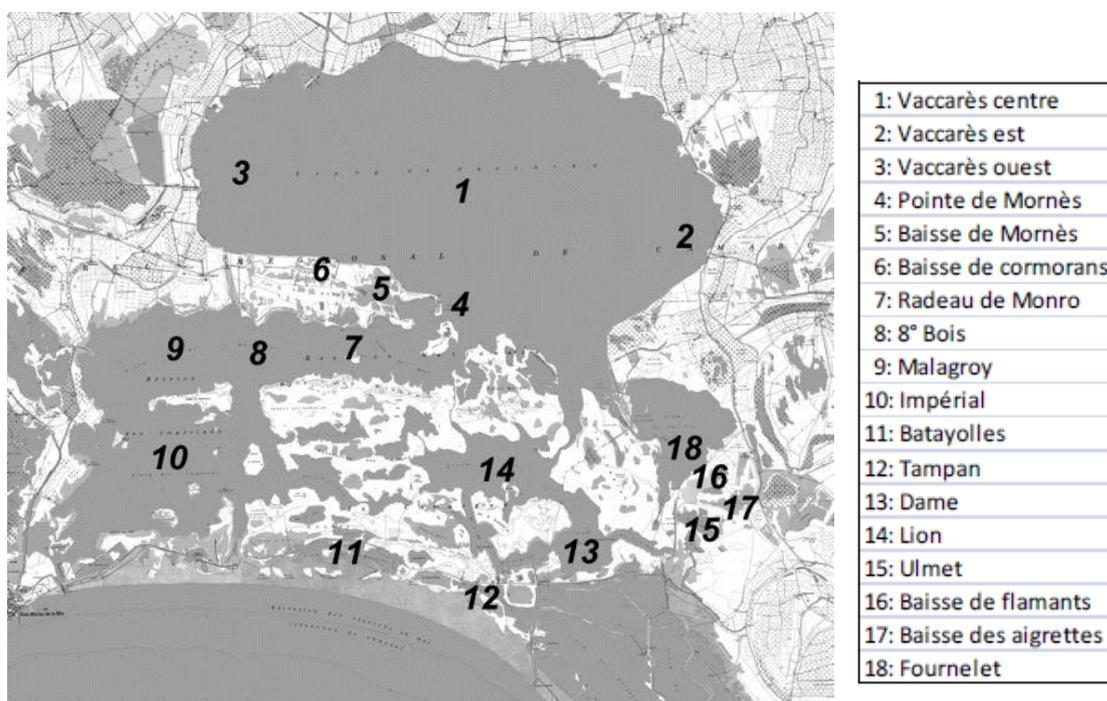
## 5.2 SUIVI HYDROLOGIQUE

### 5.2.1 Maintien des suivis salinité et niveaux dans les étangs du système Vaccarès

#### 5.2.1.1 Maintien du suivi des salinités

Le jour du dénombrement mensuel des oiseaux d'eau (autour du 15 du mois) les agents de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue réalisent des mesures de salinité dans la plupart des étendues d'eau du système Vaccarès.

La carte ci-dessous présente les points échantillonnés lors de ces campagnes de suivi.



Ce suivi sera maintenu par la Réserve Naturelle Nationale de Camargue. Les agents utilisent pour cela une mallette multi-paramètres « WTW multi 340i » permettant une lecture en direct sur site. Les salinités sont exprimées en g/l.

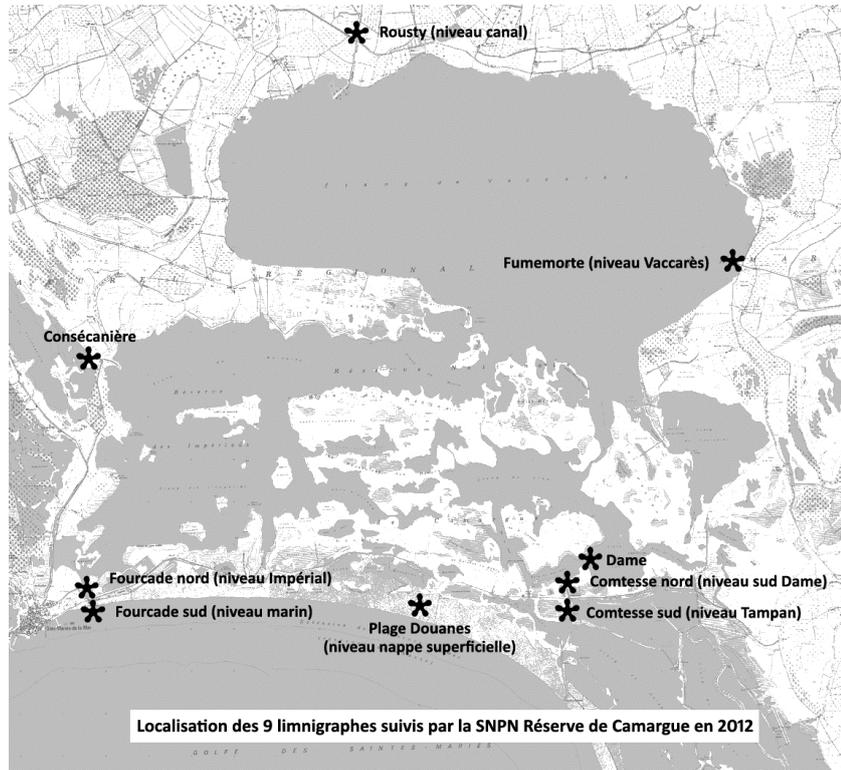
Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes présents pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi des salinités	Ce suivi est effectué à une fréquence mensuelle et sera maintenu ainsi	Salinité des eaux en plusieurs points du système Vaccarès	Mesure sur site via l'utilisation d'une mallette multi-paramètres « WTW multi 340i »	SNPN Réserve de Camargue	Suivi actuellement fonctionnel et actif, pas de surcoûts envisagés

### 5.2.1.2 Maintien du suivi des niveaux

Les niveaux d'eau au sein du système Vaccarès sont suivis en continu par la SNPN Réserve de Camargue à l'aide de 9 limnigraphes à flotteurs. Les données sont enregistrées toutes les 15 minutes et toutes les 5 minutes pour l'appareil de Fourcade Sud par un enregistreur électronique.

Un traitement statistique est ensuite effectué sur la base de ces résultats.

La carte ci-dessous présente l'emplacement des limnigraphes utilisés dans le cadre de ce suivi.



Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi des niveaux	Ce suivi est effectué en continu	Niveau d'eau au sein du système Vaccarès	Mesure en continu via l'utilisation de 9 limnigraphes à flotteurs  Traitement statistique des résultats obtenus	SNPN Réserve de Camargue	Installations déjà réalisées, pas de surcoûts attendus

## 5.2.2 Renouvellement du suivi de la qualité des eaux et des sédiments

Des analyses de qualité sur les eaux et les sédiments ont été réalisées en 2011 et 2012 au droit des Impériaux, sur le canal de Fumemorte et sur le Vaccarès.

Afin d'observer les possibles incidences de la reconnexion hydraulique en continu (suite à l'implantation du dispositif de franchissement) sur la qualité des eaux et des sédiments, il est proposé de renouveler ce suivi, à minima à court terme.

Les paramètres mesurés sur l'eau sont les suivants :

- Physico-chimie.
- Métaux.
- Pesticides.
- Micropolluants.

De nouvelles analyses ont été réalisées en 2013 sur le canal de Fumemorte et sur le Vaccarès par le personnel de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue (SNPN). Ces analyses ont été cofinancées dans le cadre du projet Fumemorte (contrat de delta) par l'Agence de l'Eau, la région PACA et la SNPN.

Les analyses de 2013 ne concernaient pas les Impériaux. Le plan de gestion des Impériaux prévoit toutefois la réalisation d'un suivi mensuel de la qualité des eaux par le CD 13. Il est donc préconisé ici d'activer ce suivi dès que possible afin de disposer d'un état « 0 ».

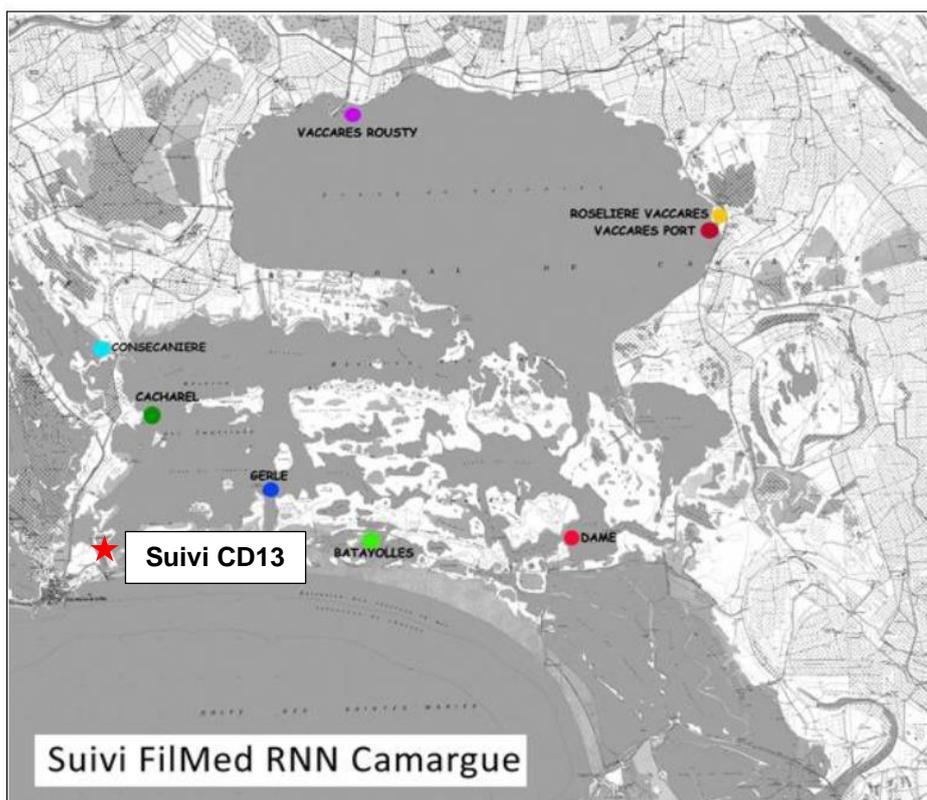
Trois stations sont envisagées, une au sud des Impériaux, une en partie centrale et une au nord des Impériaux

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes presentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi de la qualité des eaux et des sédiments	Suivi à court terme pluriannuel, composé de prélèvements mensuels sur 3 ans	Concentration des différents polluants	Prélèvements réalisés au droit des Impériaux  Analyse des paramètres en laboratoire  Evolution des concentrations en polluant	CD 13	6000 € / mois  Prix pour trois prélèvements par mois  Coût annuel :  72 000 €

### 5.2.3 Maintien et adaptation du suivi physico-chimique des lagunes de la Réserve

Dans le cadre du Forum Interrégional des Lagunes Méditerranéennes (FIL-MED), piloté par le pôle relais lagunes méditerranéennes, le personnel de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue (SNPN) a mis en place un suivi des paramètres physico chimique mensuel sur les principaux plans d'eau de la Réserve.

La carte ci-dessous présente la localisation des points suivis.



A l'aide d'une mallette d'analyse multi paramètres « WTW multi 340i », le personnel de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue mesure chaque mois sur ces huit points les paramètres suivants :

- Température de l'eau (°C) ;
- Salinité (g/l) ;
- pH ;
- Oxygène dissous (mg/l et %) ;
- Potentiel Red-Ox (mV).

De plus, le CD 13 réalise un suivi identique au droit du chenal situé en amont du Pertuis de la Fourcade. L'objectif est de maintenir ce suivi pour identifier toute modification des paramètres physico-chimiques pouvant apparaître après la réalisation du dispositif de franchissement piscicole.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi physico chimique des lagunes	Ce suivi est effectué à une fréquence mensuelle et sera maintenu ainsi	Paramètres physico chimique des eaux au droit des Impériaux, en amont du Pertuis de la Fourcade	Mesure sur site via l'utilisation d'une mallette multi-paramètres « WTW multi 340i »	Association de plusieurs organismes : SNPN Réserve de Camargue ; CD 13  Parc Naturel Régional de Camargue	Suivi fonctionnel et actif actuellement, pas de surcoût associé

### 5.3 CREATION D'UN SUIVI BATHYMETRIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

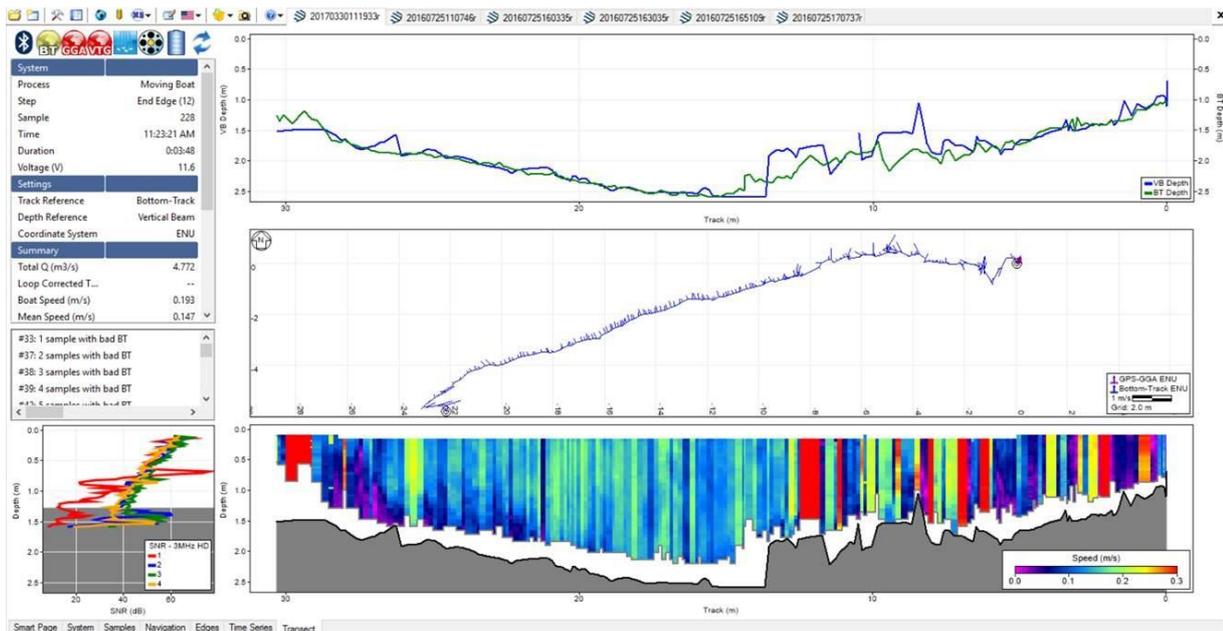
Ce suivi présente un intérêt dans le cadre de la réalisation conjointe du projet de doublement des capacités de ressuyage du Pertuis de la Fourcade et du dispositif de franchissement piscicole.

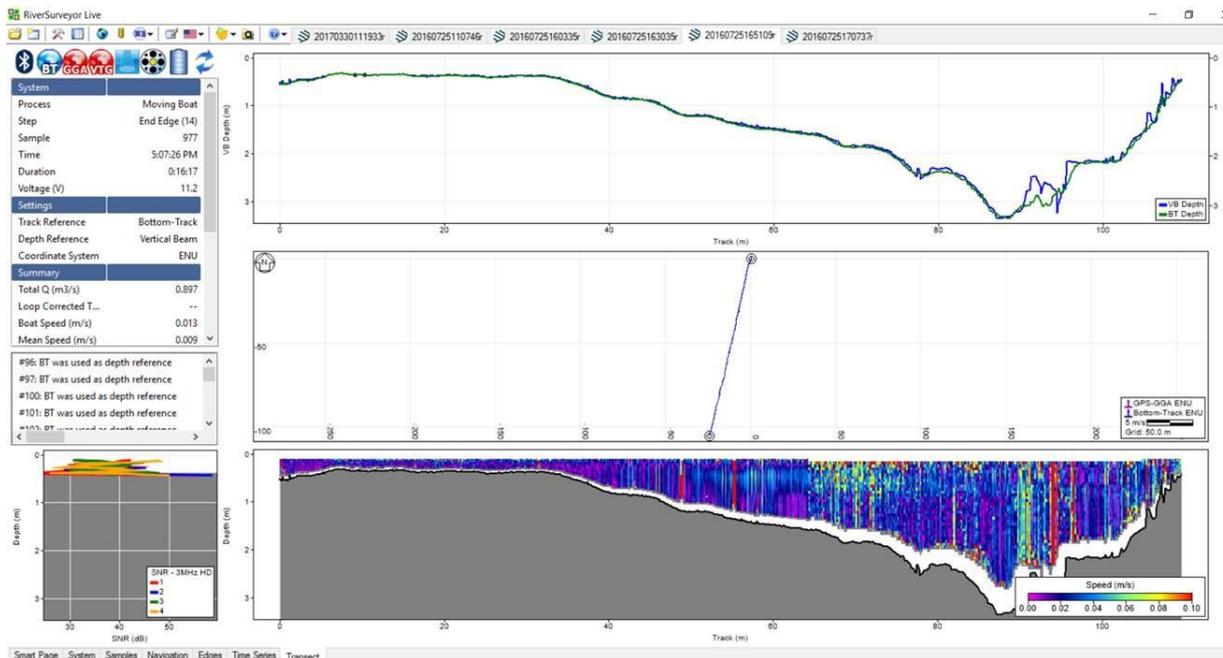
En effet, l'aménagement du dispositif de franchissement piscicole n'est pas de nature à améliorer à lui seul les conditions de transport solide au droit de l'ouvrage. Toutefois, ce projet a été élaboré en intégrant le projet de doublement des capacités de ressuyage du Pertuis de la Fourcade. Un doublement des capacités d'évacuation des écoulements engendrera une amélioration des conditions de transport solide au droit de l'ouvrage. Un soutirage des sédiments présents à l'amont de l'ouvrage est attendu à la suite de la modification de ce dernier.

Le protocole de suivi proposé ici, s'inspirant de ce qui est fait par ailleurs (Foux du Lion par exemple) par la Réserve Naturelle Nationale de Camargue, vise à observer les évolutions bathymétriques en amont de l'ouvrage et au droit de l'étang des Impériaux.

En revanche, un suivi pédestre n'est pas réalisable au droit des Impériaux. BRL ingénierie propose un nouveau protocole avec l'utilisation d'un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) qui va permettre par le système d'un échosondeur de réaliser des profils en travers sur la base des différents transects. Le protocole ADCP permet de mesurer des faibles profondeurs ; la turbidité de l'eau n'est pas limitante.

La traversée des transects se fera à l'aide d'un canoé, la campagne terrain peut être effectuée sur 2 jours et la partie analyse des données s'effectuera sur le reste de la semaine. Les résultats d'un ADCP sont visibles dans la partie ci-dessous.





Un suivi à long terme pluriannuel est proposé, comprenant des campagnes de relevés topographiques et bathymétriques, réalisées tous les 2 à 3 ans, à ajuster en fonction des événements météorologiques.

A minima 4 transects semblent intéressants pour la réalisation de ce suivi. Ces transects ont été établis en concertation avec les acteurs présents lors de la réunion du 27 Avril 2017. Ces transects sont matérialisés sur la carte ci-dessous.



Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
<b>Suivi bathymétrique et géomorphologique</b>	Il s'agit d'un suivi à long terme, composé d'une campagne de relevés topographiques et bathymétriques à réaliser tous les 2 à 3 ans.	Altitude des profils en travers	Relevés de profils en travers sur le terrain  Comparaison pluriannuelle des données visant à identifier l'évolution altitudinale des profils	BRL Ingénierie est en mesure de réaliser les campagnes de terrain et les traitements des données.	Relevés terrain et réalisation des coupes :  6 à 8 k€ / campagne

## 5.4 SUIVI HYDROBIOLOGIQUE

### 5.4.1 Maintien du suivi des peuplements de poissons du Vaccarès

La méthodologie appliquée par la Réserve Nationale Naturelle de Camargue et par la Tour du Valat pour le suivi des peuplements de poissons du Vaccarès est restée inchangée de 2001 à 2015, elle comprend :

- Cinq nuits consécutives de pêche, avec analyse pondérale globale des anguilles et des athérines ;
- Quatre séries par an (deux au printemps et deux en automne) ;
- Une analyse fine des captures, avec trois nuits échantillonnées par série, à partir de l'ensemble des filets (12 poches), puis ramené au poids par jour et par poche ;
- Une mesure individuelle de la taille et du poids des anguilles et des athérines une fois par semaine de pêche (soit quatre fois par an), pour analyser la distribution de taille et l'état des populations.

Il est proposé ici de maintenir ce protocole pour le suivi piscicole du Vaccarès pour suivre l'évolution des populations piscicoles après mise en place du dispositif de franchissement.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi des peuplements de poissons du Vaccarès	Suivi annuel avec 4 séries de suivi par an.	Espèces capturées Nombre d'individus Taille Poids	Suivi sur la base de pêches réalisées sur site  Analyse de la distribution des tailles et de l'état des populations	Association de plusieurs organismes : SNPN Réserve de Camargue ; Tour du Valat ;	Suivi actif et fonctionnel actuellement, pas de surcoût associé

### 5.4.2 Création d'un suivi des peuplements de poissons dans les Impériaux

Après la concertation avec les acteurs lors de la réunion du 27 Avril 2017, il a été jugé pertinent d'utiliser le même protocole présent sur les anciens salins, sur le pertuis de la Fourcade.

Afin de disposer d'un état « 0 », il serait intéressant de débiter ce suivi au plus tôt, sans attendre la finalisation des travaux et la mise en service du dispositif de franchissement. Ce suivi vise à acquérir des informations sur les phénomènes de montaison des espèces.

Le secteur idéal pour la réalisation de ce suivi se situe en sortie du chenal présent à l'amont du Pertuis de la Fourcade. Les espèces sont en effet naturellement attirées par ce chenal leur permettant d'atteindre les Impériaux.



Sur la base du suivi ichtyologique des Etangs et Marais des Salins de Camargue, le protocole suivant est proposé au droit du site de pêche des Impériaux.

L'objectif est d'évaluer la connexion entre la mer et l'étang du Vaccarès via les étangs de Camargue. Les espèces ciblées sont en particulier les juvéniles des espèces marines migratrices, c'est-à-dire des espèces qui se reproduisent en mer et dont les alevins viennent grandir dans les habitats côtiers pour les premières années de leur vie, les civelles qui remontent depuis la mer dans les systèmes continentaux, la dévalaison des anguilles argentées (qui font le chemin inverse des civelles).

Le suivi est réalisé pendant 4 jours consécutifs du lundi au jeudi, une semaine tous les mois, d'Octobre à Juin. En cas d'événements imprévus, le Vendredi peut servir de jour de remplacement pour permettre de mener à bien l'étude.

Le dispositif sera composé d'un filet à civelles de maillage 1.5mm et d'un filet DCE de maillage 6mm.

Les éléments suivants sont à relever tous les jours : Date, nom de station, nom du filet, heure de pose ou de relève, température de l'eau mesurée/ conductivité de l'eau mesurée, conditions météo, niveau d'eau, vitesse du courant, transparence de l'eau, observations diverses.

Les captures sont traitées au maximum sur place afin de limiter la mortalité par pêche. Il faut manipuler les poissons avec soin et avec des mains humides. Il faut aussi humidifier les ichtyomètres avant de faire la mesure. Après la relève, les poissons sont triés par espèces (ou par taxon) dans différentes bassines remplies d'eau et équipées d'un bulleur si besoin pour optimiser la survie des individus.

Les paramètres suivants sont à relever :

- Taille et Poids individuel
- Effectif et biomasse totales
- Longueur à la fourche

Lorsque les captures sont non identifiées ou identifiées de manière incertaine, une fois les mesures réalisées, un sous-lot est conservé dans un sachet ZIP (date, station, filet) puis mis au frais dans la glacière pour être identifié au laboratoire plus tard.

Sur la base du suivi ichtyologique des Etangs et Marais des Salins de Camargue, les équipes chargées du suivi s'intéresseront aussi à la présence de crevettes, crustacés décapodes et cténophores.

Concernant le traitement des civelles, celui-ci s'effectue une fois par semaine. L'équipe d'intervention regroupe 50 civelles par station à l'aide des filets à civelles qui seront conservées dans un sachet ZIP préalablement rempli d'eau et mis au frais dans une glacière. Cela va permettre d'évaluer le stade de pigmentation des civelles. Les civelles capturées sont pesées globalement. Une fois par semaine, l'équipe d'intervention dénombre et pèse 6 sous-lots de 30 civelles pour obtenir un poids moyen par civelle. Par la suite elle fait un poids total avec le reste des individus.

Le traitement des anguilles et autres gros poissons fragiles se fait une fois que les individus sont endormis dans un bac avec de l'anesthésiant. Après la manipulation effectuée, les individus sont placés dans un bac de réveil avec bulleur et relâché une fois qu'ils sont de nouveau vaillants.

- Les paramètres suivants sont relevés :
- Mesures longueur/poids
- Mesures de l'indice oculaire et pectoral
- Etat sanitaire
- Détection PIT-TAG

Les captures sont relâchées immédiatement après avoir été traitées de manière à limiter la mortalité piscicole. Afin de ne pas capturer plusieurs fois les mêmes individus, les captures devront être relâchées aux sites convenus à l'avance qui reste spécifique pour chaque station. Les anguilles argentées pourront être relâchées à l'aval des filets, dans le sens de la dévalaison.

La demande d'autorisation de pêche scientifique doit être formulée au préalable auprès des affaires maritimes. Elle est renouvelée chaque année.

## ACTIVITES DE PECHE PROFESSIONNELLE SITUÉES A PROXIMITÉ

Afin d'identifier les potentielles interactions entre le suivi envisagé et les activités de pêche professionnelles actuellement en place sur le secteur, et notamment sur la partie sud des Impériaux, le secteur sur lequel sera effectué ce suivi a été localisé en prenant en considération les lieux de pêches professionnelles.

La carte suivante, fournie pas le CD 13, présente les emplacements des pêcheurs professionnels (points rouges) situés sur les étangs des Impériaux. Les pêcheurs situés à proximité pourront être conviés à participer au suivi piscicole présenté ci-dessus, afin d'être intégrés à la démarche et de partager leur expérience du secteur. Dans tous les cas, la position des filets des deux pêcheurs devra être connue afin de ne pas nuire au suivi initié en amont du Pertuis de la Fourcade.



Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Mise en place d'un suivi des peuplements de poissons dans les Impériaux	Suivi annuel avec 4 séries de suivi par an.	Espèces capturées Nombre d'individus Taille Poids	Suivi sur la base de pêches réalisées sur site  Analyse de la distribution des tailles et de l'état des populations	Association de plusieurs organismes :  SNPN Réserve de Camargue ;  Tour du Valat ;  CD 13  MRM	30 000 € / an

### 5.4.3 Création d'un suivi spécifique concernant l'échappement des espèces via la passe à poissons

Ce suivi est déjà proposé par la Tour du Valat et fait l'objet d'une fiche action spécifique du Contrat de delta de Camargue. Ce suivi vise principalement à acquérir des informations sur les phénomènes de dévalaison de l'anguille.

L'objectif est d'installer un dispositif de télémétrie RFID (Radio Fréquence Identification) dans le secteur du Pertuis de la Fourcade, le canal de Fumemorte, et dans le secteur de la Comtesse. Cela va permettre de mieux suivre et modéliser les déplacements de la sous-population d'anguilles du bassin de Fumemorte et de mieux estimer le taux d'échappement en anguilles argentées et autres espèces piscicoles à différentes échelles du système lagunaire du Vaccarès.

Le dispositif de télémétrie permet d'enregistrer en continu le passage d'individus préalablement marqués. Ce système permettra également de caractériser les facteurs influençant la dévalaison des anguilles argentées grâce aux suivis des paramètres environnementaux et des mouvements d'anguilles dans le système. Il permettra également d'identifier les obstacles à la dévalaison pour améliorer l'échappement naturel.

Ce suivi sera complet lorsque le pertuis de la Fourcade sera équipé.

Avant d'effectuer la création de ce suivi, une étude d'avant-projet va être menée avec une intervention du bureau d'études SCIMABIO pour expertiser, tester et faire un choix du matériel RFID approprié pour le secteur du Pertuis de la Fourcade.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi de l'échappement des espèces via la passe à poissons	Suivi en continu pour une durée minimale de 3 années	Nombre d'individus marqués franchissant le dispositif	Marquage préalable des individus  Suivi des résultats du dispositif de télémétrie RFID	Association de plusieurs organismes :  Tour du Valat ;  CD 13 ;  MRM	Coût à définir lors d'un avant-projet avec le SCIMABIO  Coût annuel 40 000 €

#### 5.4.4 Maintien du suivi des pêches professionnelles sur les Impériaux

Les inventaires des données de pêches professionnelles sont à récupérer auprès de la DDTM.

Suite à la réunion du 27 Avril 2017, les acteurs ont exprimés leur volonté de mettre en place ce suivi qui est notamment inscrit au plan de gestion départementale des Impériaux.

Le but est d'observer l'évolution du nombre d'individus, ou encore de leurs tailles ou stades de développement.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi des pêches professionnelles dans les Impériaux	Suivi annuel	Nombre d'individus pêchés  Espèces capturées  Taille  Stade de développement	Données de pêches professionnelles disponibles auprès de la DDTM	CD 13	A définir en fonction des données à traiter

### 5.4.5 Maintien du suivi réalisé par MRM au droit de la passe piège à civelles de la station de l'éolienne

L'objectif est ici de maintenir le suivi qui est réalisé au droit de la passe piège de la station de l'éolienne. Ce suivi des captures doit permettre de mieux connaître la dynamique migratoire de l'espèce, de qualifier et d'améliorer le recrutement.

Ces suivis devront permettre de comprendre l'influence des conditions naturelles sur le recrutement et comprendre la dynamique migratoire.

Il est important de maintenir cette passe piège car l'attraction de la station de l'éolienne ne sera pas captée par le dispositif de franchissement mais sera présente en parallèle de ce dernier. De cette manière, une partie des civelles migrant vers les étangs est susceptible de continuer en direction de la station de l'éolienne et de la passe piège associée. Le maintien de la passe piège à civelles a donc toute son utilité.

Enfin, le maintien du suivi effectué au droit de la passe piège permettra d'observer d'éventuelles modifications du comportement des civelles suite à la mise en fonctionnement du dispositif de franchissement.

Ce suivi fait l'objet d'une fiche action du Contrat de delta de Camargue et est décliné en quatre axes :

- Suivi de la passe piège à civelles
- Suivi de la dynamique migratoire et identification des points de blocage
- Estimation du recrutement naturel
- Suivi de la répartition du flux et estimation de l'efficacité de la passe piège

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Maintien du suivi réalisé par MRM au droit de la passe piège à civelles de la station de l'éolienne	Suivi sur la période de migration des anguilles et civelles	Nombre d'individus piégés Taille Stade de développement	Données de suivi de la passe piège MRM	MRM	25 000 €

## 5.5 SUIVI ET ENTRETIEN DE L'AMENAGEMENT

Ces éléments sont présentés en mission 4 mais sont rappelés ici pour cette partie dispositif de suivi.

### 5.5.1 Matériaux utilisés et durée de vie

Le béton utilisé pour la structure du radier et pour la réalisation des macro-plots correspond à du béton cyclopéen. Ce type de béton dispose d'une durée de vie variant de 50 à 100 ans en fonction des conditions auxquelles il est soumis. Dans notre cas, avec une fermeture prévue du dispositif en période de crue et absence de matériaux grossiers charriés, nous pouvons rester sur une estimation haute de 100 ans.

Les tapis picots de montaison 25 mm en élastomère ont une durée de vie minimale de 10 ans, pouvant être prolongée si les tapis ne sont pas soumis à des vitesses débitantes trop importantes ou à des volumes sédimentaires charriés importants. Leur mise en place et leur remplacement est facilité par un assemblage de tapis de 1 x 0.5 m. Le remplacement de la totalité des tapis picots proposé est estimé à 7 500 € HT (achat + pose de matériau).

La fiche produit du tapis picot de montaison proposé est présentée en annexe 5.

Les vannes en inox et les moteurs servant à leur fonctionnement ont une durée de vie moyenne de 30 ans. Cette dernière est réévaluée en milieu marin à 20 ans, du fait d'une corrosion plus importante des matériaux dans ce contexte.

### ENTRETIEN A REALISER

Trois degrés d'entretien sont proposés :

- Degré 1 : visite de routine : 2 fois par mois, contrôle de la passe et des vannes et suppression des embâcles éventuels (1 personne, durée 30 min) ;
- Degré 2 : visite annuelle : Inspection en eau (1fois / an) en période de basses eaux (1 personne, durée ½ journée) et entretien courant des mécanismes de vanne (graissage) ;
- Degré 3 : Visite détaillée : Vérification de l'ouvrage et des vannes et remise en état si besoin (1 fois tous les 2 à 3 ans, plusieurs personnes, durée 2 à 5 jours).

L'entretien visera à :

- Enlever les embâcles susceptibles de gêner les écoulements au sein de la passe ;
- Prévenir le développement de dépôts et éventuellement de végétaux pouvant nuire à l'ouverture/fermeture des vannes en entrée de passe et des écoulements au sein des passages inter-blocs ;
- Vérifier l'état général de l'ouvrage pour prévenir les phénomènes de sous écoulement, altération des bétons, des tapis picots, de la structure de l'ouvrage.

Les coûts d'entretien sont dépendants du prestataire qui les réalisera.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes presentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi et entretien	Trois degrés d'entretien (visite de routine 2x/mois, annuelle et détaillée, tous les 2 à 3 ans)  Remplacement des tapis picots tous les 10 à 15 ans	Etat de la passe à poissons et des différents éléments	Inspection visuelle sur site	SYMADREM Mairie des Saintes Maries de la Mer	Coût des visites à définir  Coût de remplacement de l'ensemble des tapis picot 8 700 € HT  Coût de remplacement des vannes 20 000 € HT

## 5.6 TELEGESTION ET DEFINITION DES CONDITIONS D'OUVERTURE ET DE FERMETURE DES VANNES

Le système d'ouverture et de fermeture des vannes sera automatisé sur la base d'une règle de gestion préconisée dans le cadre de cette étude (Cf 3.3.3.6). En cas de dépassement d'un seuil fixé, les vannes s'ouvriront ou se fermeront.

Les données d'ouverture et de fermeture seront télétransmises au SYMADREM ou à un autre organisme désigné ou volontaire pour recueillir et traiter ces données. Les données seront également et systématiquement télétransmises, pour information, à la commune.

La règle de gestion pourra être modifiée à l'avenir en fonction des besoins du milieu, des suivis scientifiques ou encore de l'élévation du niveau marin. Ces éléments seront discutés en CEDE (ou au sein d'une commission équivalente après mise en place de la GEMAPI) et la règle de gestion réévaluée et validée si besoin durant ces commissions. La commune sera systématiquement associée à la gestion du Pertuis et de la passe à poissons, pour des raisons de sécurité civile.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes presentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Télégestion et définition des règles de gestion des vannes	A discuter et valider lors des CEDE	Fonctionnement de la passe durant les périodes d'ouverture	Données d'ouverture et de fermeture  - Suivis scientifiques Besoins du milieu Elévation du niveau marin	SYMADREM CEDE	Pas de surcoûts associés

---

		Fréquence annuelle d'ouverture et de fermeture de la passe			
--	--	--	--	--	--

## 5.7 TABLEAU DE SYNTHÈSE DU DISPOSITIF DE SUIVI PROPOSÉ

Le tableau présenté en page suivante synthétise les éléments du dispositif de suivi proposé.

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi des conditions hydrauliques au sein du dispositif de franchissement	Trois à quatre suivis ponctuels durant l'année suivant la réalisation du dispositif de franchissement	Vitesses maximales dans les jets	Mesure sur site via l'utilisation d'un courantomètre	SYMADREM ou bureau d'études en charge du suivi des travaux	6 000 € HT
Suivi des salinités	Ce suivi est effectué à une fréquence mensuelle et sera maintenu ainsi	Salinité des eaux en plusieurs points du système Vaccarès	Mesure sur site via l'utilisation d'une mallette multi-paramètres « WTW multi 340i »	SNPN Réserve de Camargue	Suivi actuellement fonctionnel et actif, pas de surcoûts envisagés
Suivi des niveaux	Ce suivi est effectué en continu	Niveau d'eau au sein du système Vaccarès	Mesure en continu via l'utilisation de 9 limnigraphes à flotteurs  Traitement statistique des résultats obtenus	SNPN Réserve de Camargue	Installations déjà réalisées, pas de surcoûts attendus
Suivi de la qualité des eaux et des sédiments	Suivi à court terme pluriannuel, composé de prélèvements mensuels sur 3 ans	Concentration des différents polluants	Prélèvements réalisés au droit des Impériaux  Analyse des paramètres en laboratoire  Evolution des concentrations en polluant	CD 13	6 000 € / mois  Prix pour trois prélèvements par mois  Coût annuel 72 000 €

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi physico chimique des lagunes	Ce suivi est effectué à une fréquence mensuelle et sera maintenu ainsi	Paramètres physico chimique des eaux au droit des Impériaux, en amont du Pertuis de la Fourcade	Mesure sur site via l'utilisation d'une mallette multi-paramètres « WTW multi 340i »	Association de plusieurs organismes : SNPN Réserve de Camargue ; CD 13	Suivi fonctionnel et actif actuellement, pas de surcoûts associés
Suivi bathymétrique et géomorphologique	Il s'agit d'un suivi à long terme, composé d'une campagne de relevés topographiques et bathymétriques à réaliser tous les 2 à 3 ans.	Altitude des profils en travers	Relevés de profils en travers sur le terrain  Comparaison pluriannuelle des données visant à identifier l'évolution altitudinale des profils	Organisme à définir  BRL Ingénierie est en mesure de réaliser les campagnes de terrain et les traitements de données	Relevés terrain et réalisation des coupes :  6 à 8 k€ / campagne
Suivi des peuplements de poissons du Vaccarès	Suivi annuel avec 4 séries de suivi par an.	Espèces capturées  Nombre d'individus  Taille  Poids	Suivi sur la base de pêches réalisées sur site  Analyse de la distribution des tailles et de l'état des populations	Association de plusieurs organismes : SNPN Réserve de Camargue ; Tour du Valat ;	Suivi actif et fonctionnel actuellement, pas de surcoût associé
Mise en place d'un suivi des populations piscicoles dans les Impériaux	Suivi annuel avec 4 séries de suivi par an.	Espèces capturées  Nombre d'individus  Taille  Poids	Suivi sur la base de pêches réalisées sur site  Analyse de la distribution des tailles et de l'état des populations	Association de plusieurs organismes : SNPN Réserve de Camargue ; Tour du Valat ; CD 13 ;	Coût du suivi au droit des Impériaux : 30 000 € / an

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
				MRM	
<b>Suivi de l'échappement des espèces via la passe à poissons</b>	Suivi en continu pour une durée minimale de 3 années	Nombre d'individus marqués franchissant le dispositif	Marquage préalable des individus  Suivi des résultats du dispositif de télémétrie RFID	Association de plusieurs organismes :  Tour du Valat ;  CD 13 ;  MRM	Coût à définir lors d'un avant-projet avec le SCIMABIO  40 000 €
<b>Suivi des pêches professionnelles dans les Impériaux</b>	Suivi annuel	Nombre d'individus pêchés  Espèces capturées  Taille  Stade de développement	Données de pêches professionnelles disponibles auprès de la DDTM	CD 13	A définir en fonction des données à traiter
<b>Maintien du suivi réalisé par MRM au droit de la passe piège à civelles de la station de l'éolienne</b>	Suivi sur la période de migration des anguilles et civelles	Nombre d'individus piégés  Taille  Stade de développement	Données de suivi de la passe piège MRM	MRM	25 000 € / an

Type de suivi	Fréquence	Indicateur	Données utilisées / modalités de suivi	Organismes pressentis pour le suivi	Estimation du coût du suivi
Suivi et entretien	Trois degrés d'entretien (visite de routine 2x/mois, annuelle et détaillée, tous les 2 à 3 ans)  Remplacement des tapis picots tous les 10 à 15 ans	Etat de la passe à poissons et des différents éléments	Inspection visuelle sur site	SYMADREM  Mairie des Saintes Maries de la Mer	Coût des visites à définir  Coût de remplacement de l'ensemble des tapis picot 8 700 € HT  Coût de remplacement des vannes 20 000 € HT
Télégestion et définition des règles de gestion des vannes	A discuter et valider à l'occasion de chaque CEDE	Fonctionnement de la passe durant les périodes d'ouverture  Fréquence annuelle d'ouverture et de fermeture de la passe	Données d'ouverture et de fermeture télétransmises  Suivis scientifiques  Besoins du milieu  Elévation du niveau marin	SYMADREM  CEDE	Pas de coûts associés

# ANNEXES



# Annexe 1. Formules utilisées pour le dimensionnement des vantelles



Les vitesses circulant au sein des vanelles ont été définies à partir des lois de seuil.

En fonction des lignes d'eau en amont et en aval, la formule utilisée a été celle pour seuil noyé ou pour seuil dénoyé.

<b>RÉSUMÉ pour les lois de seuil :</b>	
Si $H' < 2.H / 3$ :	$Q = \mu.L.\sqrt{2.g.H}^{3/2}$
Si $H' > 2.H / 3$ :	$Q = \mu'.L.H'.\sqrt{2.g(H - H')}$ avec $\mu' = 3\sqrt{3}\mu / 2$

Avec :

L : Longueur du seuil

Q : débit (m<sup>3</sup>/s)

$\mu$  : Coefficient du débit du seuil variant entre 0.32 et 0.50 selon que le seuil est mal ou bien profilé

H : ligne d'eau amont

H' : ligne d'eau aval



## Annexe 2. Résultats bruts du dimensionnement réalisé pour les vanelles



### RESULTATS POUR LES ENTREES D'EAUX DE MER (MIGRATION DE SORTIE DE LAGUNE)

Pour info :  $\mu = 0.45$  et  $\mu' = 1.16$

Heau Mer	H eau Etang	H seuil vantelle	L vantelle	Noyé/dénoyé	V max (m/s)
1.41	1.28	0.85	0.2	noyé	1.43
1.41	1.25	0.85	0.2	noyé	1.48
1.41	1.2	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.41	1.15	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.41	1.1	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.41	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.41	1	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.41	0.95	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.41	0.9	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.41	0.88	0.85	0.2	dénoyé	1.49
1.35	1.28	0.85	0.2	noyé	1.18
1.35	1.25	0.85	0.2	noyé	1.31
1.35	1.2	0.85	0.2	noyé	1.40
1.35	1.15	0.85	0.2	dénoyé	1.41
1.35	1.1	0.85	0.2	dénoyé	1.41
1.35	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.41
1.35	1	0.85	0.2	dénoyé	1.41
1.35	0.95	0.85	0.2	dénoyé	1.41
1.35	0.9	0.85	0.2	dénoyé	1.41
1.35	0.88	0.85	0.2	dénoyé	1.41
1.3	1.28	0.85	0.2	noyé	0.70
1.3	1.25	0.85	0.2	noyé	1.03
1.3	1.2	0.85	0.2	noyé	1.27
1.3	1.15	0.85	0.2	noyé	1.34
1.3	1.1	0.85	0.2	dénoyé	1.34
1.3	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.34
1.3	1	0.85	0.2	dénoyé	1.34
1.3	0.95	0.85	0.2	dénoyé	1.34
1.3	0.9	0.85	0.2	dénoyé	1.34
1.3	0.88	0.85	0.2	dénoyé	1.34
1.25	1.2	0.85	0.2	noyé	1.01
1.25	1.15	0.85	0.2	noyé	1.23
1.25	1.1	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.25	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.25	1	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.25	0.95	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.25	0.9	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.25	0.88	0.85	0.2	dénoyé	1.26

1.2	1.15	0.85	0.2	noyé	0.99
1.2	1.1	0.85	0.2	noyé	1.17
1.2	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.18
1.2	1	0.85	0.2	dénoyé	1.18
1.2	0.95	0.85	0.2	dénoyé	1.18
1.2	0.9	0.85	0.2	dénoyé	1.18
1.2	0.88	0.85	0.2	dénoyé	1.18
1.15	1.1	0.85	0.2	noyé	0.96
1.15	1.05	0.85	0.2	noyé	1.09
1.15	1	0.85	0.2	dénoyé	1.09
1.15	0.95	0.85	0.2	dénoyé	1.09
1.15	0.9	0.85	0.2	dénoyé	1.09
1.15	0.88	0.85	0.2	dénoyé	1.09
1.1	1.05	0.85	0.2	noyé	0.93
1.1	1	0.85	0.2	dénoyé	1.00
1.1	0.95	0.85	0.2	dénoyé	1.00
1.1	0.9	0.85	0.2	dénoyé	1.00
1.1	0.88	0.85	0.2	dénoyé	1.00
1.05	1	0.85	0.2	noyé	0.87
1.05	0.95	0.85	0.2	dénoyé	0.89
1.05	0.9	0.85	0.2	dénoyé	0.89
1.05	0.88	0.85	0.2	dénoyé	0.89
1	0.95	0.85	0.2	noyé	0.77
1	0.9	0.85	0.2	dénoyé	0.77
1	0.88	0.85	0.2	dénoyé	0.77
1.41	1.28	0.85	0.3	noyé	1.43
1.41	1.25	0.85	0.3	noyé	1.48
1.41	1.2	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.41	1.15	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.41	1.1	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.41	1.05	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.41	1	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.41	0.95	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.41	0.9	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.41	0.88	0.85	0.3	dénoyé	1.49
1.35	1.28	0.85	0.3	noyé	1.18
1.35	1.25	0.85	0.3	noyé	1.31
1.35	1.2	0.85	0.3	noyé	1.40
1.35	1.15	0.85	0.3	dénoyé	1.41
1.35	1.1	0.85	0.3	dénoyé	1.41
1.35	1.05	0.85	0.3	dénoyé	1.41
1.35	1	0.85	0.3	dénoyé	1.41
1.35	0.95	0.85	0.3	dénoyé	1.41
1.35	0.9	0.85	0.3	dénoyé	1.41

1.35	0.88	0.85	0.3	dénoyé	1.41
1.3	1.28	0.85	0.3	noyé	0.70
1.3	1.25	0.85	0.3	noyé	1.03
1.3	1.2	0.85	0.3	noyé	1.27
1.3	1.15	0.85	0.3	noyé	1.34
1.3	1.1	0.85	0.3	dénoyé	1.34
1.3	1.05	0.85	0.3	dénoyé	1.34
1.3	1	0.85	0.3	dénoyé	1.34
1.3	0.95	0.85	0.3	dénoyé	1.34
1.3	0.9	0.85	0.3	dénoyé	1.34
1.3	0.88	0.85	0.3	dénoyé	1.34
1.25	1.2	0.85	0.3	noyé	1.01
1.25	1.15	0.85	0.3	noyé	1.23
1.25	1.1	0.85	0.3	dénoyé	1.26
1.25	1.05	0.85	0.3	dénoyé	1.26
1.25	1	0.85	0.3	dénoyé	1.26
1.25	0.95	0.85	0.3	dénoyé	1.26
1.25	0.9	0.85	0.3	dénoyé	1.26
1.25	0.88	0.85	0.3	dénoyé	1.26
1.2	1.15	0.85	0.3	noyé	0.99
1.2	1.1	0.85	0.3	noyé	1.17
1.2	1.05	0.85	0.3	dénoyé	1.18
1.2	1	0.85	0.3	dénoyé	1.18
1.2	0.95	0.85	0.3	dénoyé	1.18
1.2	0.9	0.85	0.3	dénoyé	1.18
1.2	0.88	0.85	0.3	dénoyé	1.18
1.15	1.1	0.85	0.3	noyé	0.96
1.15	1.05	0.85	0.3	noyé	1.09
1.15	1	0.85	0.3	dénoyé	1.09
1.15	0.95	0.85	0.3	dénoyé	1.09
1.15	0.9	0.85	0.3	dénoyé	1.09
1.15	0.88	0.85	0.3	dénoyé	1.09
1.1	1.05	0.85	0.3	noyé	0.93
1.1	1	0.85	0.3	dénoyé	1.00
1.1	0.95	0.85	0.3	dénoyé	1.00
1.1	0.9	0.85	0.3	dénoyé	1.00
1.1	0.88	0.85	0.3	dénoyé	1.00
1.05	1	0.85	0.3	noyé	0.87
1.05	0.95	0.85	0.3	dénoyé	0.89
1.05	0.9	0.85	0.3	dénoyé	0.89
1.05	0.88	0.85	0.3	dénoyé	0.89
1	0.95	0.85	0.3	noyé	0.77
1	0.9	0.85	0.3	dénoyé	0.77
1	0.88	0.85	0.3	dénoyé	0.77

1.41	1.28	0.85	0.4	noyé	1.43
1.41	1.25	0.85	0.4	noyé	1.48
1.41	1.2	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.41	1.15	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.41	1.1	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.41	1.05	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.41	1	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.41	0.95	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.41	0.9	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.41	0.88	0.85	0.4	dénoyé	1.49
1.35	1.28	0.85	0.4	noyé	1.18
1.35	1.25	0.85	0.4	noyé	1.31
1.35	1.2	0.85	0.4	noyé	1.40
1.35	1.15	0.85	0.4	dénoyé	1.41
1.35	1.1	0.85	0.4	dénoyé	1.41
1.35	1.05	0.85	0.4	dénoyé	1.41
1.35	1	0.85	0.4	dénoyé	1.41
1.35	0.95	0.85	0.4	dénoyé	1.41
1.35	0.9	0.85	0.4	dénoyé	1.41
1.35	0.88	0.85	0.4	dénoyé	1.41
1.3	1.28	0.85	0.4	noyé	0.70
1.3	1.25	0.85	0.4	noyé	1.03
1.3	1.2	0.85	0.4	noyé	1.27
1.3	1.15	0.85	0.4	noyé	1.34
1.3	1.1	0.85	0.4	dénoyé	1.34
1.3	1.05	0.85	0.4	dénoyé	1.34
1.3	1	0.85	0.4	dénoyé	1.34
1.3	0.95	0.85	0.4	dénoyé	1.34
1.3	0.9	0.85	0.4	dénoyé	1.34
1.3	0.88	0.85	0.4	dénoyé	1.34
1.25	1.2	0.85	0.4	noyé	1.01
1.25	1.15	0.85	0.4	noyé	1.23
1.25	1.1	0.85	0.4	dénoyé	1.26
1.25	1.05	0.85	0.4	dénoyé	1.26
1.25	1	0.85	0.4	dénoyé	1.26
1.25	0.95	0.85	0.4	dénoyé	1.26
1.25	0.9	0.85	0.4	dénoyé	1.26
1.25	0.88	0.85	0.4	dénoyé	1.26
1.2	1.15	0.85	0.4	noyé	0.99
1.2	1.1	0.85	0.4	noyé	1.17
1.2	1.05	0.85	0.4	dénoyé	1.18
1.2	1	0.85	0.4	dénoyé	1.18
1.2	0.95	0.85	0.4	dénoyé	1.18
1.2	0.9	0.85	0.4	dénoyé	1.18

1.2	0.88	0.85	0.4	dénoyé	1.18
1.15	1.1	0.85	0.4	noyé	0.96
1.15	1.05	0.85	0.4	noyé	1.09
1.15	1	0.85	0.4	dénoyé	1.09
1.15	0.95	0.85	0.4	dénoyé	1.09
1.15	0.9	0.85	0.4	dénoyé	1.09
1.15	0.88	0.85	0.4	dénoyé	1.09
1.1	1.05	0.85	0.4	noyé	0.93
1.1	1	0.85	0.4	dénoyé	1.00
1.1	0.95	0.85	0.4	dénoyé	1.00
1.1	0.9	0.85	0.4	dénoyé	1.00
1.1	0.88	0.85	0.4	dénoyé	1.00
1.05	1	0.85	0.4	noyé	0.87
1.05	0.95	0.85	0.4	dénoyé	0.89
1.05	0.9	0.85	0.4	dénoyé	0.89
1.05	0.88	0.85	0.4	dénoyé	0.89
1	0.95	0.85	0.4	noyé	0.77
1	0.9	0.85	0.4	dénoyé	0.77
1.41	1.28	1	0.4	noyé	1.28
1.41	1.25	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	1.2	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	1.15	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	1.1	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	1.05	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	1	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	0.95	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	0.9	1	0.4	dénoyé	1.28
1.41	0.88	1	0.4	dénoyé	1.28
1.35	1.28	1	0.4	noyé	1.10
1.35	1.25	1	0.4	noyé	1.17
1.35	1.2	1	0.4	dénoyé	1.18
1.35	1.15	1	0.4	dénoyé	1.18
1.35	1.1	1	0.4	dénoyé	1.18
1.35	1.05	1	0.4	dénoyé	1.18
1.35	1	1	0.4	dénoyé	1.18
1.35	0.95	1	0.4	dénoyé	1.18
1.35	0.9	1	0.4	dénoyé	1.18
1.35	0.88	1	0.4	dénoyé	1.18
1.3	1.28	1	0.4	noyé	0.68
1.3	1.25	1	0.4	noyé	0.96
1.3	1.2	1	0.4	noyé	1.09
1.3	1.15	1	0.4	dénoyé	1.09
1.3	1.1	1	0.4	dénoyé	1.09
1.3	1.05	1	0.4	dénoyé	1.09

1.3	1	1	0.4	dénoyé	1.09
1.3	0.95	1	0.4	dénoyé	1.09
1.3	0.9	1	0.4	dénoyé	1.09
1.3	0.88	1	0.4	dénoyé	1.09
1.25	1.2	1	0.4	noyé	0.93
1.25	1.15	1	0.4	dénoyé	1.00
1.25	1.1	1	0.4	dénoyé	1.00
1.25	1.05	1	0.4	dénoyé	1.00
1.25	1	1	0.4	dénoyé	1.00
1.25	0.95	1	0.4	dénoyé	1.00
1.25	0.9	1	0.4	dénoyé	1.00
1.25	0.88	1	0.4	dénoyé	1.00
1.2	1.15	1	0.4	noyé	0.87
1.2	1.1	1	0.4	dénoyé	0.89
1.2	1.05	1	0.4	dénoyé	0.89
1.2	1	1	0.4	dénoyé	0.89
1.2	0.95	1	0.4	dénoyé	0.89
1.2	0.9	1	0.4	dénoyé	0.89
1.2	0.88	1	0.4	dénoyé	0.89
1.15	1.1	1	0.4	noyé	0.77
1.15	1.05	1	0.4	dénoyé	0.77
1.15	1	1	0.4	dénoyé	0.77
1.15	0.95	1	0.4	dénoyé	0.77
1.15	0.9	1	0.4	dénoyé	0.77
1.15	0.88	1	0.4	dénoyé	0.77
1.1	1.05	1	0.4	dénoyé	0.63
1.1	1	1	0.4	dénoyé	0.63
1.1	0.95	1	0.4	dénoyé	0.63
1.1	0.9	1	0.4	dénoyé	0.63
1.1	0.88	1	0.4	dénoyé	0.63
1.05	1	1	0.4	dénoyé	0.45
1.05	0.95	1	0.4	dénoyé	0.45
1.05	0.9	1	0.4	dénoyé	0.45
1.05	0.88	1	0.4	dénoyé	0.45

### RESULTATS POUR LA VIDANGE DES ETANGS (MIGRATION D'ENTREE DANS LA LAGUNE)

Heau Etang	H eau Mer	H seuil vantelle	L vantelle	Noyé/dénoyé	V max
1.28	1.25	0.85	0.8	noyé	0.83
1.28	1.2	0.85	0.2	noyé	1.19
1.28	1.15	0.85	0.2	noyé	1.30
1.28	1.1	0.85	0.2	dénoyé	1.31
1.28	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.31
1.28	1	0.85	0.2	dénoyé	1.31
1.25	1.2	0.85	0.2	noyé	1.01
1.25	1.15	0.85	0.2	noyé	1.23
1.25	1.1	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.25	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.25	1	0.85	0.2	dénoyé	1.26
1.2	1.15	0.85	0.2	noyé	0.99
1.2	1.1	0.85	0.2	noyé	1.17
1.2	1.05	0.85	0.2	dénoyé	1.18
1.2	1	0.85	0.2	dénoyé	1.18
1.15	1.1	0.85	0.2	noyé	0.96
1.1	1.05	0.85	0.2	noyé	0.93
1.1	1	0.85	0.2	dénoyé	1.00
1.05	1	0.85	0.2	noyé	0.87



## Annexe 3. Résultats bruts de l’outil Cassiopée, utilisé pour le dimensionnement de la passe à bassins



### Résultats de l'outil Cassiopée pour la passe à bassins dans le sens mer-étangs pour les valeurs extrêmes (mer : 0.41 mNGF ; étangs : -0.12 mNGF)

NB : Certaines valeurs altitudinales étant en dessous de 0mNGF, l'outil a été utilisé en ajoutant +1mNGF aux altitudes pour assurer un fonctionnement convenable (exemple : z réel = -0.12mNGF => z outil = 0.88m). Ces valeurs ont été corrigées dans le contenu du rapport, mais pas au sein des captures d'écran présentées ci-dessous.

Cassiopee

Fichier Edition Outils Lignes d'eau ?

Caractéristiques géométriques de Passe\_saintes\_sens\_mer-etangs

	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dév Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Bêta Ech 1	Cote seuil Ech 1	Larg Ech 2	Alpha Ech 2	Bêta Ech 2	Cote seuil Ech 2
1	0.120	0.700	0.150	0.650	0.900	0.600	0.400	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.120	0.700	0.150	0.650	0.750	0.450	0.300	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.120	0.700	0.150	0.650	0.500	0.200	0.200	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.120	0.700	0.150	0.650	0.350	0.050				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Vanne : Sans

Paramètres de fonctionnement : Ligne d'eau N°1

	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	1.410									
1	1.266	147	0.866	0.260	0.400	0.000	1	0.144	0.600	0.225
2	1.122	153	0.822	0.274	0.300	0.000	2	0.143	0.450	0.225
3	0.999	136	0.799	0.282	0.200	0.000	3	0.123	0.200	0.225
4							4	0.119	0.050	0.225
Avl	0.880									

Cote Van Sans

### Résultats de l'outil Cassiopée pour la passe à bassins dans le sens mer-étangs (mer : 0.20 mNGF ; étangs : -0.12 mNGF)

Cassiopée

Fichier Edition Outils Lignes d'eau ?

Caractéristiques géométriques de Passe\_saintes\_sens\_mer-etangs

	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dév Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Béta Ech 1	Cote seuil Ech 1	Larg Ech 2	Alpha Ech 2	Béta Ech 2	Cote seuil Ech 2
1	0.120	0.700	0.150	0.650	0.900	0.600				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.120	0.700	0.150	0.650	0.750	0.450	0.400	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.120	0.700	0.150	0.650	0.500	0.200	0.300	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.120	0.700	0.150	0.650	0.350	0.050	0.200	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Vanne : Sans

---

Paramètres de fonctionnement : Ligne d'eau N°1

	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	1.200									
1	1.102	85	0.702	0.224	0.400	0.000	1	0.098	0.600	0.157
2	1.012	77	0.712	0.220	0.300	0.000	2	0.090	0.450	0.157
3	0.942	58	0.742	0.211	0.200	0.000	3	0.070	0.200	0.157
4							4	0.062	0.050	0.157
Avl	0.880									

Cote Van : Sans

### Résultats de l'outil Cassiopée pour la passe à bassins dans le sens mer-étangs (mer : 0 mNGF ; étangs : -0.12 mNGF)

Cassiopée

Fichier Edition Outils Lignes d'eau ?

Caractéristiques géométriques de Passe\_saintes\_sens\_mer-etangs

	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dév Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Béta Ech 1	Cote seuil Ech 1	Larg Ech 2	Alpha Ech 2	Béta Ech 2	Cote seuil Ech 2
1	0.120	0.700	0.150	0.650	0.900	0.600	0.400	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.120	0.700	0.150	0.650	0.750	0.450	0.300	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.120	0.700	0.150	0.650	0.500	0.200	0.200	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.120	0.700	0.150	0.650	0.350	0.050				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Vanne : Sans

Paramètres de fonctionnement : Ligne d'eau N°1

	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	1.000									
1	0.958	25	0.558	0.153	0.400	0.000	1	0.042	0.600	0.085
2	0.923	18	0.623	0.137	0.300	0.000	2	0.034	0.450	0.085
3	0.900	11	0.700	0.122	0.200	0.000	3	0.024	0.200	0.085
4							4	0.020	0.050	0.085
Avl	0.880									
Cote Van										

Cote Van : Sans

### Résultats de l'outil Cassiopée pour la passe à bassins dans le sens mer-étangs (mer : 0,20 mNGF ; étangs : 0 mNGF)

Cassiopee

Fichier Edition Outils Lignes d'eau ?

Caractéristiques géométriques de Passe\_saintes\_sens\_mer-etangs

	Surf Orif	Mu Orif	Larg. Fent	Mu Fent	Cote dév Fente	Cote Rad amt pa.	Cote Rad mi-bas.	Long Bas.	Larg Bas.	Larg Ech 1	Alpha Ech 1	Béta Ech 1	Cote seuil Ech 1	Larg Ech 2	Alpha Ech 2	Béta Ech 2	Cote seuil Ech 2
1	0.120	0.700	0.150	0.650	0.900	0.600	0.400	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.120	0.700	0.150	0.650	0.750	0.450	0.300	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.120	0.700	0.150	0.650	0.500	0.200	0.200	2.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.120	0.700	0.150	0.650	0.350	0.050				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

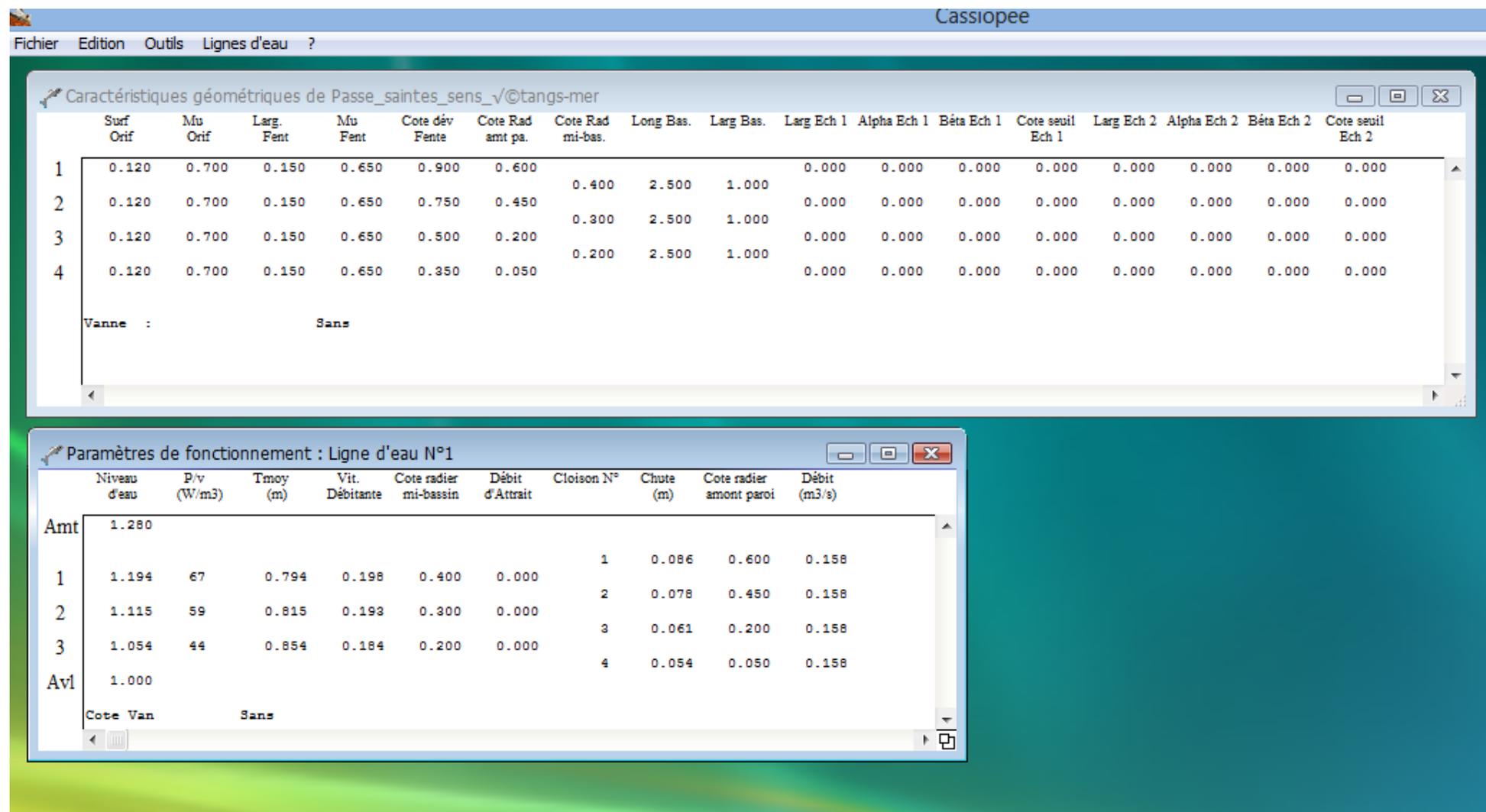
Vanne : Sans

Paramètres de fonctionnement : Ligne d'eau N°1

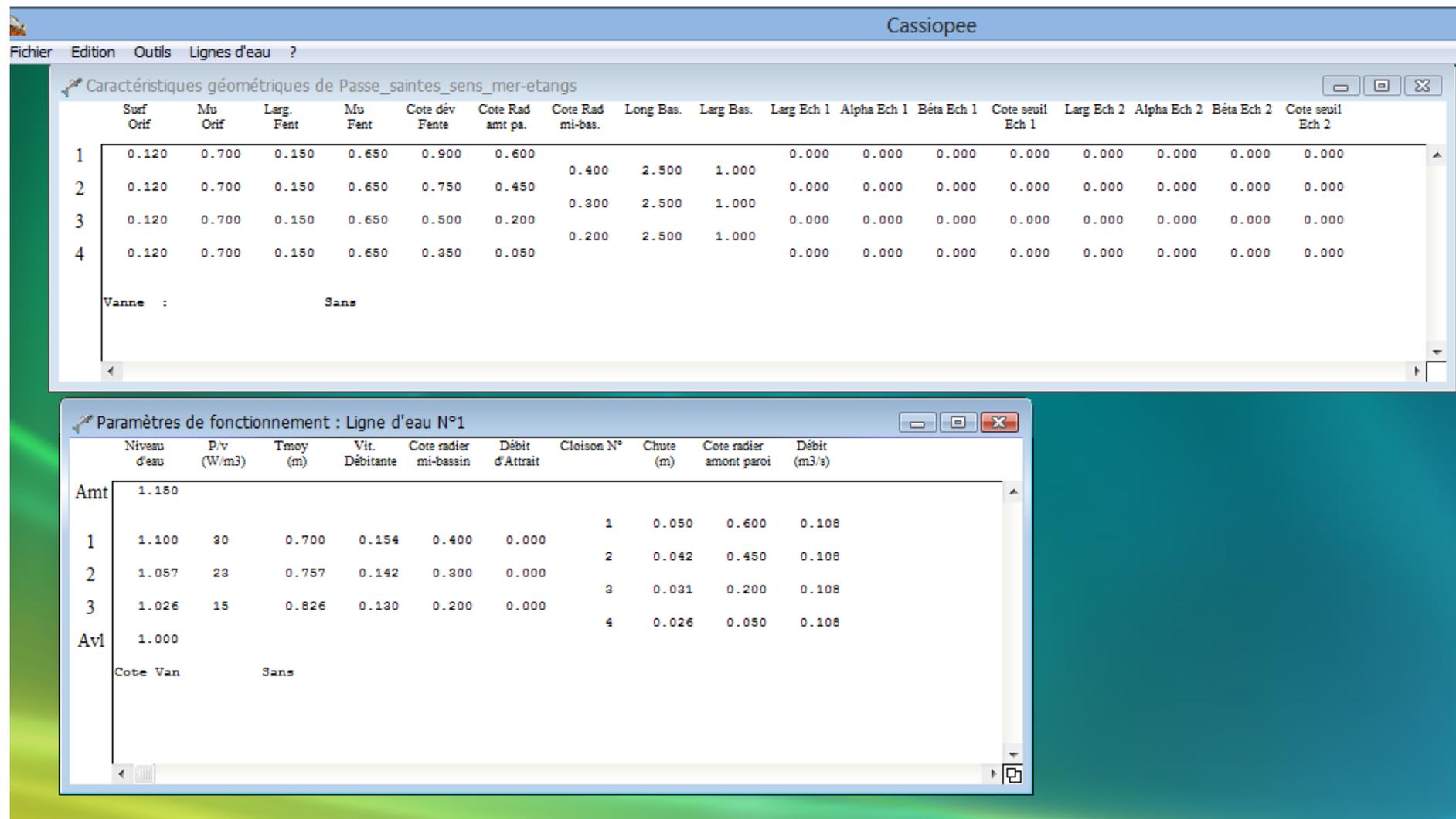
	Niveau d'eau	P/v (W/m3)	Tmoy (m)	Vit. Débitante	Cote radier mi-bassin	Débit d'Attrait	Cloison N°	Chute (m)	Cote radier amont paroi	Débit (m3/s)
Amt	1.200									
1	1.135	44	0.735	0.174	0.400	0.000	1	0.065	0.600	0.128
2	1.079	36	0.779	0.164	0.300	0.000	2	0.056	0.450	0.128
3	1.037	25	0.837	0.153	0.200	0.000	3	0.042	0.200	0.128
4							4	0.037	0.050	0.128
Avl	1.000									

Cote Van Sans

### Résultats de l'outil Cassiopee pour la passe à bassins dans le sens étang-mer pour les valeurs extrêmes (mer : 0 mNGF ; étangs : 0.28 mNGF)



### Résultats de l'outil Cassiopée pour la passe à bassins dans le sens étang-mer (mer : 0 mNGF ; étangs : 0.15 mNGF)



## Annexe 4. Résultats bruts de l’outil d’aide au dimensionnement de passes à macrorugosités



**DONNEES DE DIMENSIONNEMENT DE LA PASSE UTILISEES**

Données de dimensionnement passe à poissons	
Diamètre des blocs	0.3
Hauteur émergente	0.85
Concentration	16.0%
Largeur passe	3
Espacement cumulé	1.8

Au regard du nombre important de données analysées, les résultats bruts sont fournis exclusivement pour l'année 2016 (pour exemple, étant l'année la plus proche des périodes qui nous intéressent) au sein d'une annexe spécifique.



## Annexe 5. Fiche technique des tapis picots en élastomère, dispositif de montaison pour l'anguille



## TAPIS PICOTS DE MONTAISON

### Pour passe à anguille

Nous vous présentons un produit d'équipement de rampe de reptation nécessaire à la migration et à la sauvegarde des anguilles.

Ses caractéristiques sont particulièrement adaptés à la montaison de la civelle, mais conviennent aussi pour des stades biologiques plus avancés (40cm).

Notre objectif est de proposer un matériau adapté aux contraintes suivantes :

- Une résistance à l'abrasion importante (sable, bois, gravier...)
- Une résistance aux UV, à la lumière.
- Un ancrage correct pouvant s'adapter à un sol irrégulier, résister à la pression de l'eau (soulèvement), sans risque de corrosion.
- Une mise en oeuvre facile, avec possibilité de maintenance.

	Produit par moulage dans la masse en élastomère. Existe en deux dimensions :
	<b>TAPIS PICOTS 25</b>  Longueur : 1 Mètre, largeur : 50 cm Hauteur picots : 25 mm Semelle de : 8 mm Poids : 6,3 kg
	<b>TAPIS PICOTS 50</b>  Longueur : 87 cm, largeur : 41 cm Hauteur picots : 50 mm Semelle de : 10 mm Poids : 4,8 kg
	Ancrage sur dalle béton directement ou dans une goulotte polyester.

*Directement sur l'ouvrage à franchir, ce produit convient pour des passages étroits ou des rivières à faible débit.*

*Mise en place dans des goulottes supports, elles seront idéales le long d'ouvrage très haut. Des paliers pourront alors être aménagés.*

PROPRIETES MECANQUES A 23 °C (1)			
Dureté	ISO 868 : 2003	Shore A1/ A15	95 / 94
Résistance en traction	ISO 37 : 2004	MPa	16
Allongement à la rupture	ISO 37 : 2004	%	460
Résistance au déchirement <i>Eprouvettes angulaires sans entaille</i>	ISO 34 :2004	kN/m	57
BASHORE résilience	ASTM 2632 : 1992	%	53
Résistance à l'abrasion (TABER 1000 revs / H22)	ISO 5470: 1999	mg/100U	80

PROPRIETES SPECIFIQUES ET THERMIQUES (1)			
Température d'utilisation	-	-	-40 / +80
Température de transition vitreuse (tg)	ISO 11357 : 1999	°C	< -50
Coefficient de dilatation linéaire (CTE) (0°C à +40°C)	ISO 11359 : 1999	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	200
Retrait linéaire ( 250x50x3mm)	-	mm/m	7,90
Epaisseur maximale de coulée	-	mm	50
Temps de démoulage		h	
- à 23 °C			8
- à 80 °C			2
Temps de durcissement		h	
- à 23 °C			96
- à 80 °C ( étuvage après gélification )			4

(1) : Valeurs moyennes obtenues sur éprouvettes normalisées / Durcissement 16 h à 70 °C

**MARSEILLE MODELAGE MECANIQUE**  
 1 ZA les Plaines Sud – 13250 – St CHAMAS  
[www.montaison-anguille.fr](http://www.montaison-anguille.fr) ou [www.modeleur.fr](http://www.modeleur.fr)  
[marseille.modelage@wanadoo.fr](mailto:marseille.modelage@wanadoo.fr)  
**04.09.50.74.09**

