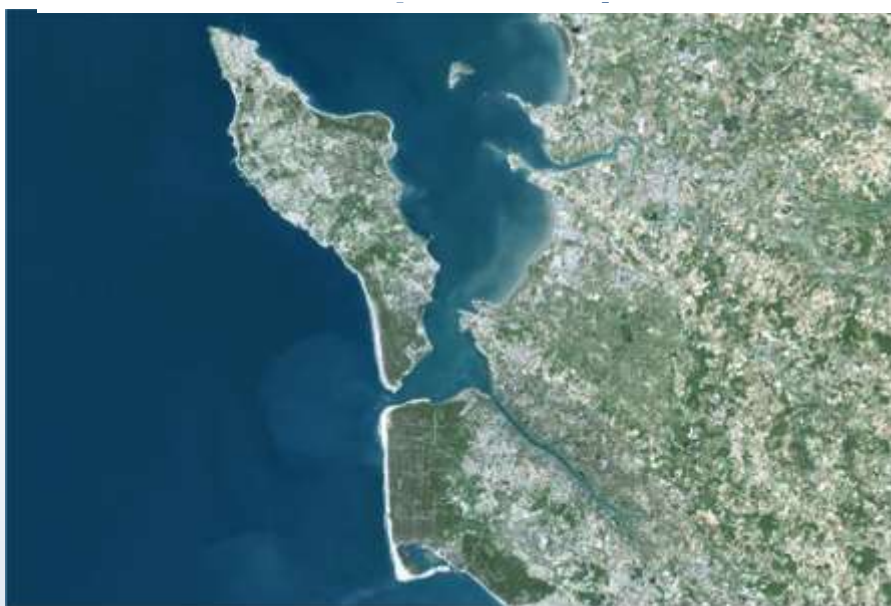


Etude de définition de débits biologiques et débits objectifs complémentaires pour les bassins Charente – Boutonne – Seudre

Rapport d'avancement méthodologique



LOT 2

Estuaire de la
Charente et DMB
Saint Savinien

SOMMAIRE

1	PREAMBULE	7
2	RAPPEL DES ELEMENTS METHODOLOGIQUES POUR DEFINIR DES DEBITS BIOLOGIQUES.....	9
2.1	Objectifs poursuivis.....	9
2.1.1	<i>Résumé de la démarche théorique de définition des débits biologiques</i>	<i>9</i>
2.1.2	<i>Objectifs pour l'estuaire de la Charente</i>	<i>12</i>
2.1.3	<i>Spécificité de l'estuaire de la Charente.....</i>	<i>13</i>
2.1.4	<i>Spécificité du secteur amont de l'estuaire de la Charente en lien avec le Débit minimum biologique de l'ouvrage de Saint-Savinien</i>	<i>15</i>
2.2	Spatialisation des enjeux quantitatifs en étiage fluvial et enjeux des débits fluviaux instantanés.....	16
3	MODELISATION DES FACTEURS DE CONTROLE DE L'ETAT BIOLOGIQUE EN LIEN AVEC LE DEBIT.	18
3.1	Des paramètres en interaction	18
3.2	Les données quantitatives disponibles	19
3.2.1	<i>Les débits</i>	<i>19</i>
3.2.2	<i>Les marées.....</i>	<i>21</i>
3.3	Les données qualitatives exploitables	21
3.3.1	<i>Les sondes de suivi qualité en continu mobilisées pour les débits biologiques</i>	<i>21</i>
3.3.2	<i>Représentativité de ces sondes.....</i>	<i>22</i>
3.3.3	<i>Les paramètres suivis en continu et la biologie.....</i>	<i>24</i>
3.4	Le modèle STURl'Eau pour tester des hypothèses	34
3.4.1	<i>Turbidité</i>	<i>35</i>
3.4.2	<i>La salinité.....</i>	<i>35</i>
3.4.3	<i>La température, un paramètre largement indépendant du débit.....</i>	<i>36</i>
3.4.4	<i>L'oxygène.....</i>	<i>38</i>
4	PROPOSITION DE DEBITS BIOLOGIQUES	43
4.1	Saisonnalité des objectifs.....	43
4.2	Des valeurs seuils aux débits biologiques, une situation nécessitant une approche matricielle	46
4.2.1	<i>Choix des marées de référence</i>	<i>46</i>
4.2.2	<i>Objectif turbidité.....</i>	<i>47</i>
4.2.3	<i>Objectif salinité.....</i>	<i>48</i>
4.2.4	<i>Objectif oxygène</i>	<i>49</i>
4.3	Rapprochement des enjeux débit et oxygène sur le cycle annuel	52
4.3.1	<i>Prise en compte du régime thermique</i>	<i>52</i>
4.3.2	<i>Conséquence sur le régime des débits souhaitables en fonction de l'objectif oxygène.....</i>	<i>53</i>
4.3.3	<i>Prise en compte du couple température oxygène pour les alosons</i>	<i>54</i>
4.4	Autres objectifs envisageables.....	55
5	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	58

6	DMB SAINT SAVINIEN.....	60
	DESCRIPTION ET GESTION DE SAINT SAVINIEN	62
1	DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT ET SPECIFICITES DE SA GESTION	64
1.1	Les ouvrages.....	64
1.2	La retenue d'eau	65
1.3	Le débit réservé règlementaire et le débit minimum biologique : un même objectif .65	
1.3.1	<i>Objectifs.....</i>	<i>65</i>
1.3.2	<i>Arrêté préfectoral 2015</i>	<i>66</i>
1.3.3	<i>Contexte hydrologique</i>	<i>66</i>
1.4	Spécificité de la gestion en fonction du contexte hydraulique	69
1.4.1	<i>Principes simplifiés de gestion des organes de régulation</i>	<i>69</i>
1.4.2	<i>Evaluation des variations des débits restitués pendant un cycle de gestion d'étiage coefficients faible à moyen (< 70) (mi-juillet 2023)</i>	<i>70</i>
1.4.3	<i>Evaluation des variations des débits restitués pendant un cycle de gestion d'étiage forts coefficients > 70</i>	<i>73</i>
2	DEUX CRITERES POUR LA DEFINITION DU DEBIT MINIMUM BIOLOGIQUE A SAINT SAVINIEN : L'HYDRAULIQUE ET LA QUALITE DES EAUX.....	75
2.1	Enjeu hydraulique du DMB sur la continuité piscicole en étiage	75
2.1.1	<i>La situation hors étiage</i>	<i>75</i>
2.1.2	<i>Retour d'expérience du piégeage scientifique dans la passe à poissons.....</i>	<i>76</i>
2.1.3	<i>Modélisation hydraulique de l'habitat aquatique en étiage à la sortie de l'aménagement pour l'habitat aquatique</i>	<i>78</i>
2.2	Enjeu qualité des eaux du DMB à Saint Savinien.....	81
2.2.1	<i>Turbidité</i>	<i>82</i>
2.2.2	<i>Salinité</i>	<i>82</i>
2.2.3	<i>Oxygène dissous</i>	<i>84</i>
3	EN CONCLUSION.....	87
4	ANNEXE DMB SAINT SAVINIEN.....	89
4.1	Limitation liée à l'insuffisance des débits en amont.....	89
4.2	Fonctionnement hydraulique en étiage en sortie aval du système à Saint-Savinien...89	
4.3	Article L214-18	94

SOMMAIRE ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Les périmètres de l'étude.....	8
Figure 2 : Schéma du réseau trophique estuarien, « Des poissons sous influence ? » Thèse Delphine Nicolas p 16	12
Figure 3 : Débits instantanés en aval de Saint-Savinien en période d'étiage et faibles coefficients de marée	17
Figure 4 : Effet du débit fluvial de Saint-Savinien sur le débit estuarien.....	17
Figure 5 : Hydrogramme statistique reconstitué et approximé des débits entrants Charente Seugne et Boutonne dans l'estuaire de la Charente 2006/2020	20
Figure 6 : Débits estuariens Charente et Boutonne estimés en m ³ /s de 2006 à 2023	20
Figure 7 La sonde de l'Houmée. Photo Eaucea	22
Figure 8 : Oscillations de la masse d'eau dans 4 secteurs de l'estuaire en étiage. Test de déplacement des particules dans l'estuaire. Modèle Telemac 2D.	23
Figure 9 : Proposition d'une grille qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence. Source étude CEMAGREF C. Taverny et al 2009	24
Figure 10 : Salinité Source Sandre urn:sandre:donnees:317:::referentiel:3.1:.....	25
Figure 11 : turbidité et salinité le long de la Charente et à la prise d'eau de Coulonge en 2022.....	26
Figure 12 : Graphe Salinité, Débit, Hauteur de marée Etiage 2022 La Charente à l'Houmée.....	26
Figure 13 : Salinité à Tonnav en fonction du débit moyen sur 4 jours consécutifs de la Charente à l'estuaire.	27
Figure 14 : Illustration des effets du débit sur la salinité à l'embouchure en période d'étiage (modélisation Mars 3D Ifremer).....	28
Figure 15 : Salinité à Lupin en fonction du débit moyen sur 4 jours consécutifs de la Charente à Beillant.	28
Figure 16 : Annexe 6 de l'arrêté du 27 juillet 2018 en application de la DCE pour l'oxygène dissous dans les masses d'eau littorales (y compris eaux de transition).	30
Figure 17 : Les enjeux de l'hypoxie pour les migrateurs Source (Foussard and Lepage, 2016)	30
Figure 18 : Domaine d'évolution de l'oxygène dans l'estuaire amont <u>classe DCE</u> Source Magest et CD 17	31
Figure 19 : Turbidité Mesurée (MAGEST), Turbidité Simulée (STURIEAU) et Débit de la Charente.....	35
Figure 20 : Salinité g/L Mesurée à Tonnav (moyenne journalière MAGEST), Salinité Simulée (STURIEAU)	36
Figure 21 : Calage du modèle thermique de l'estuaire de la Charente à Tonnav Charente (T° en moyenne journalière)	37
Figure 22 : Simulation pluriannuelle (1916-2023) de la température [moyenne journalière] de l'eau à Tonnav-Charente	37
Figure 23 : Simulation pluriannuelle (1916-2023) de la température « warming strip » de l'eau à Tonnav-Charente	38
Figure 24: Oxygène Mesuré (MAGEST), Oxygène Simulé (STURIEAU) à Tonnav Charente.....	40
Figure 25 Analyse statistique des écarts négatifs de la concentration en O ₂ dissous par rapport à la valeur moyenne journalière (quantile)	41
Figure 26 Amplitude statistique des baisses probables de la valeur de concentration en oxygène par plage de concentration moyenne.....	42
Figure 27 : Calendriers d'occupation des masses d'eaux de transition par les espèces de poissons considérées – présence et migrations (d'après ÉLIE,1992); en rouge: les poissons migrateurs non considérés comme sensibles au crise d'hypoxie . Source C. Taverny CEMAGREF (2009).....	45
Figure 28 Matrice débit/marée/turbidité	47
Figure 29 Graphe illustrant l'augmentation tendancielle des jours de température élevée.....	50
Figure 30 Profil thermique de l'eau de l'estuaire de la Charente à Tonnav Charente 2000 à 2023	52
Figure 31 Matrice des débits favorables à l'atteinte des seuils en oxygène pour 75% des marées (coefficient inférieur à 90)	53
Figure 32 : Régime des débits statistiquement nécessaires à l'atteinte des seuils d'oxygène	53
Figure 33 Traduction graphique des conditions d'oxygénation à respecter sur la Charente compte tenu du régime thermique de l'estuaire	54
Figure 34 : Courbes de synthèse des débits biologiques « alosons » fondées sur l'oxygène et la température à Tonnav Charente.....	55
Figure 35 : Evaluation des flux de nitrates transitant par l'estuaire de la Charente	57
Figure 36 tableau de synthèse des critères de fixation des débits biologiques pour l'estuaire de la Charente ...	59
Figure 37 : Vue aérienne des ouvrages hydrauliques de Saint-Savinien (Damien Filloux, MIGADO) (SZCZEPANIAK et al. 2022)	64
Figure 38 : Les niveaux de gestion pour réguler le niveau d'eau à Saint-Savinien.....	69
Figure 39 Séquençage des conséquences de la gestion hydraulique sur le niveau du plan d'eau amont.....	71

Figure 39 Reconstitution du débit fluvial en pied d'ouvrage	71
Figure 40 : Suivi concomitant des cotes des plans d'eau amont et aval	73
Figure 41 Graphe de synthèse présentant les principaux paramètres de la gestion. Source données SIDEV	74
Figure 42 : Clapet totalement submergé et vannes ouvertes le 23 novembre 2023 à 15h49, photo Eaucéa. Le panache de turbidité illustre la complexité de l'analyse du mélange des eaux issus des deux bras.....	75
Figure 43 : Diagramme des situations hydrauliques et du succès du piégeage des aloses. Source étude de suivi de la passe à poissons Rapport technique 2021 - CMCS	77
Figure 44 Evaluation du débit de la passe à poissons (PAP) ; Source données SIDEV CD 17	77
Figure 45 Illustration des champs de vitesse dans le lit de la Charente en aval immédiat de l'aménagement sous le seul effet des marées	79
Figure 46 : Présentation des conditions expérimentales du 15 juillet 2023. Source de données SIDEV CD17. A noter des fluctuations rapides des débit instantanés (Q Bras nat) liées à la gestion (encadré rouge)	80
Figure 47 : Analyse comparative des vitesses maximales (au centre du lit) avec(Hyp2 -conditions expérimentales du 15 juillet 2023) et sans débit (Hyp1)	81
Figure 48 La turbidité aux différentes stations de la Charente et de l'usine de Coulonge. Etiage 2022	82
Figure 49 Graphe Salinité, Etiage 2022 l'estuaire amont de la Charente	83
Figure 50 Dynamique de l'oxygène dissous en étiage au niveau de Saint Savinien.....	84
Figure 51 : Migration de montaison : situation non limitante pour les migrateurs.....	86

1 Préambule

Le maintien d'un flux d'eau douce vers les deux estuaires de la Seudre et de la Charente et plus largement vers la mer des pertuis est un objectif partagé par les 2 SAGE concernés et par le plan de gestion du Parc Marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. La notion de « débit biologique pour les estuaires » est à ce jour quasi inexistante dans la littérature scientifique française et rare à l'international alors même qu'il ne peut y avoir d'estuaire sans fleuve. Pourtant, la question du partage de la ressource en eau douce s'exacerbe sous la triple contrainte des changements globaux, de l'évolution des usages et des objectifs de bon état environnemental. La question posée dans cette démarche reste donc largement exploratoire et il est nécessaire de considérer la suite de cette étude comme une contribution à la définition de ces débits biologiques.

Le cahier des charges de l'étude doit aboutir à la détermination de débits biologiques sur l'année hydrologique pour trois secteurs ci-dessous.

- Estuaire de la Seudre (SAGE Seudre) : en aval de l'Ecluse de Ribérou. Le SMBS (Syndicat Mixte du Bassin de la Seudre) attend une gamme de débits à l'écluse de Ribérou sur l'ensemble de l'année hydrologique ;
- **Estuaire de la Charente (SAGE Charente). Le périmètre d'étude envisagé s'étend de Saint Savinien (barrage) à l'île d'Aix. L'EPTB Charente attend une gamme de débits sur l'ensemble de l'année hydrologique ;**
- **L'étude devra aussi aboutir à la détermination de DMB à l'aval de l'ouvrage de Saint-Savinien sur la Charente pour le compte du Département de Charente-Maritime, propriétaire de cet ouvrage. Approche demandée dans le cadre de son arrêté préfectoral d'exploitation d'août 2015.**

Un premier travail de partage des éléments de bibliographie et des données a été réalisé dans le cadre de la première phase de ce travail et a conduit à repréciser ces éléments de cahier des charges en regard des données disponibles ou mobilisables ou utiles à la réflexion.

En plus des travaux à caractère méthodologiques, les éléments recueillis concernent :

- Géographie et notamment la cartographie des obstacles aux connexions latérales et longitudinales ;
- Hydrologie ;
- Bathymétries, hydrauliques et notamment une modélisation hydraulique 2 D pour la Charente ;
- Qualité des eaux recensant l'ensemble des données disponibles et les mécanismes estuariens connus sur la Charente ;
- Hydrobiologie des estuaires Charente et notamment le suivi des migrateurs.

Le présent document traite essentiellement de l'estuaire de la Charente et donc des débits biologiques et débits minimum biologiques à Saint Savinien.

Le travail est donc séquencé en deux parties principales :

- Des propositions pour le Débit biologique estuarien de la Charente ;
- Un zoom sur le débit minimum biologique de Saint Savinien qui nécessite de s'intéresser de façon fine au fonctionnement des ouvrages.

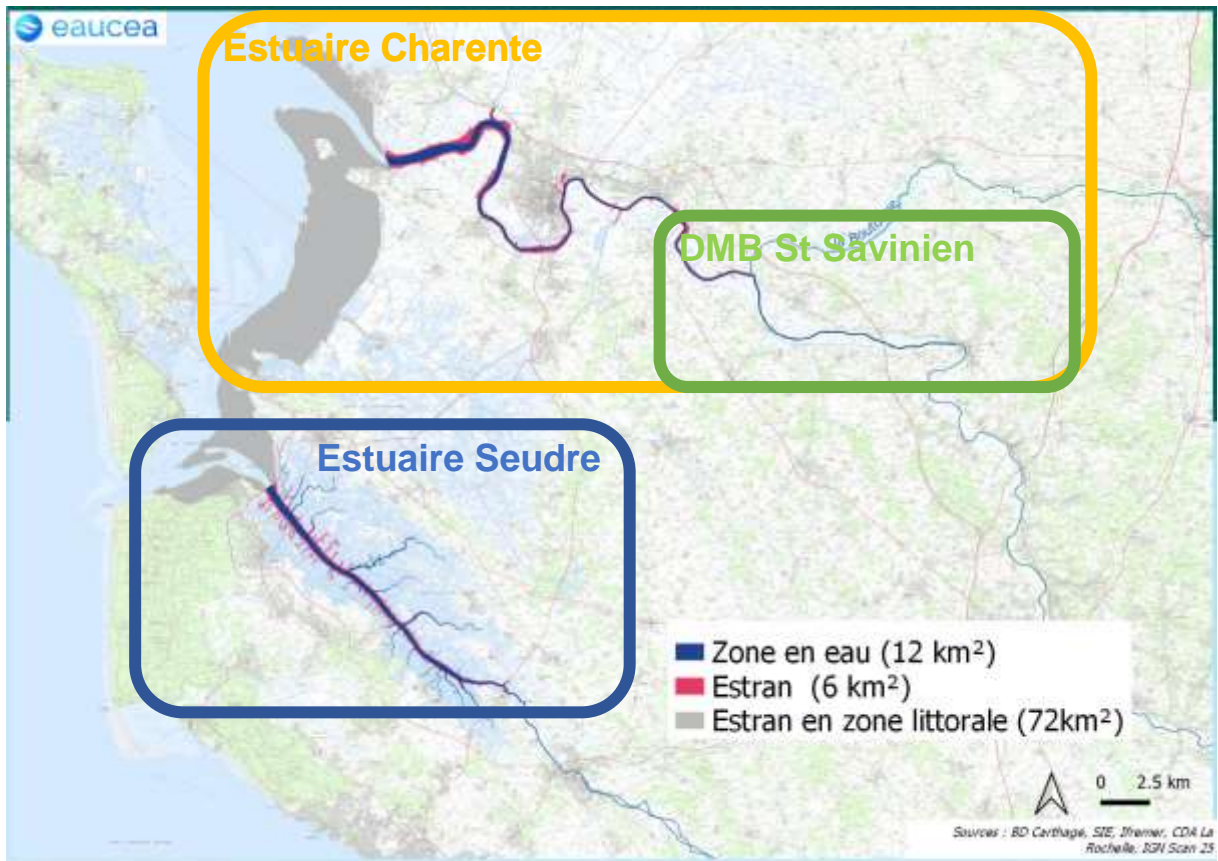


Figure 1 : Les périmètres de l'étude

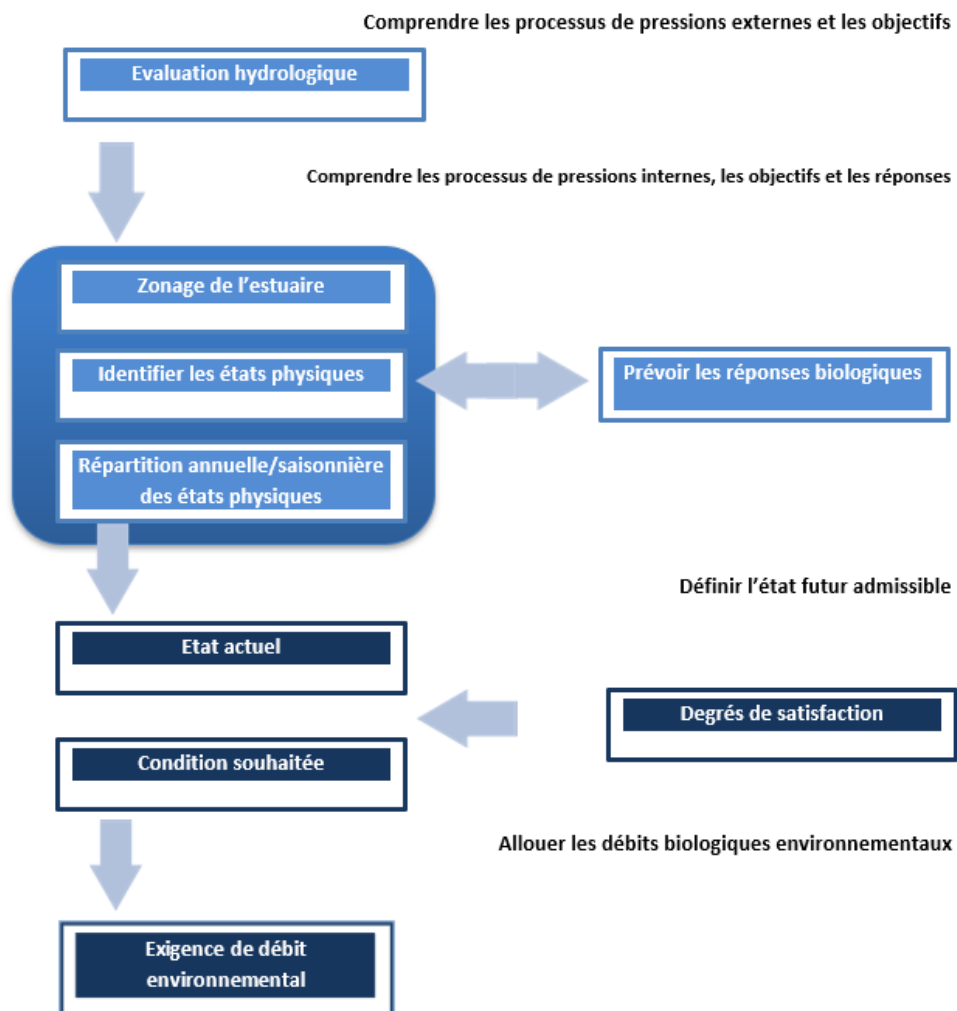
2 Rappel des éléments méthodologiques pour définir des débits biologiques

2.1 Objectifs poursuivis

2.1.1 Résumé de la démarche théorique de définition des débits biologiques

La démarche proposée pour aboutir à la définition d'objectif de débit est bien décrite dans le diagramme suivant issu de la littérature scientifique sud-africaine.

RÉSUMÉ GRAPHIQUE



L. Van Niekerk et al. Science of the Total Environment 656 (2019) 482–494

Traduit par le bureau d'études EAUCEA (source : anglais)

La première partie de ce rapport a permis une première description des processus internes à prendre en compte et identifie les connaissances et insuffisances concernant l'état actuel des masses d'eau. Il s'agit

donc de définir les attentes collectives (conditions souhaitées) et les moyens hydrologiques ou autres à allouer à ces objectifs.

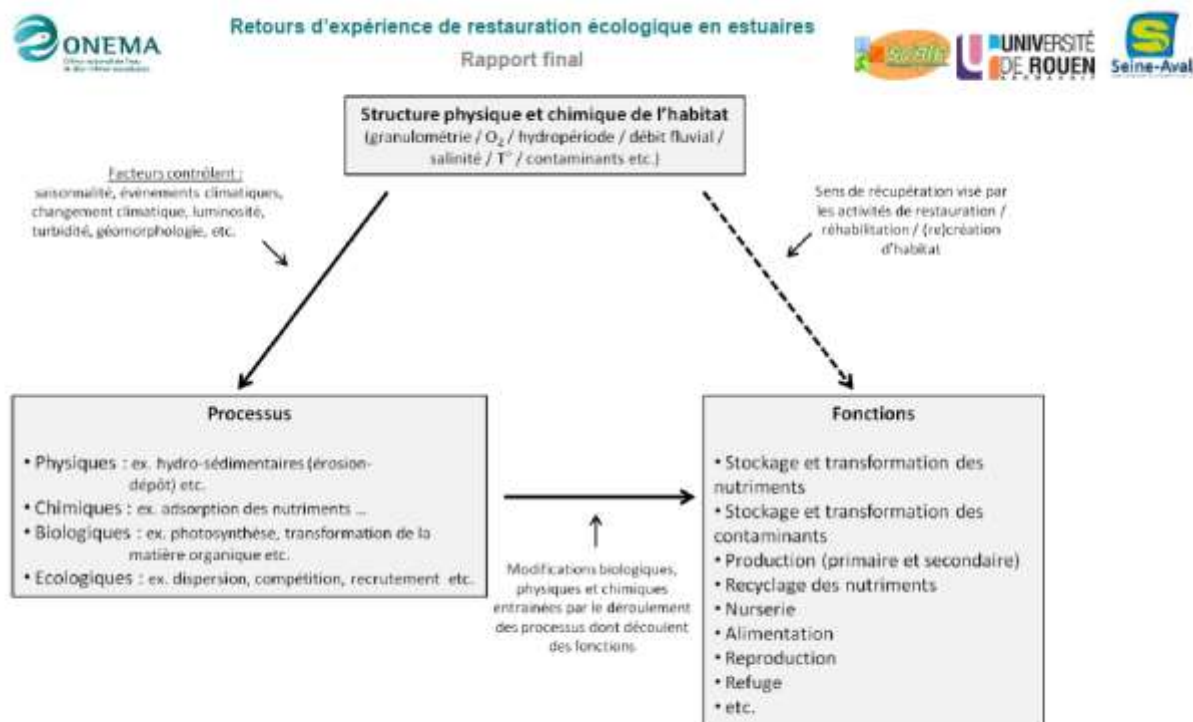


Figure 2. Schéma des liens potentiels entre la structure de l'habitat, les processus s'y déroulant et les fonctions écologiques potentiellement associées

Le schéma issu du rapport final de l'ONEMA (2016) explicite et résume la place du débit comme facteur de contrôle dans les processus estuariens.

Le système trophique estuarien (chaîne alimentaire) est fondé sur une production primaire (algue) benthique particulièrement importante sur les vasières ou pélagique dans les zones de moindre turbidité (aval maritime notamment au printemps). Il s'appuie aussi sur la décomposition des matières organiques détritiques issues du continent et transportées par le fleuve notamment en période d'automne et de hautes eaux.

Selon la thèse de J. Modéran¹, les assemblages zooplanctoniques décrits en Charente présentent de grandes similitudes avec ceux des autres estuaires européens, le gradient de salinité apparaissant comme le facteur le plus structurant sur le plan spatial. Toutefois, en Charente comme en Gironde, les très fortes concentrations en MES (Matières En Suspension) - milieu peu oxygéné -, mesurées dans la zone oligohaline agissent comme une frontière physique qui contrôlerait la distribution longitudinale des

¹ Julien Modéran. Estuaire de la Charente : structure de communauté et écologie trophique du zooplancton, approche écosystémique de la contamination métallique. Sciences agricoles. Université de La Rochelle, 2010. Français. NNT : 2010LAROS297. tel-00541019

organismes planctoniques. Le schéma ci-dessous proposé par Julien Modéran illustre cette notion centrale pour la Charente.

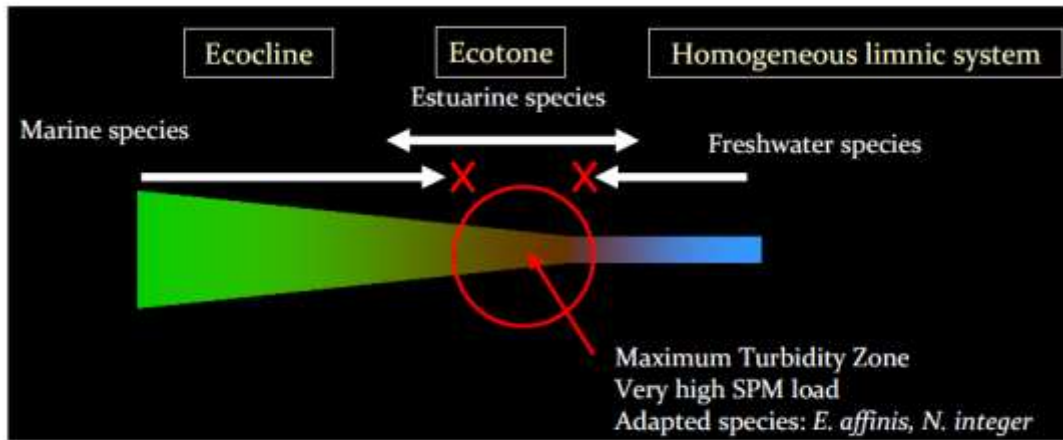


Fig. 2.11 Frontières écologiques en estuaire: modèle conceptuel tel que proposé à la suite de la présente étude pour la communauté zooplanctonique d'un estuaire turbide, la Charente.

Niveau trophique

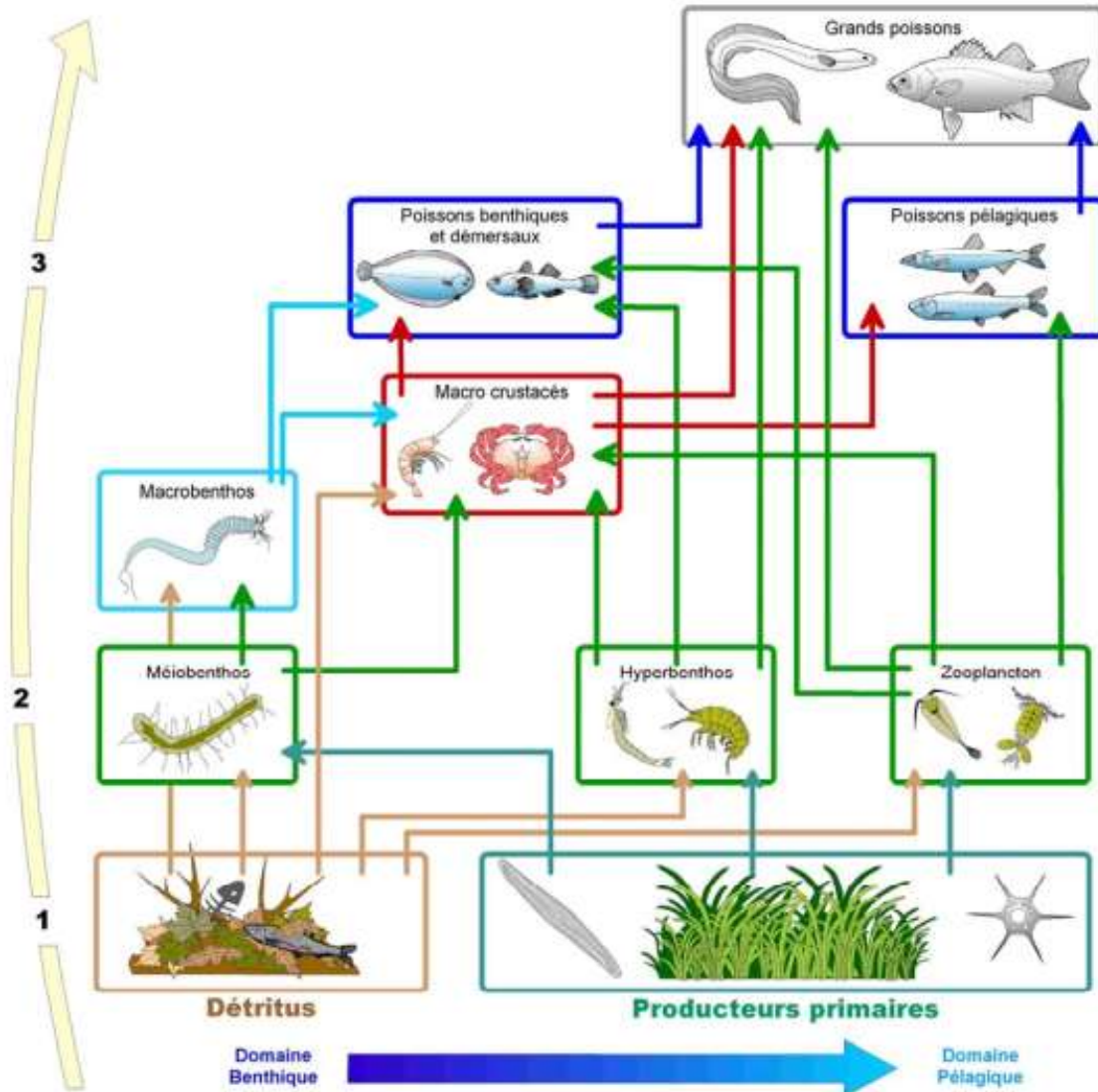


Fig. 5 : Exemple de réseau trophique d'un estuaire du type de la Gironde (d'après Lobry, 2004).

Figure 2 : Schéma du réseau trophique estuarien, « Des poissons sous influence ? » Thèse Delphine Nicolas p 16

2.1.2 Objectifs pour l'estuaire de la Charente

Les estuaires sont caractérisés par le rôle déterminant de la marée dynamique dans l'hydraulique (profondeur, courant, largeur mouillée) contrairement aux écosystèmes en rivière. La question de l'intégrité des habitats aquatiques liés aux débits qui est souvent centrale pour les écosystèmes rivières, ne peut pas être posée dans les mêmes termes pour les estuaires. Les habitats sont en effet sensibles à la géométrie des estuaires et au type d'aménagement du lit (dragage), des berges (endiguement) et des espaces d'expansions. Le rôle du débit fluvial dans sa fonction morphogène est un sujet d'une grande complexité qui relève d'études spécifiques. En revanche, la question de la qualité des eaux devient prédominante avec une forme de « dilution » de l'eau de mer par les eaux douces, mais aussi avec des mécanismes physico chimiques très spécifiques à ce milieu de transition.

La salinité qui structure fortement les communautés aquatiques, peut devenir une cible opérationnelle pour les débits biologiques. Pour Delphine NICOLAS² « *Puisque la composition en espèces de poissons varie avec la salinité, la richesse spécifique totale est plus élevée dans un grand estuaire, qui dispose en permanence d'un large continuum de salinité, que dans un petit estuaire qui est essentiellement influencé par les eaux marines à marée haute* ». La zone oligohaline de la Charente constitue un milieu de transition original où se produisent de nombreux processus biochimiques dont celui de la floculation à l'origine du bouchon vaseux ou celui de la spéciation des métaux. Son emprise géographique est très directement liée au rapport entre le débit fluvial et le volume oscillant mobilisé à chaque marée.

Les conditions d'oxygénation peuvent être un facteur limitant pour les communautés aquatiques estuariennes et vis-à-vis des espèces migratrices. Les situations d'hypoxie sont liées au bouchon vaseux et/ou à des conditions thermiques particulières que l'on n'observe (jusqu'à présent) que durant la période estivale. Le débit joue donc un rôle à la fois physique (position du maximum de turbidité) et chimique (apports d'oxygène et de matières organiques exogènes, dilution). Les interactions avec les flux issus de l'amont (rejet, apports détritiques) et avec la production primaire estuarienne (vasières) sont sans doute très importantes et le rôle du débit sans doute très différent selon les saisons.

La continuité écologique qui est sous influence d'ouvrages susceptibles de faire obstacle aux déplacements des poissons (grandes migrations ou déplacements plus réduits) et des sédiments, en particulier Carillon à l'aval de la Boutonne et Saint Savinien sur la Charente. Sous influence également des ouvrages hydrauliques de gestion des niveaux pour les marais latéraux de la Charente, les marais de Rochefort, l'Arnoult, Le ralentissement des écoulements est aussi un facteur d'envasement qui impose une gestion spécifique des vannes et donc des débits instantanés restitués. Pour la Charente, le principal obstacle potentiel est l'aménagement de Saint Savinien qui fait l'objet d'une analyse spécifique dans le cadre de l'étude du DMB.

2.1.3 Spécificité de l'estuaire de la Charente

L'estuaire de la Charente présente encore une diversité spécifique respectable et de fortes densités de poissons. La compréhension de ces relations latérales (habitat spécifique) et longitudinales (gradient de salinité) constitue une première clé d'analyse de l'état écologique de l'estuaire. Le maintien d'un certain degré de connexion de la Charente avec un lit majeur peu industrialisé et peu urbanisé est un facteur explicatif du bon état.

Ces milieux représentent en effet un habitat intéressant mais aussi des zones stratégiques pour l'autoépuration des eaux continentales (sédimentation des limons, fixation des métaux et nutriments par certains végétaux (phyto-remédiation), ...). Les conditions hydrologiques favorisant l'inondation des schorres pourraient être analysées au travers des modélisations à venir ; Il en est de même pour la caractérisation de l'inondation de l'estran et des conséquences sur le cycle biologique de la matière organique.

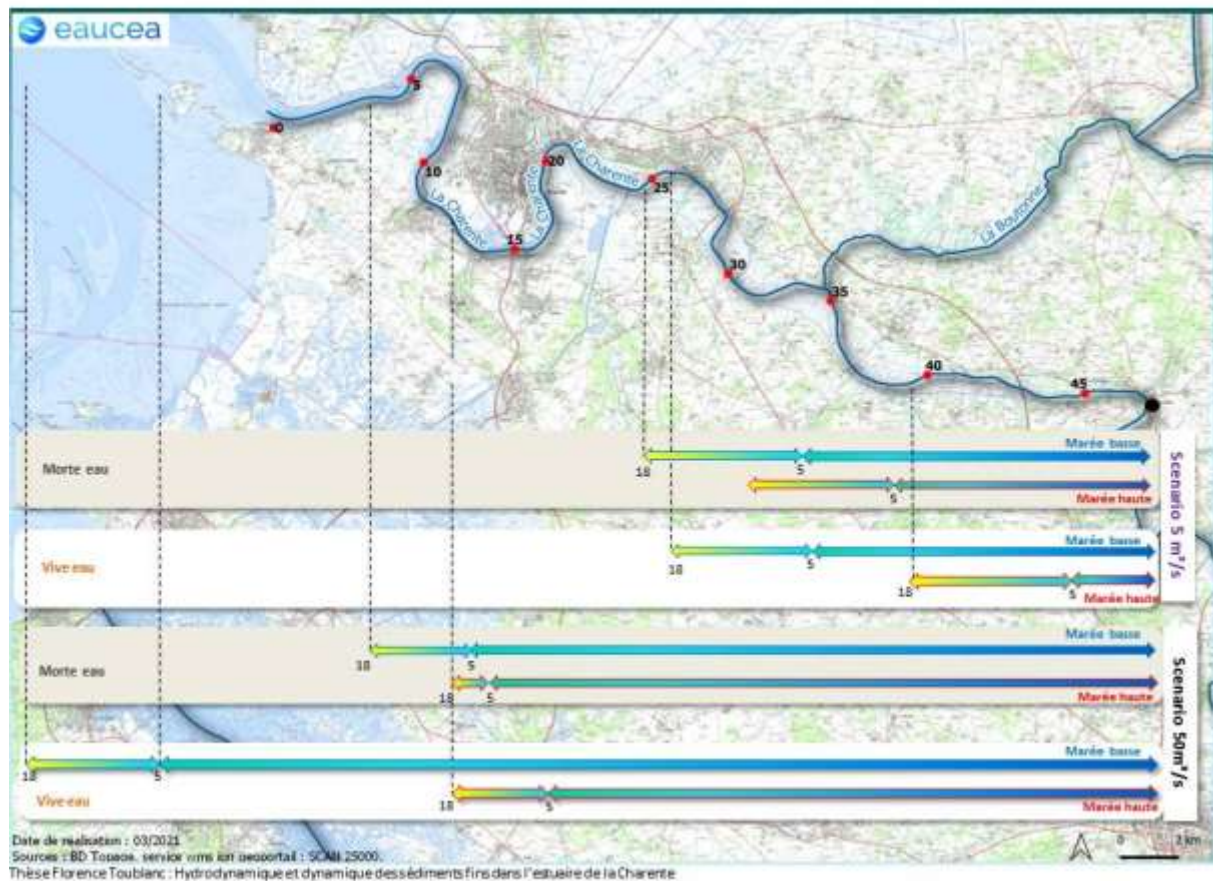
Cet estuaire est toutefois soumis à plusieurs pressions notamment l'arrivée de pollutions diffuses agricoles en provenance du bassin versant de la Charente et dans une moindre mesure le dragage pour

² D. Nicolas. Des poissons sous influence ? Une analyse à large échelle des relations entre les gradients abiotiques et l'ichtyofaune des estuaires tidaux européens. Sciences de l'environnement. Doctorat Ecologie Aquatique, Université Bordeaux 1, 2010. Français. (tel-02594063)

maintenir un chenal navigable (la navigation et la déconnexion de l'estuaire avec les masses d'eau affluentes). Il est notable que toutes les connexions avec les grands axes hydrographiques (Charente, Boutonne, Arnoult) et les marais sont contrôlées par des ouvrages et des modalités de gestion.

Sur cet estuaire et en étiage, la limite aval de la zone oligohaline (5g/L) fluctue fortement avec les conditions hydrologiques et de marée. Les modélisations antécédentes du LIENSs permettent de décrire ce périmètre à l'amont de Tonnay-Charente qui correspond par ailleurs à la limite administrative du Domaine Public Fluvial, propriété et gestion du Département de Charente maritime aussi propriétaire et gestionnaire de l'ouvrage de Saint Savinien.

Il s'agit du domaine de transition voire d'une véritable frontière écologique avec le bouchon de turbidité, siège des principaux risques de désoxygénation. Les objectifs rattachés au débit biologique de l'estuaire seront donc très liés au fonctionnement qualitatif de ce maximum de turbidité avec un risque maximal d'hypoxie en période de forte température estivale et en étiage. Notons aussi que dans l'estuaire médian, les conditions de salinité observées à Biard, au niveau de la prise d'eau du canal Charente Seudre qui réalimente en étiage les marais de Brouage, constituent un enjeu écologique et humain important.



2.1.4 Spécificité du secteur amont de l'estuaire de la Charente en lien avec le Débit minimum biologique de l'ouvrage de Saint-Savinien

L'estuaire amont est donc oligo-halin. L'emprise de ce domaine est sous contrôle des débits fluviaux de la Charente et de la Boutonne et donc du fonctionnement hydrologique de tout le bassin versant. Les observations écologiques et notamment les suivis à la passe à poissons de Saint Savinien³, montrent un enjeu écologique important rattaché à ce secteur très particulier à la fois habitat piscicole de transition pour des espèces d'eau douce et aussi lieu de passage pour les migrations.

Notons que malgré l'importance de la taille du plan d'eau de Saint Savinien, l'impact volumétrique de l'aménagement se réduit à des fluctuations instantanées liées à la gestion des vannes. Les incidences volumétriques en moyenne journalière sont nulles.

Le fonctionnement hydraulique est en partie seulement sous contrôle des règles de gestion de l'ouvrage de Saint Savinien. **L'enjeu du débit réservé et du débit minimum biologique à Saint Savinien** est donc à rechercher dans ce secteur spécifique autour des questions **de maintien de la continuité écologique en toute période** (possibilité d'échappement offerte aux espèces dulcicoles), **prévention de la remontée de salinité** pour sécuriser les prises d'eau potable et enfin l'éventualité d'un **rôle spécifique sur le fonctionnement hydro-sédimentaire et d'oxygénation** de ce haut estuaire.

Il n'est pas aisé de définir sur les seuls critères fonctionnels, une limite stricte avec l'aval. Nous pouvons considérer s'agissant d'une question à valeur réglementaire que la limite administrative du Pont suspendu de Tonny Charente entre le domaine public fluvial du Département en amont et celui de l'Etat en aval peut servir à délimiter le domaine d'influence du règlement d'eau de Saint Savinien.

Ce secteur situé en amont de Tonny-Charente et en aval de l'ouvrage de Saint-Savinien est suivi en continu par deux sondes qualitatives (l'Houmée et l'amont du barrage mobile) dont les résultats provisoires peuvent d'ores et déjà être mobilisés mais avec moins de recul que la sonde MAGEST de Tonny-sur-Charente.

La retenue de Saint Savinien s'étend de Saint-Savinien/Le Mung à Chaniers sur une longueur de 35 km et environ 50 m de large soit environ 1 750 000 m². Dans un système d'écoulement permanent, une variation de cote de 1 cm, valeur en limite de capacité des régulations, correspond donc à une variation de volume de 17 500 m³. Répartie sur une heure cela représente un débit instantané de 4,9 m³/s environ. Cependant, le caractère alternatif de la gestion des vannes peut induire un système d'ondes transitoire qui complexifie l'analyse purement volumétrique.

³ Tableau de bord migrateur Charente Seudre. <https://www.migrateurs-charenteseudre.fr/>

2.2 Spatialisation des enjeux quantitatifs en étiage fluvial et enjeux des débits fluviaux instantanés

En période d'étiage, le poids des débits d'eau douce est à relativiser par rapport aux flux pilotés par la marée. C'est une période où beaucoup d'attentes s'expriment de la part des conchyliculteurs qui sont tous implantés au-delà de l'embouchure mais dans la zone d'influence du fleuve Charente.

Une analyse hydraulique spécifique a été conduite en s'appuyant sur une analyse fine de la gestion du barrage de Saint Savinien qui peut induire des fluctuations dans les débits instantanés restitués (Figure 3). Le mois de juillet 2023, illustre bien la gestion habituelle en étiage (débit entre 25 m³/s et 16 m³/s à Beillant) de l'ouvrage et des coefficients au maximal de 93 (5 et 6 juillet) et minimal de 42 (le 27 28 juillet) à La Rochelle Palice. La séquence du 12 au 16 juillet illustre une modalité de gestion avec les seuls clapets. Notons que le débit en aval est plus faible qu'à Beillant en raison des prélèvements effectués au sein du plan d'eau (Canal de l'UNIMA, prélèvements agricoles, usines d'eau potable de Coulonges).

Les courbes (Figure 4) comparent les débits avec et sans apport fluvial.

L'impact des débits fluviaux et de leurs fluctuations liées à la gestion de l'ouvrage de Saint Savinien, s'efface rapidement face aux débits mobilisés par la marée. L'impact d'un débit fluvial d'environ 20 m³/s reste sensible au pied du barrage (avec un débit estuarien de +/- 30 m³/s) devient moindre à l'Houmée (avec un débit estuarien de +/- 150 m³/s), faible à Tonnay (avec un débit estuarien +/- 300 m³/s) et insignifiant à l'embouchure (avec un débit estuarien +/- 1500 m³/s).

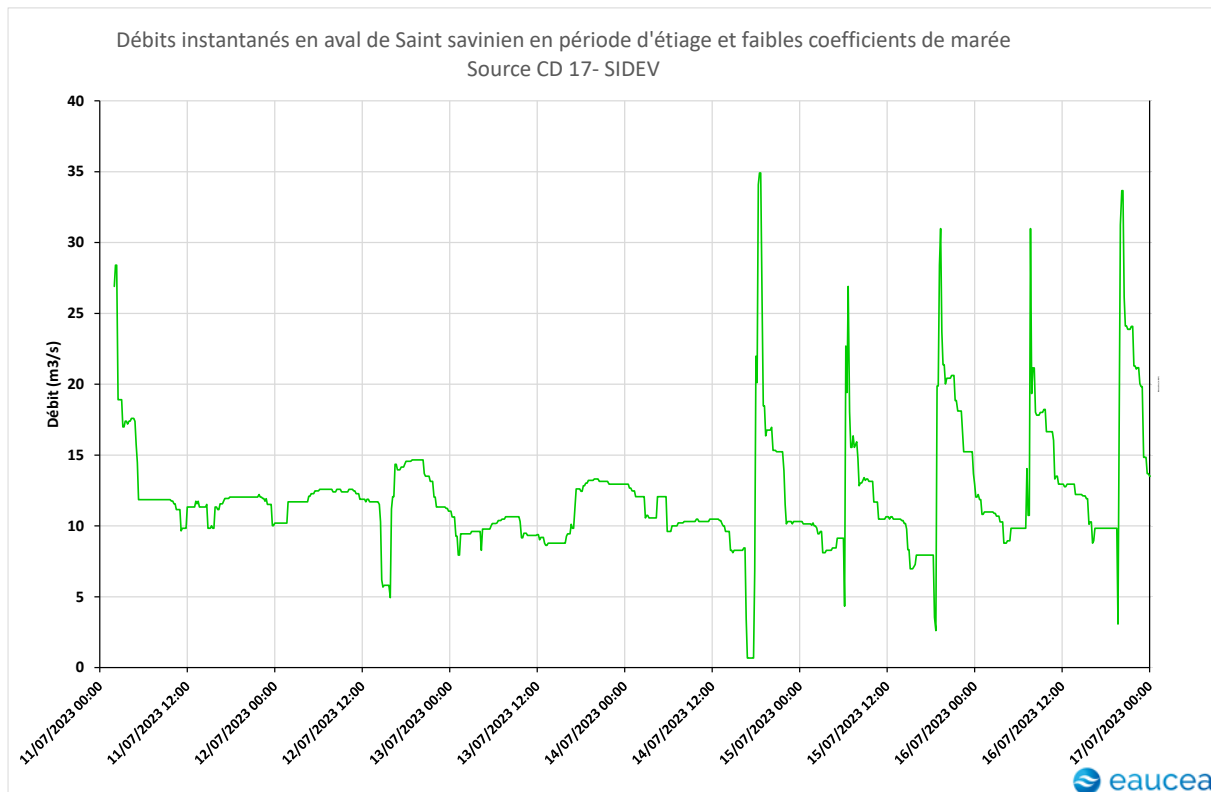


Figure 3 : Débits instantanés en aval de Saint-Savinien en période d'étiage et faibles coefficients de marée
Source CD 17- SIDEV

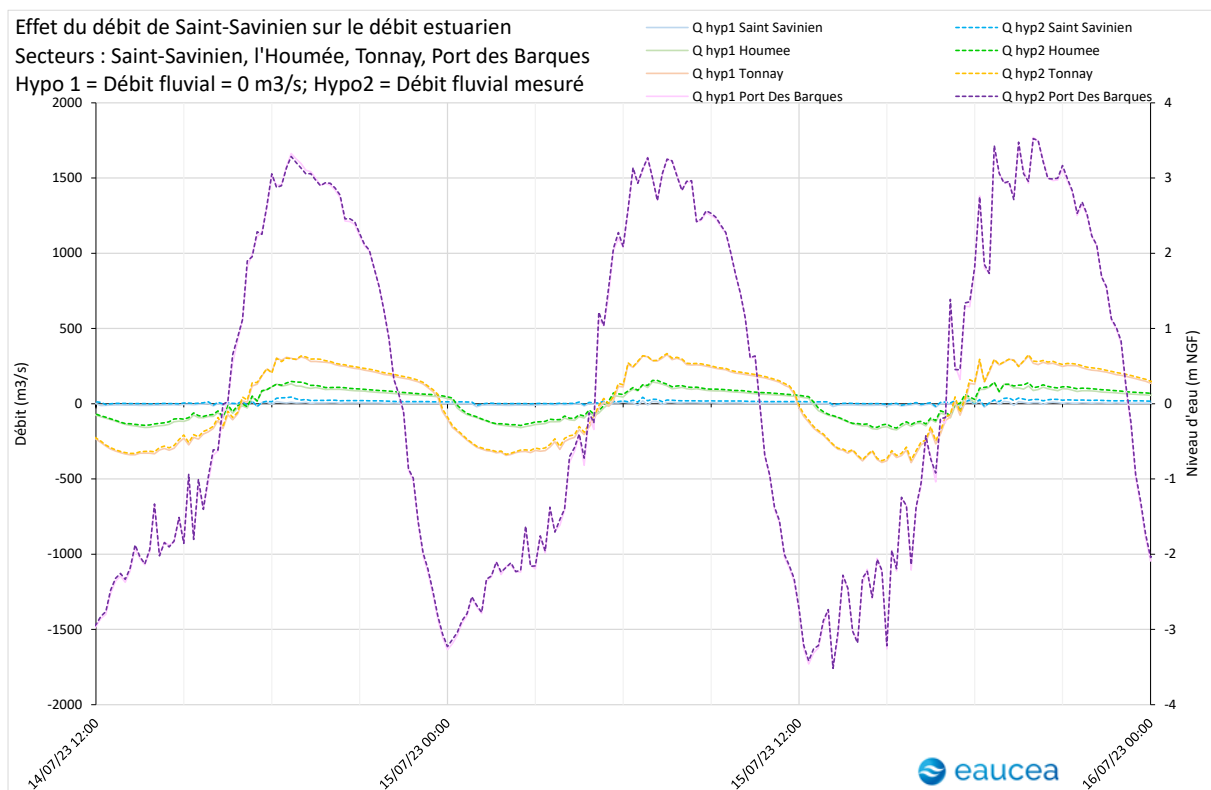


Figure 4 : Effet du débit fluvial de Saint-Savinien sur le débit estuarien
Secteurs : Saint-Savinien, l'Houmée, Tonnay, Port des Barque

3 Modélisation des facteurs de contrôle de l'état biologique en lien avec le débit.

3.1 Des paramètres en interaction

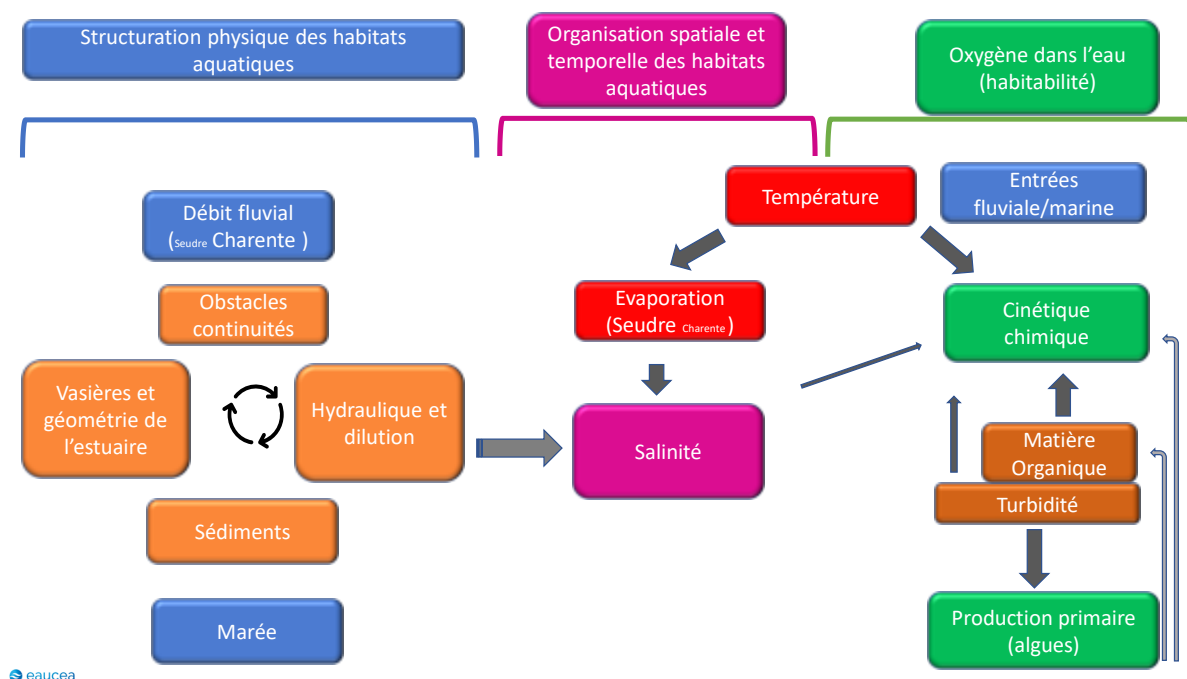
Comme exposé en phase I de cette étude, les débits fluviaux pilotent localement les conditions hydrodynamiques et qualitatives avec des effets différents selon les estuaires sur les habitats aquatiques. En plus de la température non dépendante du débit, les trois paramètres clés (et en interaction) qui font consensus notamment sur la Charente sont :

- ⇒ La salinité qui détermine des zonages estuariens avec de fortes incidences sur les peuplements biologiques. Ces zonages fluctuent dans le temps en relation directe avec les apports fluviaux ;
- ⇒ La concentration des matières en suspension et l'incidence d'un « bouchon vaseux » ;
- ⇒ L'oxygénation des eaux qui dépend de relations complexes de biodégradations et de mécanismes de ré-aérations.

Les deux premiers paramètres mettent en jeu des mécanismes saisonniers avec un lien étroit avec le cycle hydrologique. Les hautes eaux favorisent la dessalure sur de longue distance et le report vers l'aval voire l'expulsion du bouchon vaseux.

En période d'eaux moyennes et d'étiage, il est possible d'étudier des seuils objectifs pour les deux paramètres, salinité et oxygénation, eux-mêmes sous le contrôle de débits fluviaux et en interaction avec la turbidité. Ils peuvent alors être considérés comme des indicateurs pertinents pour le suivi de l'estuaire expliquant une part de l'état écologique.

Pour les estuaires Charente et Seudre, un schéma simplifiant les principales interactions peut être le suivant : pour la Charente et contrairement à la Seudre en période estivale, la part évaporée dans l'estuaire est probablement une variable explicative de l'état des eaux marginales en regard du renouvellement des eaux.



3.2 Les données quantitatives disponibles

3.2.1 Les débits

Pour la gestion, la question des débits biologiques peut être vue comme un des moyens de maîtrise des incidences anthropiques vis-à-vis de l'écosystème. La proposition la plus fréquente est de considérer que la situation « naturelle » constitue une référence et qu'il convient de quantifier et qualifier les écarts admissibles pour préserver l'intégrité des fonctions environnementales.

La naturalisation des débits peut s'effectuer soit au travers de modèles d'impact qui s'appuient sur des débits mesurés et une appréciation des impacts quantitatifs des usages cumulés sur le bassin versant, soit au travers de modèle de type climat débit. Ce travail complexe serait intéressant pour l'étiage mais ne relève pas de la présente étude mais plutôt du volet quantitatif des SAGE.

Pour le suivi des débits simulés dans l'estuaire, l'hypothèse simplificatrice est de cumuler les débits mesurés (Hydroportail) sur la Charente à Pont de Beillant, de la Seugne à la Lijardière et de la Boutonne à Saint Jean d'Angély ou Saint Julien de l'Escap. L'impact de Coulonge et du canal de l'UNIMA qui est de l'ordre de 2 à 3 m³/s en pointe est négligé dans ce calcul.

Le pas de temps le plus fin envisageable dans ce type d'étude est le pas de temps journalier.

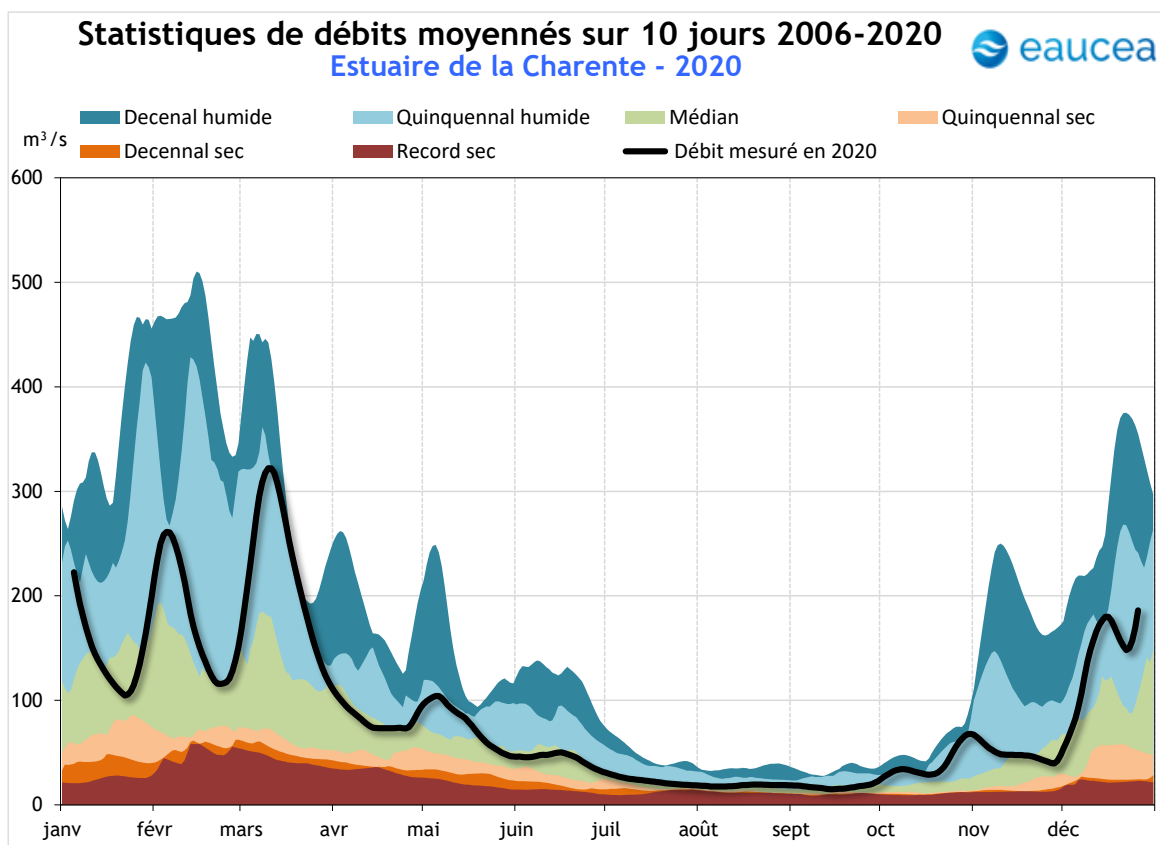


Figure 5 : Hydrogramme statistique reconstitué et approximé des débits entrants Charente Seugne et Boutonne dans l'estuaire de la Charente 2006/2020

La chronique de débit estuarien est représentée dans le graphe ci-dessous :

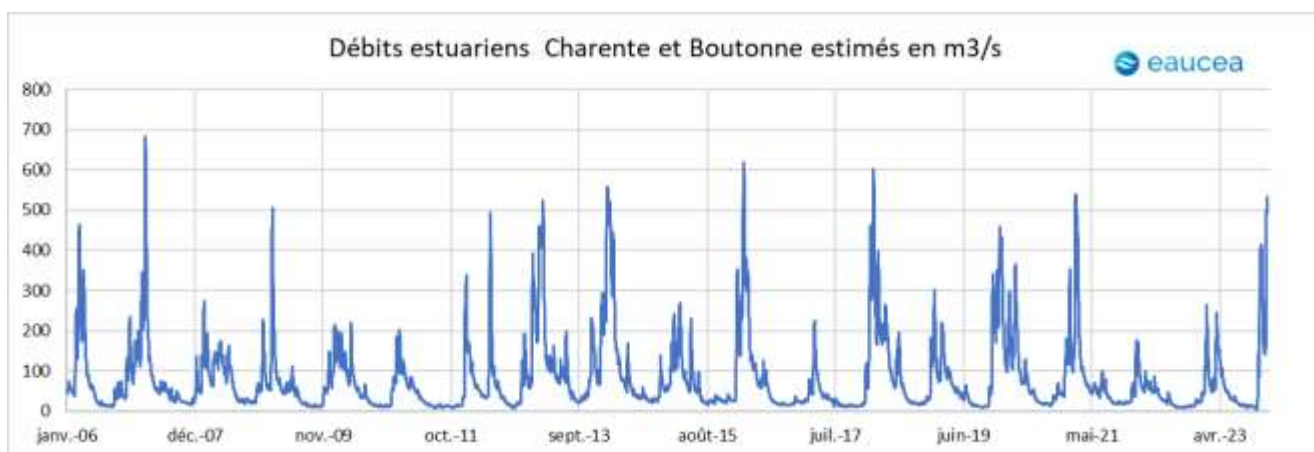


Figure 6 : Débits estuariens Charente et Boutonne estimés en m3/s de 2006 à 2023

3.2.2 Les marées

Pour les modélisations hydrauliques, les marées sont décrites par des variations de hauteurs d'eau aux marégraphes de l'île d'Aix (entrée du modèle) et de Rochefort (calage modèle) avec des coefficients de frottement issus du modèle Artelia.

Pour les simulations de qualité des eaux avec le modèle STURI'EAU seuls les coefficients de marées de la station La Rochelle-Pallice sont retenus comme descripteurs de la situation.

Le pas de temps pour l'analyse fine des mécanismes observés est de l'ordre de la minute à 10 minutes sachant que le pas de temps du modèle hydraulique est la seconde (pour des raisons de convergence du modèle).

Pour l'analyse des données en vue d'une proposition de débit biologique, il est nécessaire de considérer des effets moyennés sur des pas de temps beaucoup plus longs. Une valeur moyenne journalière des coefficients de marée est donc calculée pour être en concordance avec les données de débits.

3.3 Les données qualitatives exploitables

Contrairement aux rivières, les outils de suivis des débits en milieu estuariens sont inexploitablement directement car le milieu mélange des eaux fluviales et marines avec des circulations hydrauliques complexes. C'est pourquoi, il apparaît judicieux de se tourner vers des indicateurs autres que le débit pour qualifier l'état écologique de l'habitat. La salinité, la turbidité et l'oxygène constituent des indicateurs pertinents qui sont aujourd'hui accessibles à la mesure en continu. Les stations de mesures qualitatives pourraient jouer le rôle dévolu à l'hydrométrie pour les eaux superficielles et à la piézométrie pour les eaux souterraines.

La question de la représentativité de ces mesures est donc centrale.

3.3.1 Les sondes de suivi qualité en continu mobilisées pour les débits biologiques

En 2022, plusieurs sondes multiparamétriques étaient disponibles et sont exploitées dans le cadre de cette étude en partant de l'aval vers l'amont :

- La sonde sur ponton de l'EPTB Charente située à Tonnay-Charente, gérée par le réseau MAGEST. Cette sonde mise en service le 24 avril 2020 (après une phase préparatoire de données estivales depuis 2019) est celle qui dispose en 2023 du plus long suivi en continu (tous les cycles annuels depuis novembre 2020) sur l'estuaire de la Charente. Cette sonde enregistre la qualité de l'eau avec un plafonnement de la turbidité qui a évolué dans le temps (aujourd'hui entre 0 et 4000 NTU)
- La sonde située à l'Houmée sur la commune de Bords, est sur bouée lestée par un corps mort. La sonde est située à 1m de la surface. Elle est gérée par le département de Charente-Maritime et suivie par le LIENSs. Elle est caractéristique du fonctionnement de l'estuaire amont oligohalin, avec une forte emprise des débits fluviaux. Des données sont disponibles depuis 2016 d'abord en été puis toute l'année avec cependant des périodes de données discontinues.

- La sonde en amont du barrage, est à 1m sous un ponton propriétaire à Crazannes. Elle est gérée depuis 2016 par le département de Charente-Maritime. Cette sonde est donc caractéristique de la qualité du plan d'eau et donc des eaux restituées à l'aval lorsque les vannes sont fermées (déversement). D'autre part, elle donne des informations sur la qualité de l'eau en pied de barrage lorsque les vannes sont ouvertes (transparence hydraulique).



Figure 7 La sonde de l'Houmée. Photo Eaucea

3.3.2 Représentativité de ces sondes

Le positionnement des sondes s'avère judicieux en regard de enjeux estuariens. La représentativité des mesures vis-à-vis de la tranche d'eau est bonne. Sur les sondes MAGEST le pas de temps est de 10 mn. Cela permet d'analyser des mécanismes transitoires et des fluctuations infra journalières.

3.3.2.1 Dimension latérale

Vis à vis de la circulation d'eau latérale, les courants de marée peuvent induire des différences sensibles notamment en phase de renverse de marée et qui peuvent être décrites par le modèle hydraulique 2D. Les différences liées à la proximité des berges par exemple induisent une dispersion hétérogène. Dit en d'autres mots, il peut y avoir ponctuellement des différences entre le centre du lit et les berges mais l'effet est transitoire et ne justifie pas de précaution particulière dans l'interprétation des données issues des sondes, du moins à l'échelle temporelle plurijournalière dont nous discutons ici.

3.3.2.2 Dimension verticale

Vis-à-vis de la variabilité qualitative en profondeur, le risque augmente de l'amont vers l'aval avec l'approfondissement du lit. Néanmoins un suivi réalisé le 2 août 2022 par Sabine SCHMIDT(EPOC) pour un débit fluvial de 12 m³/s environ, montre la grande homogénéité des données de température sur le profil vertical dans une moindre mesure de la salinité sur les sites en aval de Rochefort. Pour l'oxygène et la

turbidité, les mesures de surface et sub-surface enregistrées par les sondes sont plus favorables que les mesures proches du fond ce qui est cohérent avec le fonctionnement biologique du milieu turbide.

A l’Houmée, la Charente est moins large et moins profonde ce qui favorise un meilleur mélange des eaux.

3.3.2.3 Dimension longitudinale

Le test consiste à simuler le déplacement de 10 particules réparties sur le profil en travers et à suivre leurs déplacements. Le test couvre les secteurs de Saint Savinien, l’Houmée, Tonnay Charente et embouchure.

Une analyse hydraulique a été réalisée sur un cycle de marée réel (12 juillet 2023) pour décrire la situation en condition limitante du déplacement, c’est-à-dire en étiage avec entre et 10 et 15 m³/s à l’aval de Saint Savinien (données reconstituées à partir des informations du gestionnaire -SIDEV) et pour un coefficient de marée de mortes eaux (entre 51 et 54).

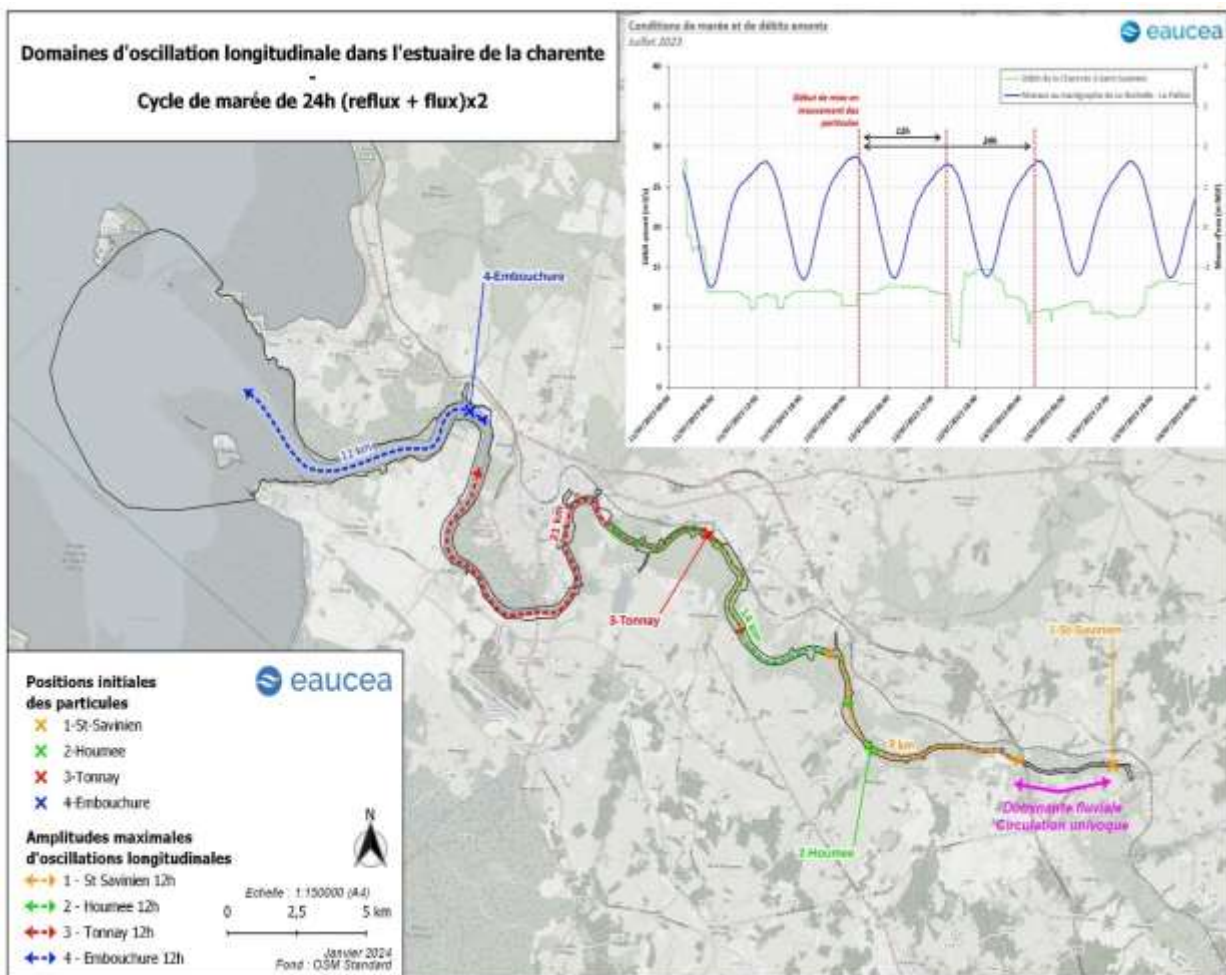


Figure 8 : Oscillations de la masse d’eau dans 4 secteurs de l’estuaire en étiage. Test de déplacement des particules dans l’estuaire. Modèle Telemac 2D.

L’analyse des trajectoires illustre le phénomène de transfert longitudinal. Sur chaque cycle de marée (12 heures environ) les particules oscillent sur un linéaire d’environ 9 km dans le haut estuaire, 14 km à partir de l’Houmée, 21 km à Tonnay Charente et 11 km à l’embouchure. Ce système oscillant se déplace de l’amont vers l’aval en fonction du débit fluvial.

3.3.2.4 Conclusion

Le réseau de suivi en continu de la qualité de l'estuaire sous influence fluviale significative en étiage est donc très satisfaisant et permet de répondre aux principaux enjeux identifiés pour une analyse de débit biologique en étiage. En particulier, la station de Tonnay-Charente est très intéressante pour qualifier le fonctionnement estuarien en regard des débits entrants. C'est la station qui dispose par ailleurs du plus long historique d'enregistrement en continu avec un contrôle qualitatif des données.

3.3.3 Les paramètres suivis en continu et la biologie

Nous rappelons ici des éléments présentés dans le cadre du premier rapport méthodologique et qui permettent d'analyser les résultats des modélisations précédentes au regard des enjeux écologiques. Le tableau ci-dessous⁴, recouvre bien les paramètres suivis et permet leur interprétation pour approcher des débits biologiques.

Tableau 13. Grille proposée en oxygène dissous, température, turbidité et salinité pour les poissons dans les masses d'eaux de transition françaises.

Classes	Oxygène	Température (°C)		Turbidité (NTU) : masse		Salinité (PSU)
	OD mg.L	Estuaire	Lagune	Tidale	Non tidale	Lagune (*)
Très bonne	≥ 7	< 20	< 22	≤ 50	< 5	< 40
Bonne	< 7 et ≥ 5	≥ 20 et < 23	≥ 22 et < 25			
Moyenne	< 5 et ≥ 3	≥ 23 et < 28	≥ 25 et < 30	> 50 et ≤ 500	> 5 et ≤ 50	≥ 40 et < 100
Médiocre	< 3 et ≥ 2	≥ 28	≥ 30	> 500	> 50	≥ 100
Mauvaise	< 2					

Figure 9 : Proposition d'une grille qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence. Source étude CEMAGREF C. Taverny et al 2009

Pour l'oxygène et la température, d'autres éléments d'analyse sont proposés au chapitre dédié. En effet, les valeurs seuil de la DCE, de l'expertise Taverny mais aussi des résultats plus récents sur les conditions de migrations peuvent différer.

Vis-à-vis des enjeux de continuité écologique entre estuaire et grand bassin versant de la Charente, l'analyse est surtout centrée autour de l'expertise du débit minimum biologique de Saint Savinien.

3.3.3.1 Des turbidités très élevées la moitié de l'année

La turbidité mesurée sur l'ensemble des sondes est élevée le deuxième semestre, de juin à novembre/décembre avec à Tonnay Charente, des valeurs moyennes supérieures à 500 NTU et pouvant atteindre et dépasser les 3000 NTU. Cette situation classe l'estuaire de la Charente en qualité médiocre à mauvaise dans la grille de qualité proposée par Taverny pour les eaux de transition.

⁴ Catherine Taverny, Pierre Elie, Philippe Boët. La vie piscicole dans les masses d'eau de transition : proposition d'une grille qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence. [Rapport de recherche] irstea. 2009, pp.51. hal-02592725

3.3.3.2 Salinité, un facteur structurant pour l'estuaire de la Charente

Ce paramètre est celui qui apparaît le plus critique pour les usages humains (eau potable et élevage) dans la partie amont de l'estuaire. Sur le plan écologique c'est aussi un paramètre structurant notamment vis-à-vis du bouchon vaseux et de la distribution des espèces.

Le Sandre, Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau, élabore le langage commun des données et référentiels sur l'eau pour le système d'information sur l'eau (SIE) et propose une définition des différents degrés de salinité qui permettent de sectoriser les estuaires.

Le gradient de salinité constitue un point clé de la définition du débit biologique. Il doit être décrit précisément dans sa variabilité spatiale (zonation Polyhaline) mais aussi saisonnière voire au sein même de la colonne d'eau, puisque l'eau douce moins dense peut s'écouler en surface avec un faible mélange avec les eaux salées des couches inférieures.

Code de l'élément	Mnémorique de l'élément	Libellé de l'élément	Statut de l'élément	Définition de l'élément
F	Freshwater	< 0,5 pour mille	Validé	"Eau douce" : eau très peu salée, < 0,5 psu [unité pratique de salinité]
O	Oligohaline	0,5 à 5 pour mille	Validé	Oligohaline : eau peu salée, de 0,5 à 5-6 psu [unité pratique de salinité]
M	Mesohaline	5 à 18 pour mille	Validé	Mésohaline : eau moyennement salée, de 5-6 à 18-20 psu [unité pratique de salinité]
P	Polyhaline	18 à 30 pour mille	Validé	Polyhaline : eau fortement salée, de 18-20 à 30 psu [unité pratique de salinité]
E	Euhaline	30 à 40 pour mille	Validé	Euhaline : eau totalement salée, > 30 psu [unité pratique de salinité]

Figure 10 : Salinité Source Sandre urn:sandre:donnees:317:::referentiel:3.1:

La limite aval de la zone oligohaline constitue un milieu de transition original où se produisent de nombreux processus biochimiques dont celui de la floculation à l'origine du bouchon vaseux ou celui de la spéciation des métaux. C'est aussi l'ordre de grandeur (selon les secteurs des valeurs de 5 à 3 G/L sont évoqués) de la limite de qualité pour exploiter l'eau par l'irrigation ou l'abreuvement du bétail. Son emprise géographique est très directement liée au rapport entre le débit fluvial et le volume oscillant mobilisé à chaque marée.

Ces données disponibles en 2022, année hydrologiquement sèche, sur les 4 stations du haut estuaire, montrent bien qu'en étiage le seuil de 5 g/L peut se positionner entre l'Homée et Tonny-Charente.

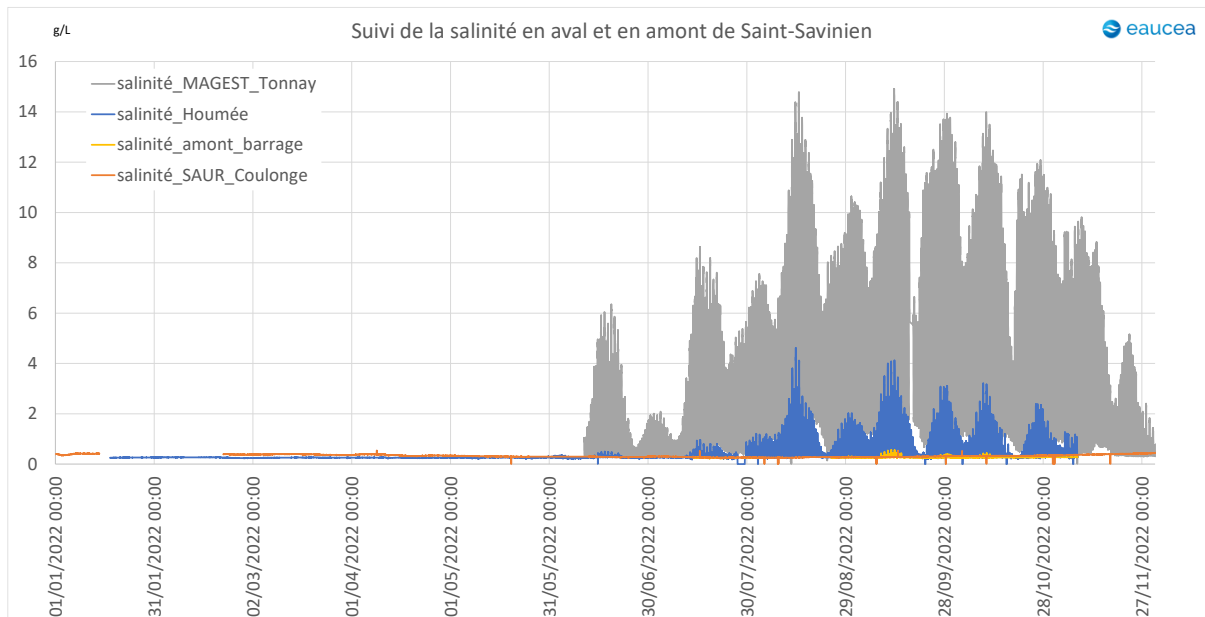


Figure 11 : turbidité et salinité le long de la Charente et à la prise d'eau de Coulonge en 2022

A l'Homée, une extraction spécifique des données a permis d'isoler les pics de salinité enregistrés en 2022, et de les mettre en relation avec les débits reconstitués à l'entrée du plan d'eau de Saint Savinien (Seugne + Charente) et la hauteur de la marée à La Rochelle La Palice (cf. graphe ci-dessous).

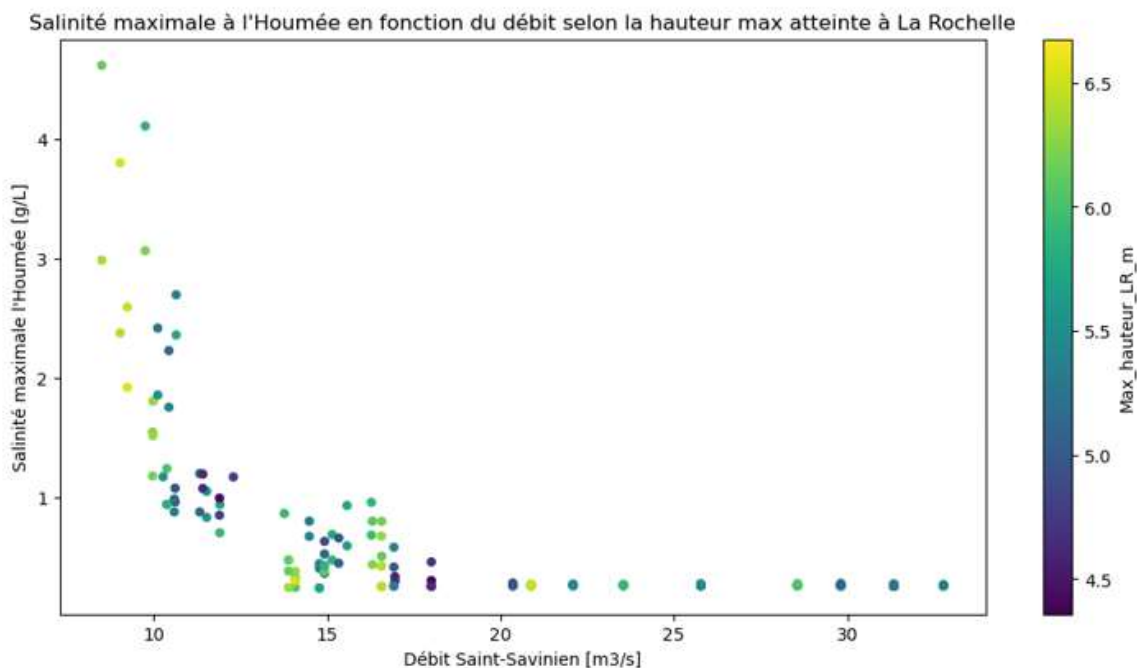


Figure 12 : Graphe Salinité, Débit, Hauteur de marée Etiage 2022 La Charente à l'Homée

Les remontées salines sont favorisées par les faibles débits et les forts coefficients de marée (hauteur d'eau à LR). La courbe ainsi construite permet de vérifier qu'entre 15 m³/s et 12 m³/s, les remontées salines à l'Houmée ne dépassent jamais en pointe (pas de temps 10 minutes) 1 g/L, et il faut descendre en dessous de 8 m³/s pour observer des concentrations en limite du domaine oligohalin.

A Tonnay, l'analyse des chroniques de salinité montre l'influence majeure de l'hydrologie fluviale sur la salinité, avec une inertie de quelques jours. Le graphique suivant présente la salinité à Tonnay en fonction du débit moyen sur 4 jours consécutifs à Tonnay. La relation suit une relation de type loi exponentielle avec une dispersion des valeurs qui augmente quand le débit diminue.

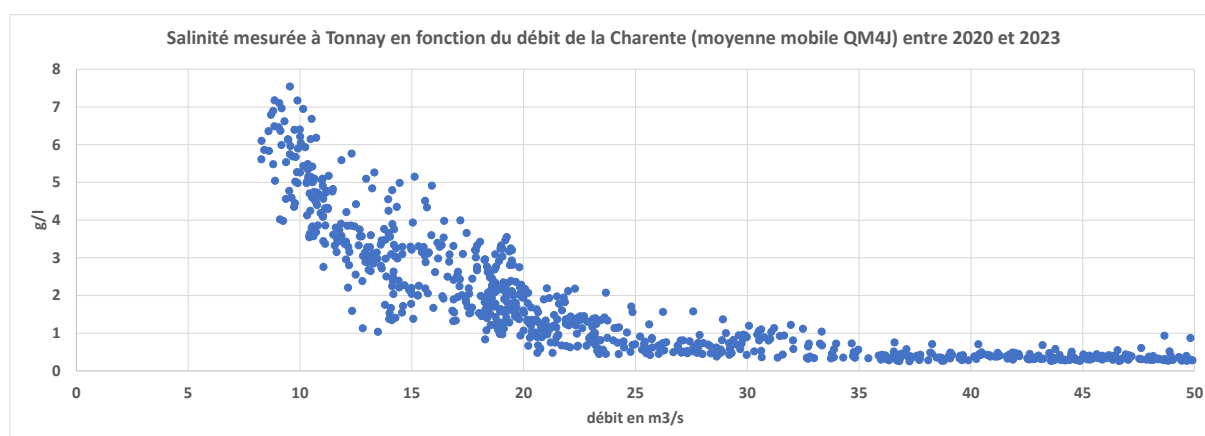


Figure 13 : Salinité à Tonnay en fonction du débit moyen sur 4 jours consécutifs de la Charente à l'estuaire.

Pour les faibles valeurs de débit de la Charente, la fluctuation de salinité est majoritairement fonction du coefficient de marée et donc de la remontée des volumes d'eau marine dans l'estuaire. L'augmentation des débits fluviaux qui repousse la masse d'eau marine se traduit à l'inverse par une baisse de la salinité. Au-delà d'un certain niveau de débit, la salinité est repoussée au-delà du point de simulation, même pour des forts coefficients de marée.

Au niveau de l'embouchure, les informations sont à la fois plus anciennes grâce aux suivis et modélisations réalisés par IFREMER mais aussi plus discontinues avec en particulier des phases d'indisponibilités des sondes ou des débits fluviaux. Nous pouvons rappeler que la dessalure est proportionnelle au débit mais que la zone d'influence en période d'étiage reste surtout centrée sur l'embouchure. L'enjeu est au moins conchylicole, « la variabilité spatiale du collectage mettant en évidence par exemple que les années de mauvais captage, l'embouchure de la Charente s'en sort mieux que les zones plus salées. »

La métrologie à Fort Lupin nous indique un mécanisme équivalent à celui du haut estuaire mais dominé cette fois-ci par les eaux salées (la médiane des observations entre 1999 et 2006 est de 20 G/L et elle s'observe pour environ 40 m³/s).

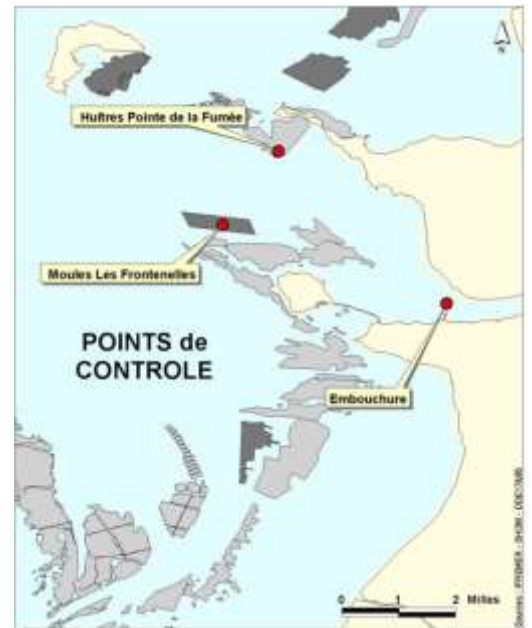
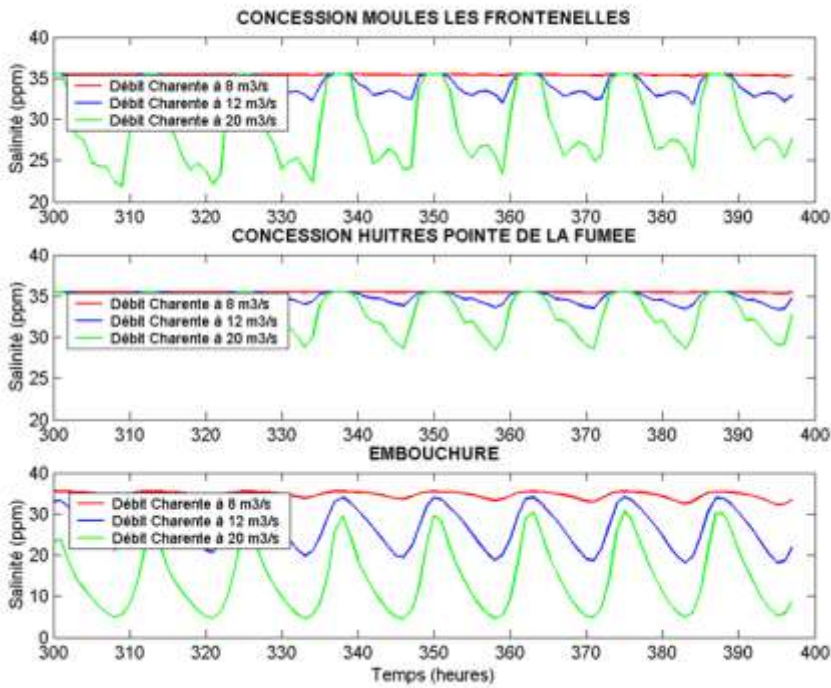


Figure 14 : Illustration des effets du débit sur la salinité à l'embouchure en période d'étiage (modélisation Mars 3D Ifremer)

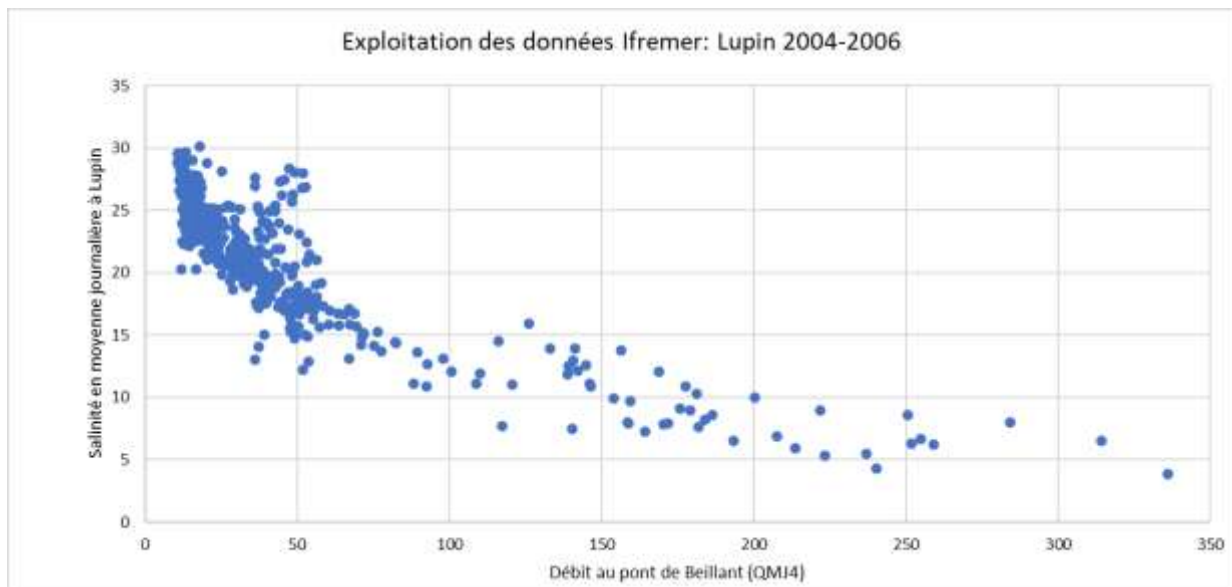


Figure 15 : Salinité à Lupin en fonction du débit moyen sur 4 jours consécutifs de la Charente à Beillant.

3.3.3.3 Températures estuariennes, entre 5 et 25°C

La température des eaux estuariennes est un paramètre déterminant de la plupart des fonctions de l'écosystème. Le suivi en continu de la sonde Magest/EPTB de Tonnay Charente permet d'appréhender les grands cycles thermiques de l'estuaire de la Charente sur la période 2020 à 2023. Ces observations montrent que la température estivale tangente les 25 °C quasiment chaque été depuis au moins 4 ans.



3.3.3.4 Oxygène dissous, un paramètre majeur pour la biologie et la continuité écologique

3.3.3.4.1 Des seuils variables selon les outils d'expertises, analysés en conseil scientifique

L'oxygène est un paramètre majeur du bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Les estuaires présentent de fortes spécificités comparées aux rivières. Le projet de Plagepomi GDCSL 2022-2027, rappelle l'hypothèse forte d'une incidence migratoire possible des faibles taux d'oxygène, évoquant « une véritable barrière chimique pour les alosons voire occasionner des mortalités ».

Pour la biologie rappelons que pour l'oxygène, le seuil de référence fixé par la DCE pour le bon état est de 3 mg/L. Formellement, ces valeurs pourraient constituer un objectif suffisant pour qualifier le DMB à Saint Savinien et le Débit Biologique estuarien. Elles serviront donc de repères pour les simulations débits /qualité.

Pour l'oxygène dissous, la métrique retenue est le percentile 10. Elle se calcule sur des données mensuelles, acquises en période estivale, au fond, sur 6 ans. La grille de qualité pour l'oxygène dissous est présentée dans le tableau 68 ci-dessous.

Tableau 68 : grille de qualité pour l'indicateur oxygène dissous

TYPE européen	TYPES français concernés	MASSES D'EAU françaises concernées	GRILLE Oxygène dissous (mg/ L)
Sans objet	Tous types	Toutes masses d'eau côtières	Très Bon : > 5 Bon : 5-3 Inférieur à Bon : ≤ 3

Figure 16 : Annexe 6 de l'arrêté du 27 juillet 2018 en application de la DCE pour l'oxygène dissous dans les masses d'eau littorales (y compris eaux de transition).

Cependant d'autres expertises considèrent la valeur de 3 mg/L comme déjà très pénalisante pour la faune aquatique et notamment pour la continuité écologique. Pour analyser les incidences sur les migrations nous nous appuyons sur les préconisations du GIP Loire estuaire mais aussi la grille d'analyse spécifique proposée pour les alosons qui vise plutôt le seuil de 6 mg/L.

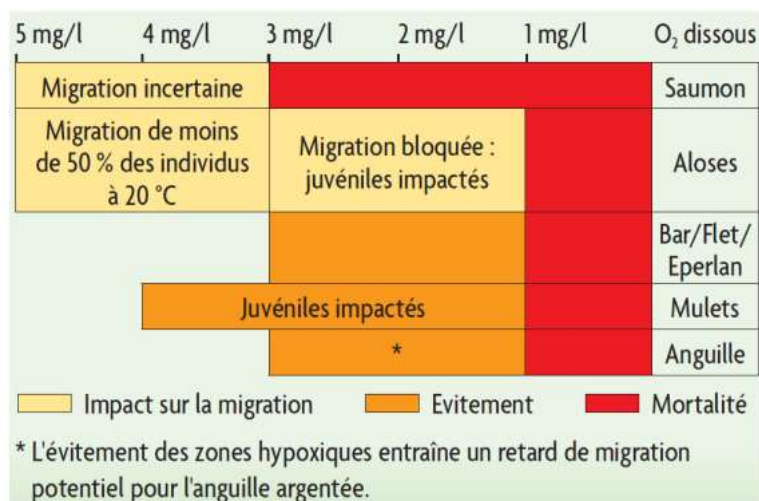


Figure 17 : Les enjeux de l'hypoxie pour les migrateurs Source (Foussard and Lepage, 2016)

Etat de l'indicateur en fonction de la température et de l'oxygène

Oxygène/ Température	5≤Temp<15°C	15≤Temp<20°C	20≤Temp<25°C	≥25°C
≥6mg/L	Bon	Bon	Bon	Moyen
5≤Oxy<6 mg/L	Bon	Bon	Moyen	Mauvais
4≤Oxy<5 mg/L	Moyen	Moyen	Moyen	Mauvais
3,3≤Oxy<4 mg/L	Moyen	Mauvais	Mauvais	Mauvais
2≤Oxy<3,3 mg/L	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
<2 mg/L	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Les différents états de l'indicateur au cours du temps sont donc compilés sur la période prépondérante définie pour la dévalaison des alosons, à savoir du **15 mai au 15 octobre**.

Source du tableau : <https://www.migrateurs-charenteseudre.fr/tableau-de-bord/grande-alose/2023/impact-du-bouchon-vaseux-oxy-temp-sur-les-alosons-2/>

Vis-à-vis de l'objectif de continuité écologique, le risque de blocage ou de ralentissement concernerait potentiellement pour les phases de dévalaison l'anguille argentée sur la période aout à octobre, les juvéniles d'alose pendant tout l'été, les salmonidés en début d'été et l'alose en fin de printemps. Ce calendrier migratoire confirme l'intérêt du maintien des sondes oxygène encadrant largement l'été.

Le conseil scientifique de juillet 2024 a recommandé de tenir compte d'une valeur plancher de 4 mg/L pour les conditions d'habitabilité même de faible durée et du tableau de combinaison oxygène température pour les alosons.

3.3.3.4.2 Un risque confirmé sur l'estuaire

L'analyse de l'année 2022, croisant les enregistrements, confirme la réalité d'une situation d'insuffisance de la concentration en oxygène dans le haut estuaire à **Tonnay-Charente** et à **L'Houmée** de juillet à octobre mais qui s'atténue au niveau du **barrage de Saint Savinien**.

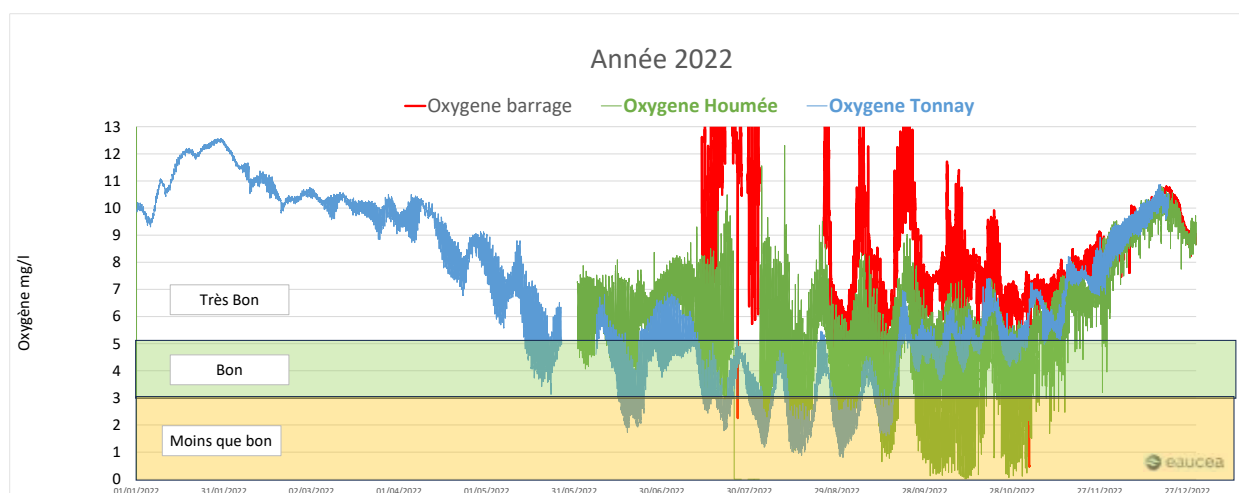


Figure 18 : Domaine d'évolution de l'oxygène dans l'estuaire amont classe DCE Source Magest et CD 17

Le linéaire d'estuaire en risque d'hypoxie est donc confirmé entre Tonnay Charente et L'Houmée.

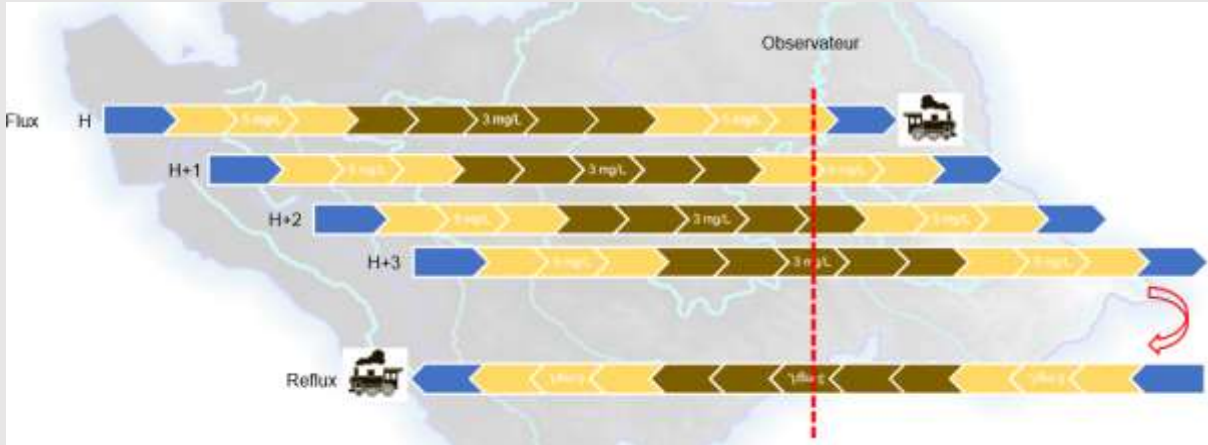
Une analyse spécifique conduite sur Tonnay durant l'été 2021 montre que l'enregistrement de la sonde témoigne d'une zone d'hypoxie (O₂ inférieur à 3 mg/L) de l'ordre de 10 km ce qui correspond à peu près à la distance entre les deux sondes de qualité. Cela signifierait que la zone d'hypoxie faisait une dizaine

de km de longueur et oscillait entre l'Houmée et le pont de Martrou soit 20 km environ. Pour le domaine inférieur à 5 mg/L, la longueur du domaine a été estimée à environ 15 à 20 km. Cet ordre de grandeur équivaut à la distance parcourue par une particule sur un cycle de marée (Cf. Chapitre 3.3.2.3.).

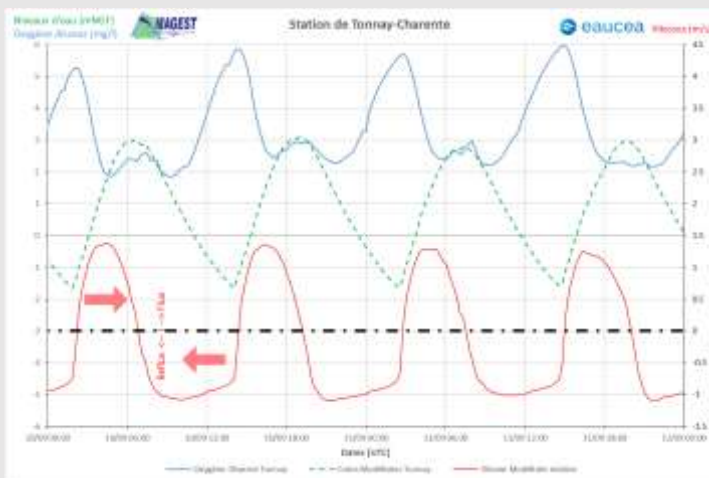
Cette longueur de 10 km d'une zone d'hypoxie (O₂ inférieur à 3 mg/L) est donc susceptible de jouer un rôle significatif sur l'écosystème estuarien, sachant que des durées plus longues d'hypoxie (et donc des extensions plus grandes de la zone hypoxique) ont été enregistrées à Tonnay Charente en 2022. Ainsi, la teneur en O₂ est restée toujours inférieure à 3 mg/L du 27 août au 6 septembre 2022, témoignant d'une extension de la zone hypoxique plus grande que 20 km au moins.

Evaluation du linéaire en risque d'hypoxie

Les sondes mesurent une masse d'eau oscillante dont la qualité évolue entre la partie amont, le centre et la partie aval de cette masse d'eau, comme un observateur regarderait un train de plusieurs wagons (chacun de qualité différente) circulant alternativement de gauche à droite puis de droite à gauche. En réalité le renouvellement de la masse d'eau par les apports fluviaux déplace progressivement ce système de l'amont vers l'aval et jusqu'à l'océan. Des mécanismes internes à la masse d'eau ou de mélange par turbulence ou diffusion transforment progressivement la qualité de cette masse d'eau.



Le croisement des données hydrauliques (modélisation Eaucéa Telemac 2D) et des enregistrements Magest à Tonny-Charente a permis de quantifier la distance minimale sur laquelle la tranche d'eau mesurée (sub-surface) présente une concentration en O₂ inférieure aux deux seuils caractéristiques de la DCE : 5 mg/L et 3 mg/L. Pour analyser le signal enregistré il est nécessaire de connaître la vitesse de déplacement de la masse d'eau au droit du capteur. Cette vitesse varie en permanence avec des maximums au flux et au reflux et des minimums à l'égal de haute et de basse mer. Sur la Charente le signal n'est pas symétrique. La modélisation hydraulique Telemac a permis de reconstituer ces vitesses et de rapprocher l'ensemble des paramètres pertinents au droit de Tonny Charente. Le test couvre la période du 10 septembre 2021 au 12 septembre 2021 soit un débit de 20 m³/s environ et des marées de 100 à 77.



		Distances parcourue (m)			
		3 mg/L		5 mg/L	
Coef	Cycle	Flux	Reflux	Flux	Reflux
100	1	7 327	- 12 702	16 604	- 25 037
101	2	11 745	- 15 793	16 596	- 23 157
100	3	12 239	- 15 941	16 689	- 24 260
99	4	11 712	- 14 819	15 567	- 19 976
96	5	10 603	- 13 788	14 963	- 20 663
92	6	9 167	- 9 570	13 540	- 17 467
87	7	9 612	- 11 696	13 941	- 19 362
81	8	6 687	- 6 110	12 688	- 15 238
73	9	4 956	- 4 295	11 254	- 16 166
66	10	3 547	- 2 295	11 468	- 14 114

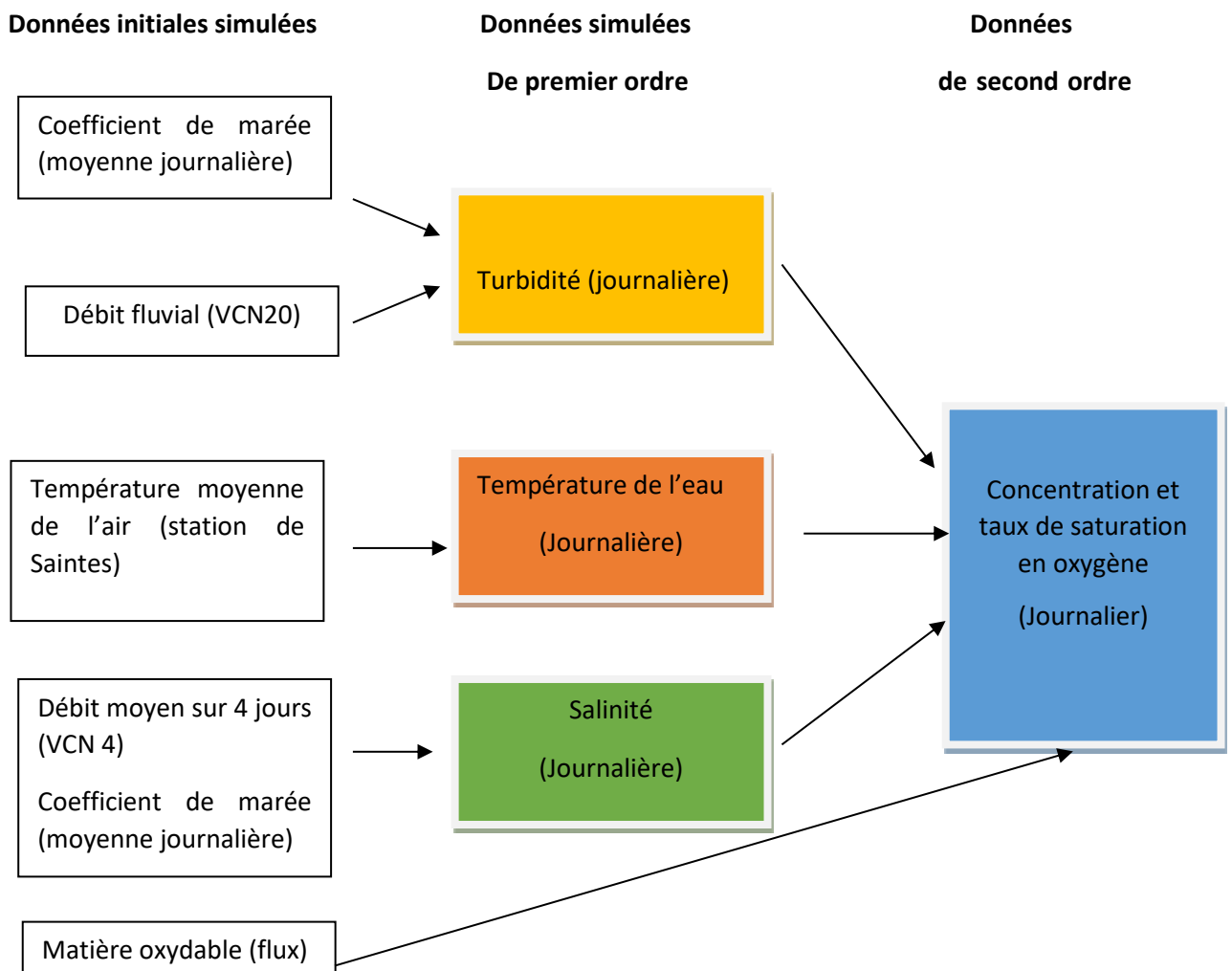
Un premier résultat indique une longueur de la zone d'oxygénation inférieure à 3 mg/l de l'ordre de la dizaine de km observée en septembre 2021.

3.4 Le modèle STURI'Eau pour tester des hypothèses

Le modèle STURI'Eau été mobilisé pour exploiter les données de suivi en continu produite par la sonde MAGEST pour la Charente à Tonnay-Charente. En attendant des historiques de mesures assez longs, seuls des modèles permettent de reconstituer des chroniques historiques nécessaires à une analyse fréquentielle ou pour tester les conséquences de différentes combinaisons de paramètres clés que sont le débit fluvial, la température, les coefficients de marée.

Ce modèle est issu de travaux réalisés dans le cadre du SAGE de l'estuaire de la Gironde (Eaucéa 2007). Il s'agit de réunir au travers de différents facteurs explicatifs en interaction les valeurs des paramètres physiques mesurés par la sonde MAGEST (données simulées de premier ordre), puis à partir de ces indicateurs évalués la concentration en oxygène (données simulées de second ordre). Toutes les simulations sont effectuées sur la base de relations mathématiques qui sont figées dans le modèle STURI'EAU puis calées au cas par cas selon un processus d'optimisation à partir des chroniques mesurées. Le modèle ne décrit que des grandeurs journalières. Plus la chronique est longue meilleur est le calage. Notons que par conception, le modèle étant calé sur des observations, les extrapolations pour des situations significativement éloignées du champ des observations seront sujettes à caution. En revanche, la robustesse du modèle permet de générer de nombreuses simulations rapidement dès lors qu'elles s'inscrivent dans le champ des observations historiques.

Schéma de la modélisation de la concentration en oxygène à Tonnay Charente



3.4.1 Turbidité

La turbidité a été simulée exactement selon les mêmes principes que ceux développés pour la salinité :

- Première corrélation avec le coefficient de marée, sur la base d'une équation linéaire ;
- Application de l'influence du débit sur la base d'une courbe sigmoïde donnant une valeur comprise entre 0 et 1.

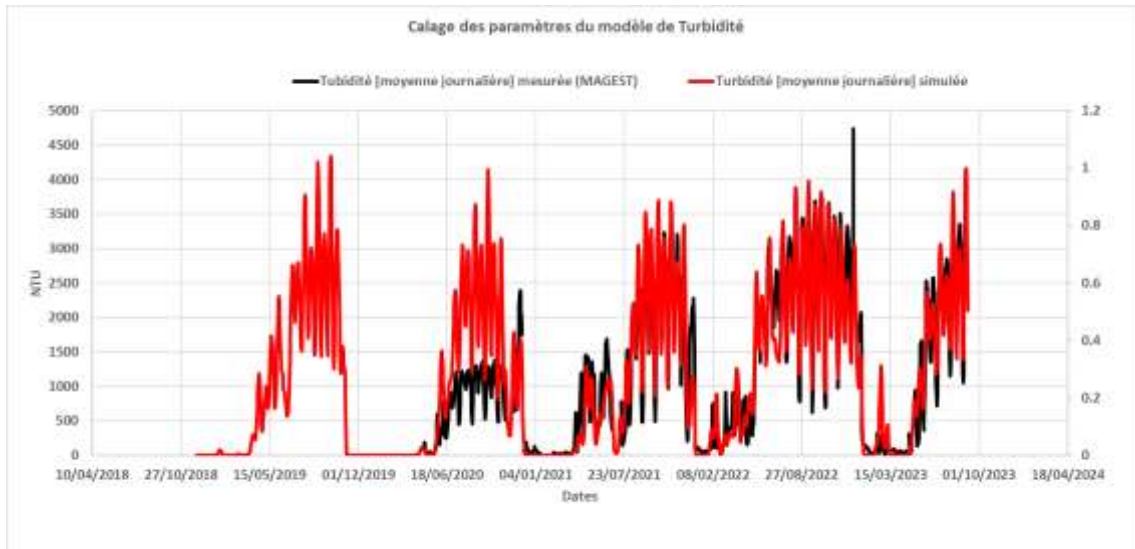


Figure 19 : Turbidité Mesurée (MAGEST), Turbidité Simulée (STURIEAU) et Débit à de la Charente

Notons un changement de la sonde de mesures en 2019 ou 2020, l'ordre de grandeur des données mesurées change entre 2020 et les années suivantes.

3.4.2 La salinité

Le graphique suivant présente les valeurs de salinité mesurées et calculées à Tonnay. Le meilleur résultat est trouvé en prenant en compte le débit moyen sur 4 jours consécutifs précédent l'observation. La simulation de la salinité de l'eau entre 2020 et 2023 est globalement satisfaisante (critère de NASH de 0,92). Notons que les étiages 2022 et 2023 ont permis d'explorer des salinités significativement élevées pour Tonnay-Charente.

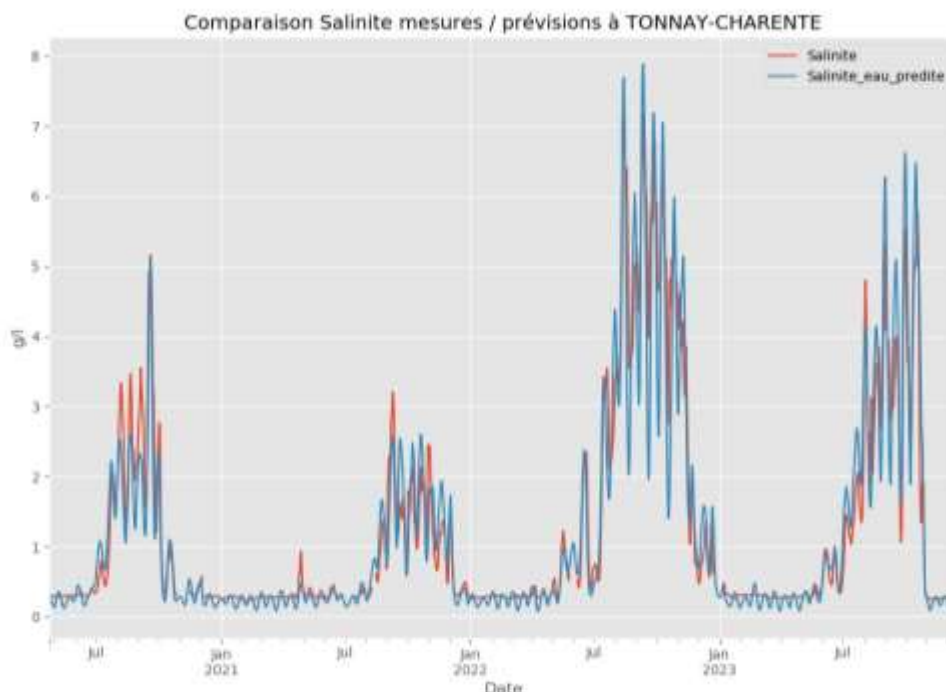
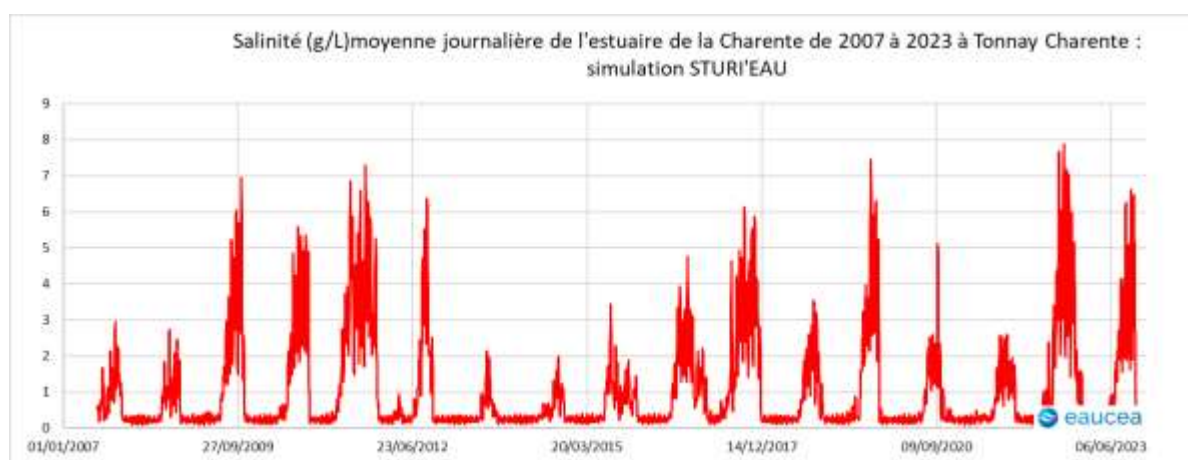


Figure 20 : Salinité g/L Mesurée à Tonnay (moyenne journalière MAGEST), Salinité Simulée (STURIEAU)

Sur la base de ces équations et de la connaissance des paramètres débit fluvial estuarien et coefficient de marées il a été possible de reconstituer « l'histoire » récente de la salinité à Tonnay-Charente



3.4.3 La température, un paramètre largement indépendant du débit

Une modélisation (modèle Sturi'eau) sur le site de Tonnay-Charente, montre que ce paramètre peut être évalué avec une bonne confiance sur la base des températures atmosphériques. La station météorologique de référence retenue est celle de Saintes.

La première équation utilise la température moyenne sur 30 jours afin de retranscrire les variations lentes et fortes liées aux grands changements de temps. La deuxième utilise la température moyenne de l'air sur 10 jours. Elle permet de retranscrire les variations rapides de températures en lien avec des passages caniculaires ou des vagues de froid.

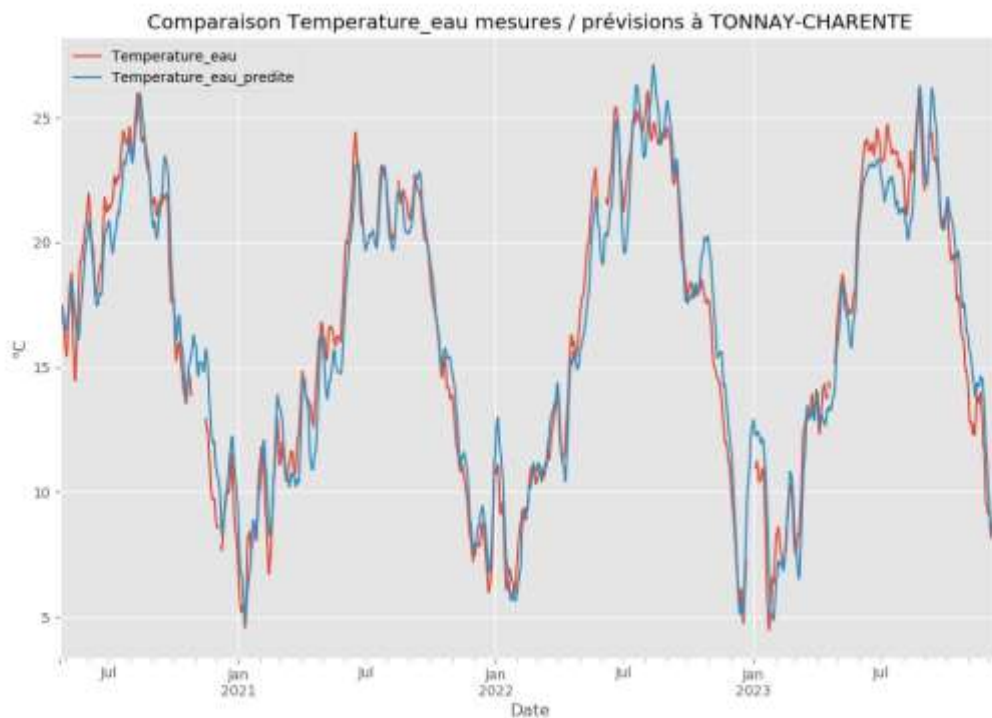


Figure 21 : Calage du modèle thermique de l'estuaire de la Charente à Tonnay Charente (T° en moyenne journalière)

Sur les deux dernières années on note que la température maximale a tangenté les 25°C. L'application du modèle précédent permet aussi de remonter le temps et de décrire l'ambiance thermique de l'estuaire sur des cycles longs (ici depuis 1916 jusqu'en 2023). Ces données sont modélisées à partir du modèle STURI'EAU Tonnay-Charente, calé sur les données MAGEST et alimenté par les données Météo France des Températures moyennes de l'air à Saintes (17).

Cet usage des modèles est intéressant pour analyser statistiquement des risques. Dans le graphe ci-dessous on discerne une tendance à l'augmentation des maximales et à la diminution des minimales. La série est trop courte pour en tirer une conclusion argumentée sur ces seules valeurs mais il est évident que les changements climatiques pèsent déjà sur ce paramètre.

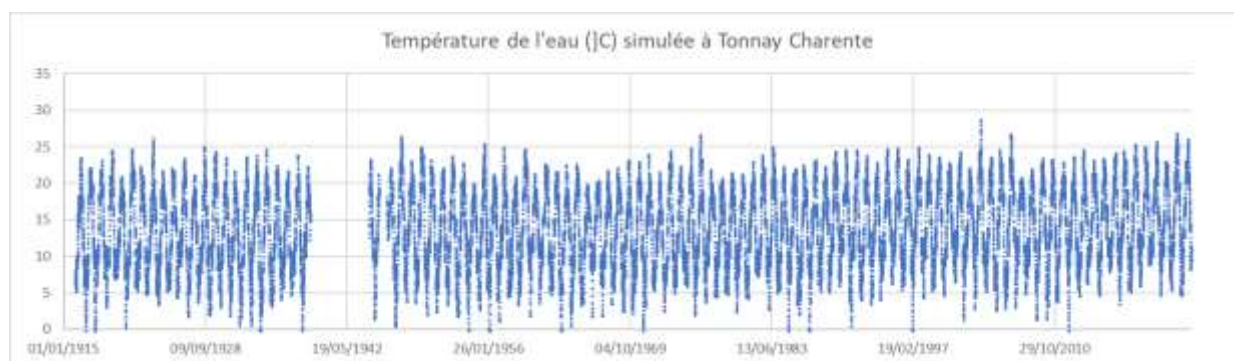


Figure 22 : Simulation pluriannuelle (1916-2023) de la température [moyenne journalière] de l'eau à Tonnay-Charente

Une version plus communicante peut être proposée en identifiant les anomalies de températures. La référence est la moyenne 1991-2020. La couleur est bleue si l'anomalie de température est négative, rouge si positive. Cette présentation met en évidence la situation totalement anormale des dernières années qui correspondent aussi à l'installation des sondes MAGEST.

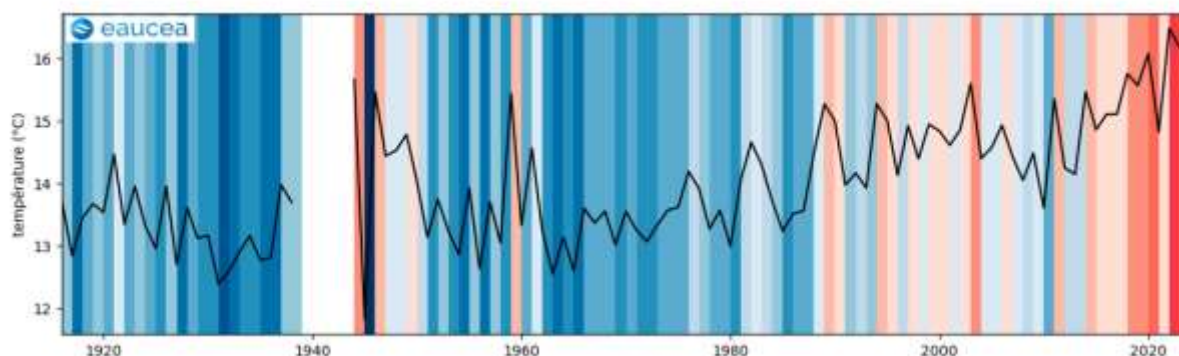


Figure 23 : Simulation pluriannuelle (1916-2023) de la température « warming strip » de l'eau à Tonnay-Charente

Plus en aval vers l'embouchure, l'influence océanique et son inertie devront être appréhendée si l'on souhaite décrire le fonctionnement estuarien dans sa globalité. Il est cependant probable que la température de la mer des pertuis suive aussi une tendance au réchauffement.

3.4.4 L'oxygène

3.4.4.1 Indicateur « moyenne journalière »

Il a été considéré que la concentration en oxygène dans le bouchon vaseux était prioritairement liée à la quantité maximum d'oxygène que l'eau peut contenir (concentration à saturation, fonction de la température et de la salinité). La concentration en oxygène dépend ensuite également de la consommation d'oxygène dans le bouchon vaseux issue de l'activité biologique de type cinétiques de biodégradation bactériennes. Cette dernière est fortement corrélée à la température de l'eau, à la densité du bouchon vaseux (NTU) et à la quantité de matière oxydable disponible. Des paramètres tels que la réaération et la consommation benthique sont négligés. Par ailleurs, la concentration en matières oxydables a été considérée comme homogène au sein du bouchon vaseux (compte tenu de la turbulence dans ce milieu agité).

L'activité biologique intervient, en consommant une quantité d'oxygène sur ce niveau de base. Cette cinétique de dégradation est fonction de trois éléments :

1. Une fonction de surface d'échange, directement liée à la turbidité moyenne, La fonction de surface d'échange a été évaluée par l'équation suivante :

$$k' = \frac{NTU}{Kk + NTU}$$

2. Une fonction de substrat, liée à la quantité de matières biodégradables disponible, qui peut être décrite par la branche ascendante de l'équation de Monod : Le facteur S a été évalué en prenant en compte des hypothèses d'apports en DBO5 dans le bouchon vaseux. Dans notre modèle il s'agit sans doute de la variable la moins « expliquées » car nous n'avons pas pu la mettre en relation avec les rejets polluants connus dans l'estuaire (exemple de la station d'épuration de Rochefort), ni avec les flux issus du grands bassins (DBO5 de la Charente). Le rôle de l'estran est sans doute déterminant comme source de matière organique, alimentant le moteur de la biodégradation dans le bouchon vaseux et donc les phases les plus critiques pour l'oxygène de l'eau.

$$k = k_{max} \frac{S}{K_s + S}$$

3. Le taux de croissance bactérien, directement fonction de la température qui a été calculé à l'aide de l'équation de Gotaas, qui donne la relation suivante :

$$KT = K_{20} \times 1.042^{T-20}$$

Avec :

- T, la température de l'eau en °C
- La valeur du K_{20} est issue de la littérature

En utilisant les trois équations précédentes, il est ainsi possible de simuler la quantité d'oxygène consommée dans le bouchon vaseux. Les résultats de simulation de l'oxygène de 2020 à 2023 compris sont présentés sur le graphique ci-dessous. Nous pouvons les considérer comme très satisfaisants compte tenu de la complexité des mécanismes réels impliqués.

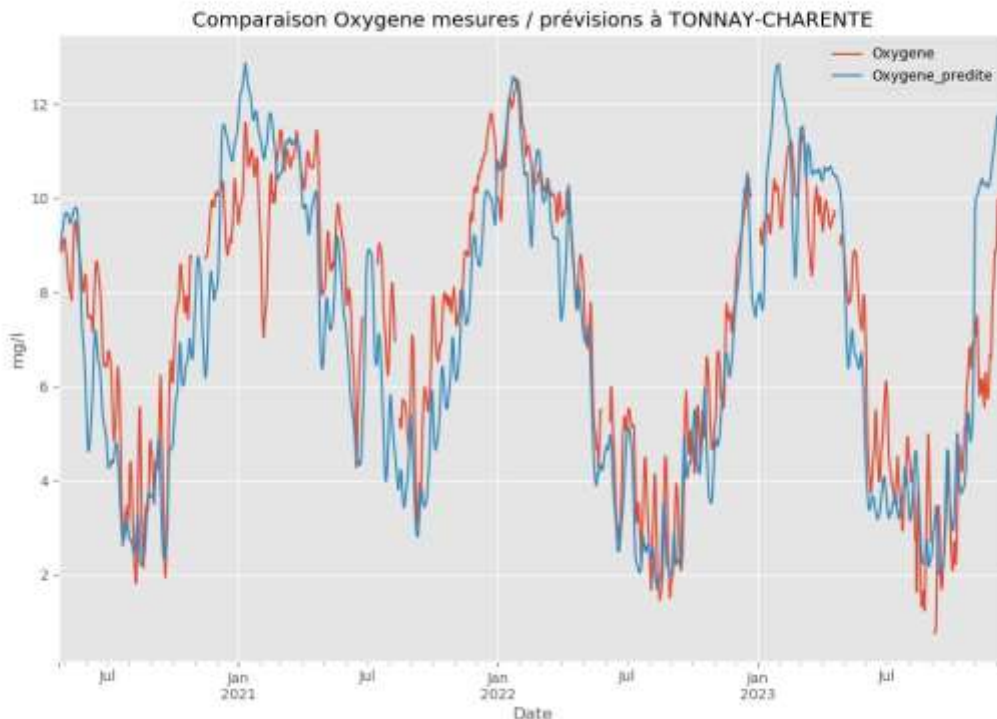


Figure 24: Oxygène Mesuré (MAGEST), Oxygène Simulé (STURIEAU) à Tonnay Charente

3.4.4.2 L'oxygène à des pas de temps infra journaliers, une recommandation du conseil scientifique

Le conseil scientifique a recommandé de s'intéresser aux phases de concentration minimale considérées comme limitante de l'habitat même si elles sont de faible durée.

Les mécanismes extrêmement complexes qui président au bilan de l'oxygène rendent une prédiction explicite hors de portée de nos outils de modélisation, et sans doute hors de portée des systèmes de modélisation physique et biologique actuellement disponible.

Pour résoudre ce frein scientifique, nous approchons le risque de franchissement de ce seuil sous forme statistique en s'appuyant sur les données expérimentales. En effet, le modèle STURI'EAU produit un indicateur journalier qui a le mérite de pouvoir être relié aux conditions physiques du milieu, dont le débit fluvial, avec une certaine robustesse. Le traitement des données vise à décrire la variabilité des concentrations observées autour de chaque situation moyenne.

Le nombre de données disponibles est de 1231 sur la période avril 2020 à décembre 2023. On note que le nombre de situations observées est faible pour les très basses concentrations (inférieures à 2 mg/L en moyenne journalière = 31 événements), mais qu'au-delà ce nombre est suffisant pour proposer une lecture statistique du risque d'écart.

2020/2023		Analyse des écarts négatifs à la valeur moyenne (quantile)							
Valeur moyenne journalière (plage)	Nb données instantannées	min	5e	25e	Mediane	Moyenne	75e	95e	max
1-2 mg/L	31	-1.19	-0.91	-0.78	-0.66	-0.67	-0.57	-0.39	-0.31
2-3 mg/L	61	-1.45	-1.27	-1.03	-0.79	-0.81	-0.62	-0.43	-0.29
3-4 mg/L	100	-2.83	-1.35	-1.04	-0.83	-0.88	-0.7	-0.48	-0.24
4-5 mg/L	117	-1.78	-1.38	-0.99	-0.74	-0.79	-0.59	-0.36	-0.28
5-6 mg/L	118	-1.41	-1.31	-0.95	-0.71	-0.75	-0.51	-0.33	-0.24
6-7 mg/L	90	-1.49	-1.27	-0.94	-0.71	-0.74	-0.55	-0.26	-0.18
7-8 mg/L	141	-1.43	-1.26	-0.98	-0.73	-0.74	-0.49	-0.27	-0.09
8-9 mg/L	145	-1.32	-1.05	-0.82	-0.62	-0.63	-0.44	-0.2	-0.13
9-10 mg/L	175	-2.05	-1.07	-0.58	-0.4	-0.48	-0.22	-0.15	0
10-11 mg/L	189	-1.87	-1.09	-0.65	-0.44	-0.51	-0.25	-0.13	-0.06
11-12 mg/L	64	-1.63	-1.2	-0.64	-0.46	-0.52	-0.3	-0.1	-0.07
	1231								

Figure 25 Analyse statistique des écarts négatifs de la concentration en O2 dissous par rapport à la valeur moyenne journalière (quantile)

Une représentation en boîte à moustache permet de décrire le domaine de variabilité négative, et donc à risque autour des valeurs moyennes de chaque plage de débit (au pas de de 1mG/L et de 0,5 mg/L) autour de la gamme de 3 à 6 mg/L. La fluctuation autour de la valeur moyenne apparaît ainsi relativement circonscrite.

Le dernier graphe est sans doute le plus explicite car il montre que dans la gamme des valeurs recherchées dans cette étude soit entre 3 et 6mg/L, l'écart à la situation moyenne est inférieur ou égal à 1 mg/L dans 75% des cas (Seuil bas des boîtes et domaine encadré en rouge dans le tableau). Elle passe à 1,3 mg/l dans 95% des cas.

Compte tenu de la précision recherchée et raisonnable au vu des performances de la modélisation, nous pourrions considérer que pour une valeur journalière de 5 mg/L, le minimum instantané sera de 4 mg/L.

Notons que la valeur moyenne de 3 mg/L correspond à des planchers instantanés de l'ordre de 2 mg/L.

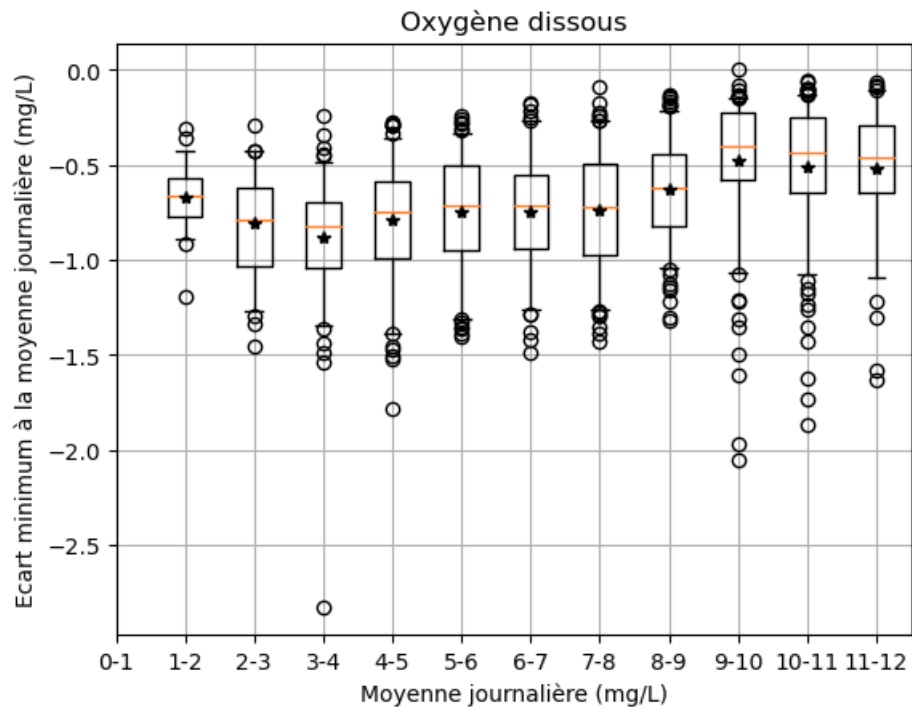
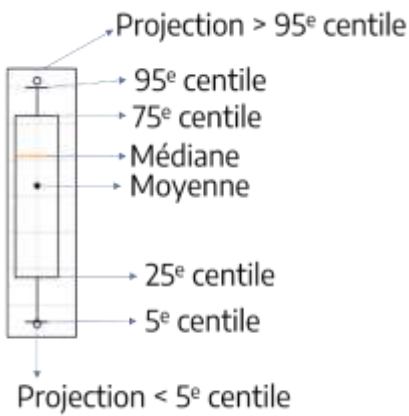
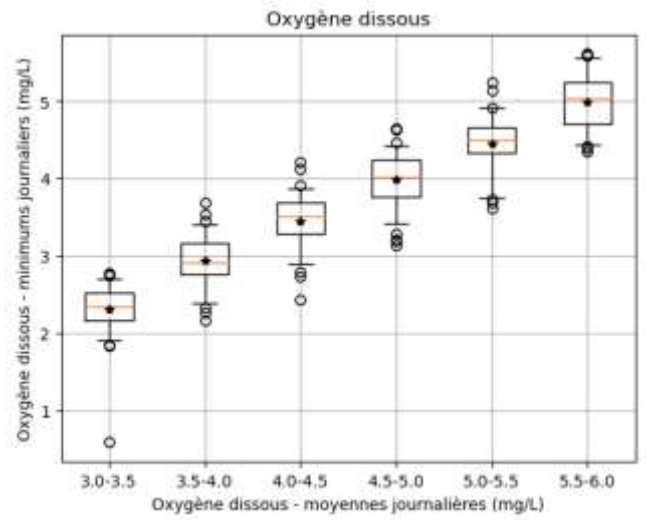
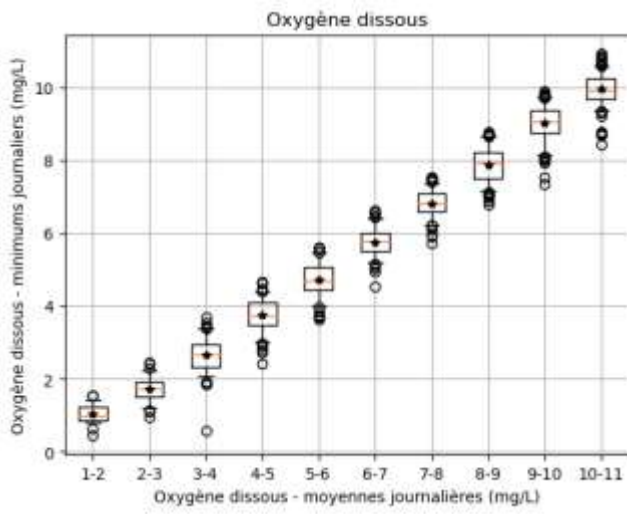


Figure 26 Amplitude statistique des baisses probables de la valeur de concentration en oxygène par plage de concentration moyenne

4 Proposition de débits biologiques

4.1 Saisonnalité des objectifs

L'estuaire est un milieu habité de façon continue ou temporaire par différentes espèces animales et constitue une voie de migration obligatoire pour les poissons grands migrateurs. Sans sous-estimer la complexité des mécanismes écologiques estuariens, la question des débits biologiques annuels peut être approchée au travers d'une grille des principaux facteurs limitants évoqué précédemment en regard de leur sensibilité saisonnière et du contexte hydrologique.

Critère	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
Continuité écologique	Selon calendrier migratoire des espèces ciblées (Saint Savinien)				
Salinité	Structuration écologique estuarienne				
Turbidité	Expulsion Bouchon vaseux	Position dans l'estuaire			Selon hydrologie Sèche/humide de l'année
Oxygène dissous		Migration alose	Risque maximal habitat	Selon la baisse des températures, baisse du risque	
Synthèse	Facteurs limitants le plus exigeant				

La période des hautes eaux et de la plupart des crues se situe de décembre à avril, période plutôt froide. Cette période du cycle hydrologique est proportionnellement très peu impactée quantitativement par l'activité humaine. Les principaux enjeux sont sédimentaires. Les simulations numériques de F.Toutblanc (LIENSs) montrent que à 400 m³/s (crues de novembre et décembre 2023 par exemple) les sédiments sont clairement exportés vers l'aval de Rochefort et que les sédiments mobiles de l'estuaire amont sont « massivement expulsés » vers la baie de Marennes Oléron. Ce mécanisme a donc des conséquences hydromorphologiques importantes et il sera intéressant de suivre d'éventuelles conséquences sur les enregistrements MAGEST à l'étiage 2024. **Le recensement des périodes de crue et de leur fréquence est donc un indicateur important pour le suivi de l'estuaire et notamment sa partie amont.**

Les périodes de transition et des eaux moyennes, sont peu sensibles au risque thermique et donc de sous-oxygénation car elles se produisent au printemps et à l'automne. Dans ces phases, l'estuaire a tendance à importer le plus de sédiments entre l'embouchure et Rochefort. Les mécanismes liés à la marée sont dominants sur le débit. C'est une période importante pour les migrations de reproduction en eau douce mais aussi pour les civelles, les flets ou les mulots. Certaines espèces fluviales viennent explorer l'estuaire moyen (brème et poisson chat) selon la salinité mais la turbidité reste un paramètre contraignant pour toutes les espèces. En amont, à Saint Savinien ce sont 30 espèces différentes qui ont été observées dans les campagnes de piégeage de 2020,2021,2022 source « Tableau de bord migrateurs Charente Seudre ».

La période des basses eaux est sans doute la plus sensible pour les paramètres de salinité et d'oxygénation car elle se croise aussi avec le risque de températures élevées. L'étiage favorise plutôt la sédimentation et donc une moindre turbidité mais des concentrations élevées en matière en suspension implique tout l'estuaire et notamment la haute partie de l'estuaire qui s'envase alors qu'elle est plus

épargnée en période de hautes eaux. La dynamique est donc différente dans la phase d'entrée en étiage (étalement du bouchon vaseux progression vers l'amont et installation d'un régime turbide à l'Houmée) et en phase de reprise des écoulements avec un recul du maximum de turbidité vers Rochefort. Vis-à-vis de la faune piscicole, la marinisation de l'estuaire aval est favorable à la présence d'espèces telles que la sole mais la principale inquiétude concerne les conditions de dévalaisons des alosons qui doivent traverser des zones faiblement oxygénées.

L'ensemble du cycle hydrologique de la Charente joue un rôle majeur dans le fonctionnement hydromorphologique et écologique de l'estuaire. Toute modification majeure de ce cycle aurait des répercussions sur l'état écologique du milieu à courte ou longue échéance. La période la plus sensible est la période d'étiage car elle implique à la fois l'habitat estuarien mais pourrait aussi jouer un rôle dans la connexion biologique entre l'océan et le continent. Compte tenu des connaissances actuelles cette période constitue sans doute la plus sensible en termes de gestion quantitative.

A : Poissons amphihalins potamotoques (reproduction en eau douce)														
A	Famille	Ecophase	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Salmonidae *	Adult		■	■	■	■	■	■				■	■
Juv					■	■	■	■	■					
Clupeidae Alosa sp.*	Adult			■	■	■	■	■						
	Juv							■	■	■	■	■	■	■
Osmeridae *	Adult											■	■	■
	Juv					■	■	■	■	■				
Petromyzontidae *	Adult		■	■	■	■	■					■	■	■
	Juv		■	■	■						■	■	■	■

B : Poissons amphihalins thalassotoques (reproduction en mer)														
B	Famille	Ecophase	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Anguillidae	Argentée		■	■						■	■	■	■
Jaune juv.			■	■						■	■	■	■	■
Civelle			■	■	■	■	■					■	■	■
Flet	Adult		■	■	■	■								
	Juv					■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mulet	Adult				■	■	■	■		■	■	■		

C : Poissons d'origine marine (reproduction en mer)													
C	Famille	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Sole							■	■	■	■	■	■
Bar						■	■	■	■	■			
Sprat						■	■	■	■	■	■	■	■

D : Poisson estuarien autochtone – (cycle de vie et donc reproduction en estuaire)													
D	Famille	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	Gobie		■	■	■	■	■						

Figure 27 : Calendriers d'occupation des masses d'eaux de transition par les espèces de poissons considérées – présence et migrations (d'après ÉLIE,1992); en rouge: les poissons migrateurs non considérés comme sensibles au crise d'hypoxie. Source C. Taverny CEMAGREF (2009)

Migration de dévalaison ■ et de montaison ■ – mouvements amont aval ■ – milieu de vie □

Remarques : la taxonomie ayant changé, les aloses sont aujourd'hui classées dans la famille des Alosidae et non plus Clupeidae.

4.2 Des valeurs seuils aux débits biologiques, une situation nécessitant une approche matricielle

Les analyses précédentes montrent qu'un même débit peut conduire à des situations très diverses selon le coefficient de marée ou la température atmosphérique. Il n'est donc pas possible de proposer une valeur unique de débit biologique. C'est pourquoi nous proposons de définir pour différents couples de paramètres, la valeur de débit qui satisfait chaque objectif environnemental.

Remarque importante : la valeur de débit testée, correspond à l'addition des débits de Beillant (Charente), la Lijardière (Seugne) et Saint Jean de l'Escap (Boutonne). Il faut donc lui rajouter le cas échéant et selon les périodes les prélèvements en aval de ces stations (exemple canal de l'UNIMA et usine de Coulonges ou prélèvements agricoles).

4.2.1 Choix des marées de référence

Nous constatons qu'un coefficient de marée élevé constitue un facteur explicatif important des situations observées notamment vis-à-vis de l'oxygène dissous. Il est proposé (de façon un peu arbitraire) que la valeur cible correspondent à un risque d'occurrence des situations à problème inférieur à 25%, qui sera qualifié de modéré.

Une analyse fréquentielle du cycle des marées sur l'année 2021 montre la distribution suivante qui conduit à sélectionner la ligne des coefficients de 90 (limite des marées de vive-eau moyenne) comme caractéristique d'un risque d'occurrence faible (24% des coefficients lui sont supérieurs).

*Borne sup
de la plage*

	Nombre	Fréquence	Risque cumulé	
25	1	0%		100%
30	17	2%	2%	100%
35	23	3%	5%	98%
40	28	3%	8%	95%
45	48	6%	14%	92%
50	59	7%	20%	86%
55	65	8%	28%	79%
60	72	8%	36%	72%
65	64	7%	44%	63%
70	61	7%	51%	56%
75	76	9%	60%	49%
80	69	8%	68%	40%
85	64	7%	75%	32%
90	66	8%	83%	24%
95	65	8%	91%	17%
100	25	3%	94%	9%
105	28	3%	97%	6%
110	18	2%	99%	3%
115	7	1%	100%	1%
120	0	0%	100%	0%
	856	100%		

4.2.2 Objectif turbidité

La sensibilité de la turbidité au débit fluvial a été testé pour les deux seuils retenus par Taverny pour sa grille de qualité, soit 50 et 500 NTU.

La matrice ci-dessous évalue au travers du modèle STURI'EAU le débit minimal nécessaire selon les coefficients de marée.

Si l'on retient la marée de 90 comme caractéristique du « risque », des valeurs de débit de 60 m³/s et plus apparaissent nécessaires pour maintenir l'estuaire en qualité moyenne. Ce n'est donc pas un critère effectif pour la période de basses et de moyennes eaux.

		Seuil Turbidité	
		50	500
Marée	25	69	40
	30	71	44
	35	72	47
	40	73	49
	45	74	51
	50	75	52
	55	75	53
	60	76	55
	65	77	56
	70	77	56
	75	78	57
	80	78	58
	85	78	59
	90	79	59
	95	79	60
	100	80	60
105	80	61	
110	80	61	
115	80	62	
120	81	62	

Figure 28 Matrice débit/marée/turbidité

4.2.3 Objectif salinité

Le premier paramètre est la salinité, paramètre structurant de l'écosystème estuarien mais délicat à analyser en termes d'objectif écologique car il est normal que cette salinité évolue dans le cycle annuel. Il renvoie aussi à des enjeux de gestion eux-mêmes porteurs d'enjeux écologiques (réalimentation en eau des marais de Rochefort, condition d'exploitation conchylicole). En étiage, le secteur de Tonnavy-Charente est caractéristique de la zone de balancement entre secteur oligohalin (< 5g/L) du haut estuaire et de la zone mésohaline et polyhaline de l'estuaire aval.

La matrice ci-dessous présente les débits minima qui permettent de respecter ces seuils caractéristiques à Tonnavy-Charente. L'absence de donnée (case grisée) indique une situation où aucun débit testé ne correspond à la situation cherchée.

On retiendra de cette matrice que le maintien de cette « frontière saline » entre le haut et le bas estuaire positionnée autour de Tonnavy nécessite des débits moyens sur 4 jours consécutifs, supérieurs ou égaux à 12 m³/s pour des coefficients de 90 et moins mais pouvant atteindre 15 m³/s dans les épisodes de forts coefficients.

Débits nécessaire (m³/s) en fonction de valeurs seuils ciblées

		Salinité moyenne journalière					
		Seuil Salinité (g/l)					
		Oligohaline		Mesohaline		Polyhaline	Euhaline
		0.5	5	8	18	30	40
Marées	25	22					
	30	24					
	35	26					
	40	27					
	45	29					
	50	30					
	55	32					
	60	33	8				
	65	34	9				
	70	35	10				
	75	36	10				
	80	38	11				
	85	39	11				
	90	40	12				
	95	41	12	8			
	100	43	13	9			
105	44	13	9				
110	45	14	9				
115	47	14	10				
120	49	15	10				

4.2.4 Objectif oxygène

La démarche proposée est de décrire en fonction du couple (température de l'eau, coefficient de marée) la valeur de débit minimal qui garantit le maintien d'une concentration supérieure d'oxygène en moyenne journalière au seuil de 3 mg/l ou de 5 mg/l ou de 6 mg/L. Nous proposons donc 3 matrices qui correspondent au seuil de bon état ou de très bon état et une pour les objectifs biologiques plus concordant avec les recommandations pour les alosons.

La valeur plancher en valeur instantanée recommandée par le conseil scientifique, est de 4 mg/L. L'objectif de très bon état pour l'oxygène évalué au travers de la moyenne journalière constitue donc le seuil biologique recommandé pour l'estuaire de la Charente.

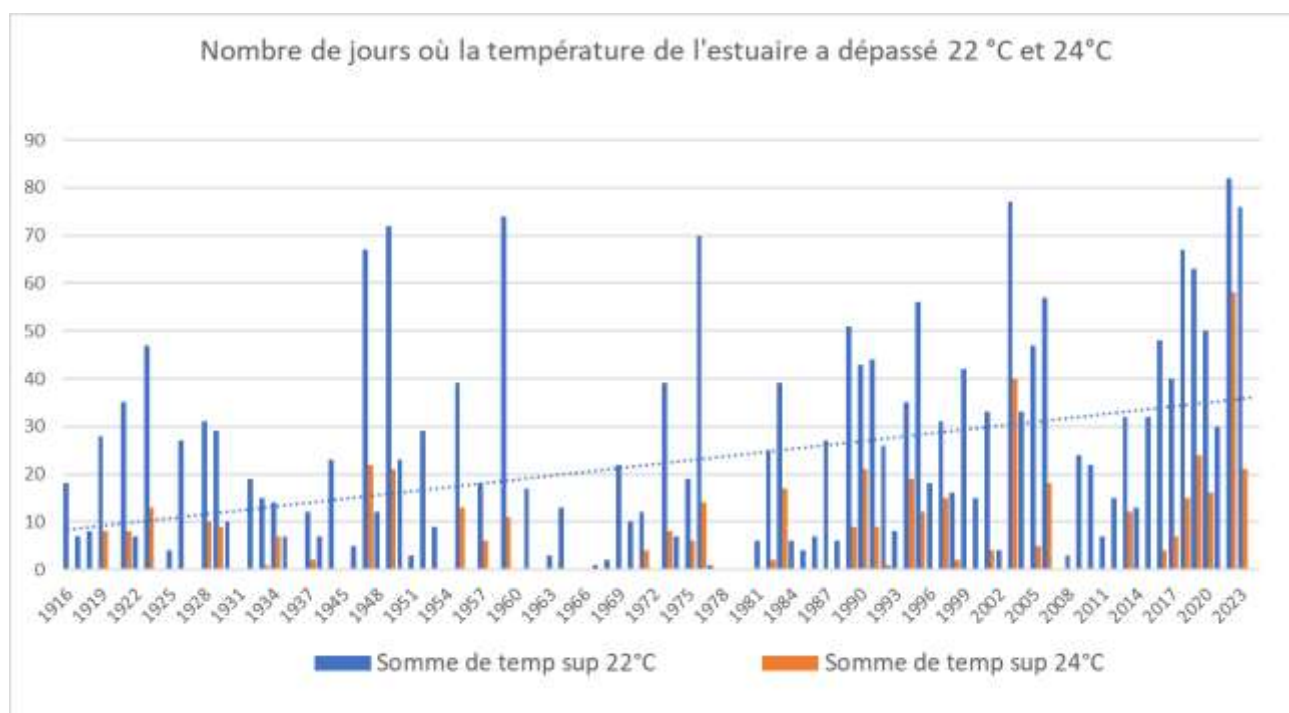
La fiche de synthèse⁵ du tableau de bord migrateurs Charente Seudre concernant l'impact du bouchon vaseux sur les alosons propose des seuils intéressants pour la définition de débits biologiques sur la période de dévalaison à savoir du 15 mai au 15 octobre.

Les résultats montrent que dans les situations estivales historiques (avant 2000), les valeurs de températures en été dépassaient rarement les 22°C. Un débit de 12 m³/s permettait de contenir le risque d'hypoxie sauf en marée de vives eaux.

Avec les périodes chaudes actuelles et des températures de l'ordre de 24°C à 26°C, le bon état écologique ne peut être garanti en dehors des périodes de mortes eaux que par des débits supérieurs à 30 m³/s environ pour le coefficient médian de 70 et de 40 m³/s et plus, pour de forts coefficients.

Pour le très bon état en moyenne journalière qui correspond aussi au plancher instantané de 4 mg/L, il faudrait tenir entre 40 et 60 m³/s dès que la température de l'eau dépasse 20°C.

Ces valeurs sont manifestement inatteignables aujourd'hui en période estivale.




⁵ <https://www.migrateurs-charenteseudre.fr/tableau-de-bord/grande-alose/2023/impact-du-bouchon-vaseux-oxy-temp-sur-les-alosons-2/>

Figure 29 Graphe illustrant l'augmentation tendancielle des jours de température élevée


DiOxygène

Débits nécessaire (m3/s) pour le bon état écologique

		Température de l'eau °C							
		16	18	20	22	24	26	28	30
 Marée	3 mg/L								
	25							17	32
	30						5	28	37
	35						17	33	41
	40					3	25	37	43
	45					7	30	40	46
	50					13	34	42	47
	55					19	36	44	49
	60				2	24	39	46	50
	65				4	27	40	47	51
	70				6	30	42	48	52
	75				8	32	43	49	53
	80				10	34	45	50	54
	85				12	36	46	51	55
	90				14	38	47	52	56
	95			2	17	39	48	53	56
	100			3	19	40	48	53	57
	105			4	21	41	49	54	58
	110			4	23	42	50	55	58
	115			5	24	43	50	55	59
120			6	26	44	51	56	59	

DiOxygène

Débits nécessaire (m3/s) pour le très bon état écologique

		Température de l'eau °C							
		16	18	20	22	24	26	28	30
 Marée	5 mg/L								
	25				19	34	42	47	51
	30			4	28	39	45	50	53
	35			13	34	42	48	52	55
	40			22	37	45	50	54	57
	45		3	28	40	47	52	55	58
	50		7	32	42	49	53	56	59
	55		10	35	44	50	54	58	60
	60		14	37	46	51	55	59	61
	65		18	39	47	52	56	59	62
	70	3	22	41	48	53	57	60	63
	75	4	25	42	49	54	58	61	64
	80	5	28	43	50	55	59	62	64
	85	6	30	44	51	56	59	62	65
	90	7	32	45	52	57	60	63	65
	95	8	33	46	53	57	61	63	66
	100	9	35	47	54	58	61	64	66
	105	11	36	48	54	58	62	64	67
	110	12	37	49	55	59	62	65	67
	115	13	38	50	55	59	63	65	68
120	14	39	50	56	60	63	66	68	

DiOxygène

Débits nécessaire (m3/s) pour le seuil de 6 mg/L

		Température de l'eau °C												
		6 mg/L	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Marée	25							5	30	40	46	51	55	58
	30							18	36	44	49	54	57	60
	35						2	26	40	47	52	56	59	62
	40						6	32	42	49	53	57	60	63
	45						11	35	45	51	55	59	62	64
	50						17	38	47	52	56	60	63	65
	55						22	40	48	53	57	61	64	66
	60					3	26	42	50	55	58	62	64	67
	65					5	29	44	51	56	59	62	65	68
	70					6	31	45	52	56	60	63	66	68
	75					8	34	46	53	57	61	64	67	69
	80					9	35	47	54	58	62	64	67	70
	85					11	37	48	54	59	62	65	68	70
	90					12	38	49	55	59	63	66	68	71
	95				3	14	40	50	56	60	63	66	69	71
	100				3	15	41	51	56	61	64	67	69	71
	105				4	17	42	51	57	61	64	67	69	72
110				4	18	43	52	58	62	65	67	70	72	
115				5	19	44	53	58	62	65	68	70	73	
120				5	21	44	53	59	62	66	68	71	73	

Remarque : Les valeurs correspondant aux températures supérieures à 28 °C, sont présentées pour donner une idée du risque lié aux situations de canicules mais n'ont encore jamais été rencontrées sur la Charente (contrairement à la Gironde). Elles sont donc à aborder avec prudence.

4.3 Rapprochement des enjeux débit et oxygène sur le cycle annuel

4.3.1 Prise en compte du régime thermique

Une importante clé d'interprétation est celle du profil thermique de l'estuaire modélisée jour par jour à partir de la station atmosphérique de Saintes, sur la période de référence 2000/2023.

La projection de cette information permet de reconstituer la température de l'eau avec les hypothèses Sturi'eau et donc de décrire comme pour la température atmosphérique le régime thermique de la Charente à Tonnay-Charente de 2000 à 2023.

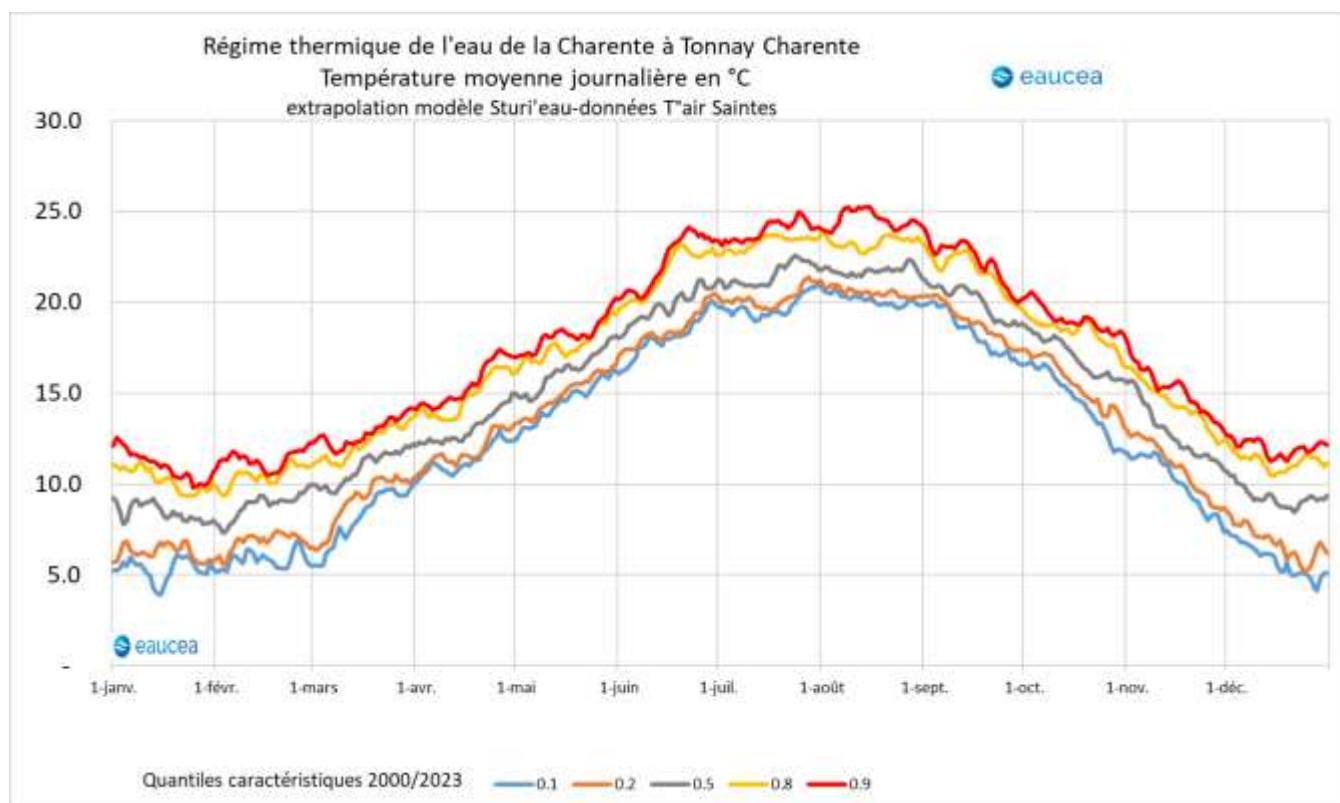


Figure 30 Profil thermique de l'eau de l'estuaire de la Charente à Tonnay Charente 2000 à 2023

4.3.2 Conséquence sur le régime des débits souhaitables en fonction de l'objectif oxygène

Pour permettre une analyse sur l'ensemble du cycle annuel, le modèle STURI'EAU a été mobilisé pour tester une gamme de température plus grande allant de 10°C à 28°C et pour les valeurs de dioxygène de 3 mg/L ; 4 mg/L, 5 mg/l et 6 mg/L.

Débit seuil m3/s pour le respect des objectifs		Température de l'eau °C											
		0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
3 mg/L	coef <90	0	0	0	0	0	0	0	14	38	47	52	56
4 mg/l	coef <91	0	0	0	0	0	4	23	42	49	54	58	61
5 mg/l	coef <92	0	0	0	0	7	32	45	52	57	60	63	65
6 mg/l	coef <93	0	0	0	12	38	49	55	59	63	66	68	71

Figure 31 Matrice des débits favorables à l'atteinte des seuils en oxygène pour 75% des marées (coefficient inférieur à 90)

La mobilisation de cette information appliquée au régime thermique de la Charente, permet de positionner le besoin en eau dans le calendrier annuel et de faire apparaître les phases les plus critiques en fonction des exigences visées. En regard de ces besoins en débit, la réalité du régime hydrologique est représentée par le tracé en pointillé rouge.

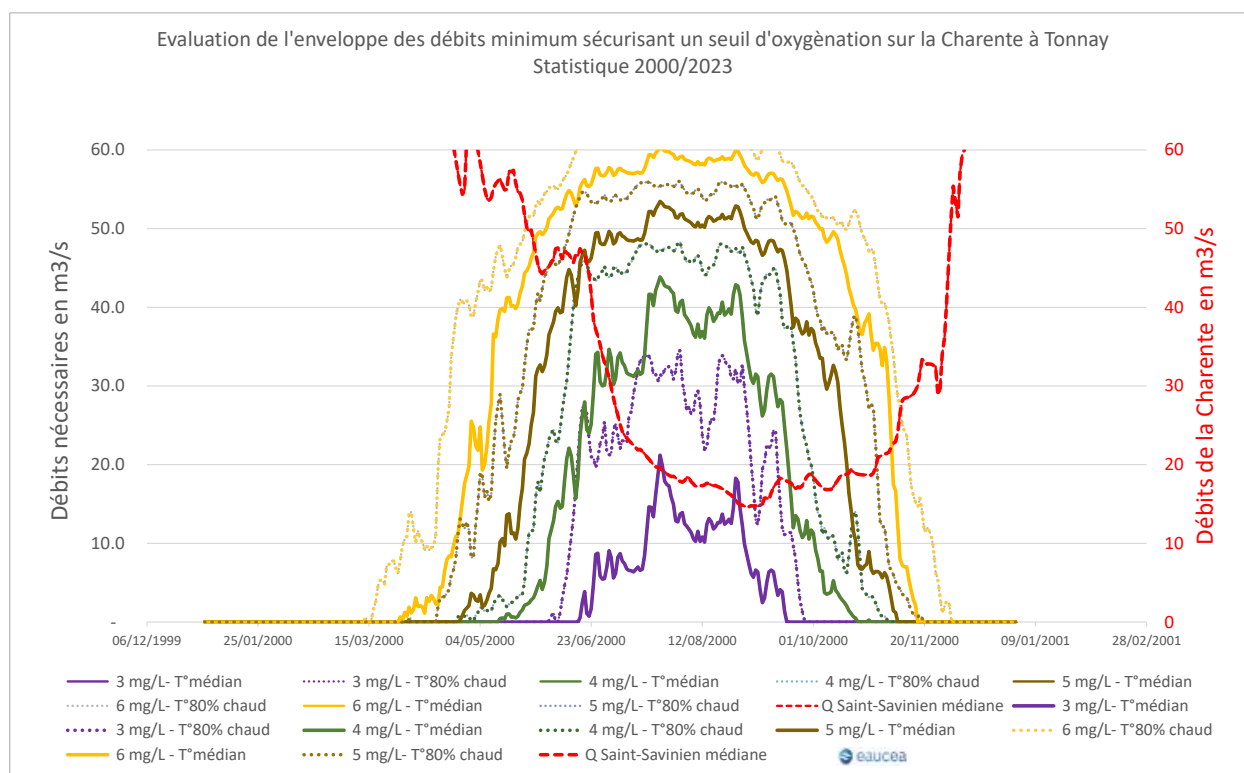


Figure 32 : Régime des débits statistiquement nécessaires à l'atteinte des seuils d'oxygène

Nous retiendrons qu'au cœur de l'étiage, le débit actuel (environ 15 m³/s) couvre la médiane des risques de franchissement du seuil de bon état 3 mg/L, sauf pour les grandes marées de vive eau. Il faut 30 m³/s pour couvrir le risque quinquennal (80%).

La période d'été sévère automnale (septembre octobre) bénéficie d'une baisse des températures. Il faut moins de 10 m³/s pour couvrir la médiane des risques de franchissement du seuil de bon état 3 mg/L, sauf pour les grandes marées de vive eau. Il faut 30 m³/s pour couvrir le risque quinquennal (80%).

Nous retiendrons :

- Pour le bon état les seuils de 12 m³/s au risque 1/2 et 30 m³/s au risque 2/10.
- Pour le très bon état, qui correspond aussi au plancher instantané de 4 mg/L, les seuils de 30 m³/s au risque 1/2 et 45 m³/s au risque 2/10.

4.3.3 Prise en compte du couple température oxygène pour les alosons

Vis-à-vis des alosons notamment, le couple température/oxygène est déterminant. Il se rajoute donc une nouvelle condition à prendre en compte dans l'interprétation selon les hypothèses présentées précédemment. Il s'agit ici uniquement des moyennes journalières.

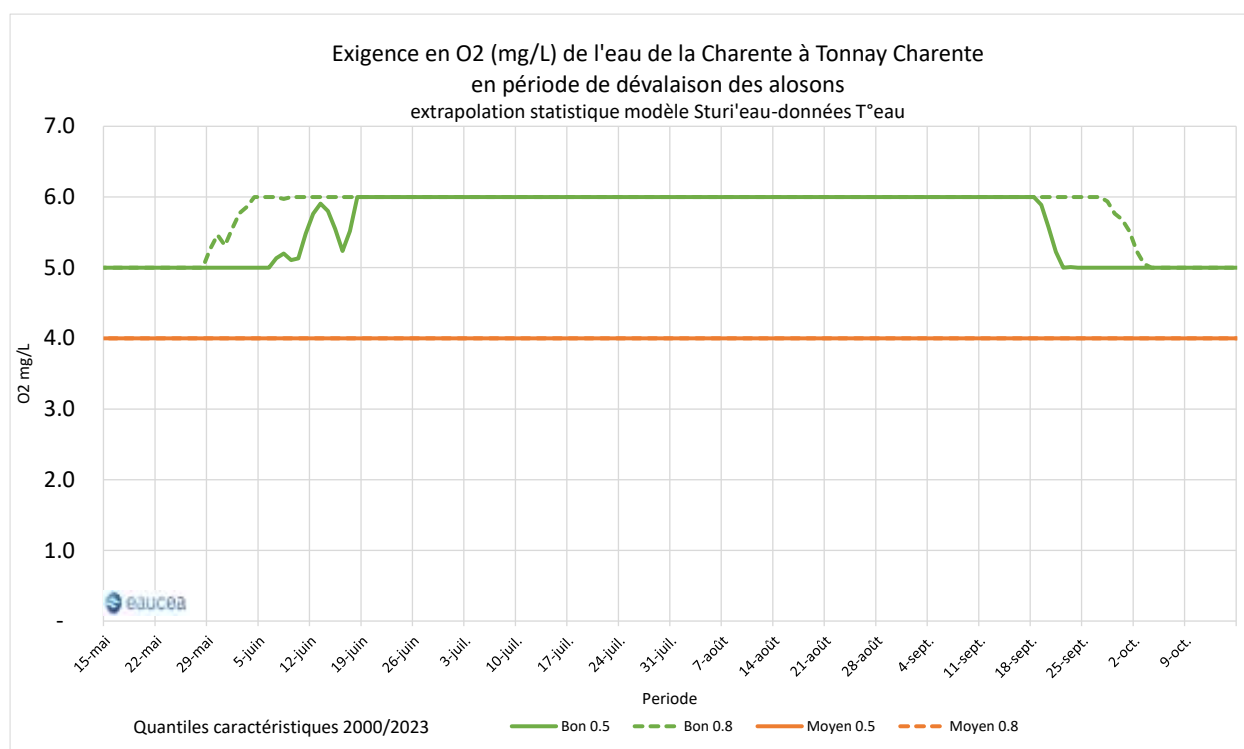


Figure 33 Traduction graphique des conditions d'oxygénation à respecter sur la Charente compte tenu du régime thermique de l'estuaire

Le rapprochement des deux indicateurs conduit à retenir :

- Les courbes 6 mg/L pour une situation bonne du 1 juin au 1 octobre ;
- Les courbes 5 mg/L pour une situation bonne la dernière quinzaine de mai et la première quinzaine d'octobre ;

La synthèse de ces objectifs se traduirait donc par des recommandations pour l'atteinte des conditions bonnes pour les alosons du 15 mai au 15 octobre (de 5 à 6 mg/L) et du très bon état (5 mg/L) le reste de l'année. Notons à nouveau que les conditions décrites ci correspondent à des moyennes journalières qui couvrent aussi des phases moins oxygénées (baisse de l'ordre de 1 mG/L). Le très bon état sécurise peu ou prou la valeur instantanée de 4 mG/L, valeur recommandée par le conseil scientifique et qui correspond aussi au plancher pour les alosons.

Ce profil constitue donc l'objectif à retenir. Les courbes résultantes en termes de débit biologique sont donc les suivantes pour un risque médian (0.5) ou quinquennal (0.8) et elles sont comparées à l'hydrologie médiane de la Charente.

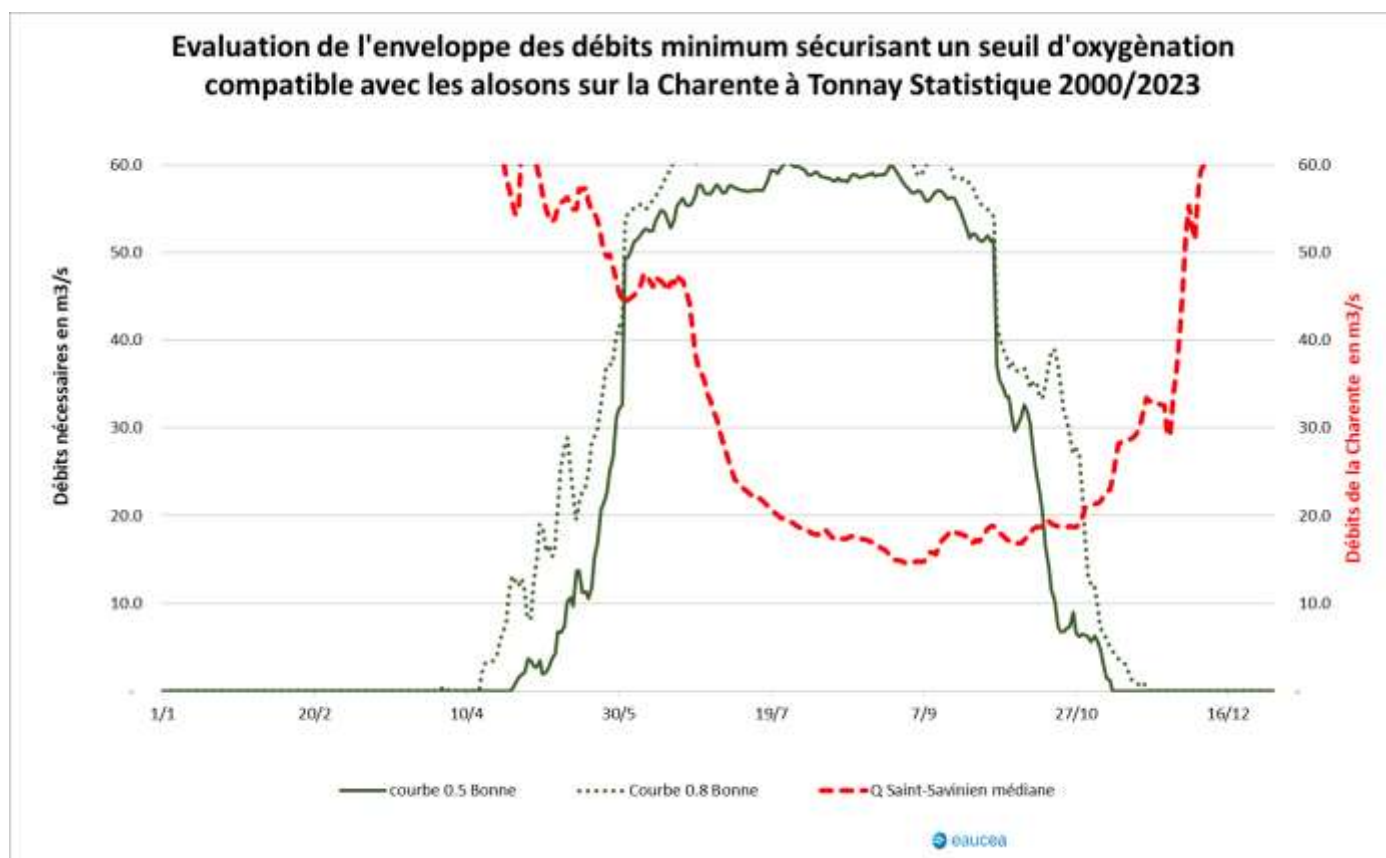


Figure 34 : Courbes de synthèse des débits biologiques « alosons » fondées sur l'oxygène et la température à Tonnay Charente

Les objectifs seraient donc de 10 à 50 m³/s en mai ce qui est observé certaines années et septembre et de 50 à 60 m³/s de juin à aout, augmentés d'environ 15 m³/s pour un risque quinquennal.

Ces objectifs correspondent au très bon état de la DCE et au conditions nécessaires aux migrations des alosons. Il est peu envisageable de les garantir dans le contexte hydrologique Charentais

4.4 Autres objectifs envisageables

L'estimation des pressions anthropiques vise à identifier les marges de manœuvre éventuelles autre que le débit pour atteindre les objectifs :

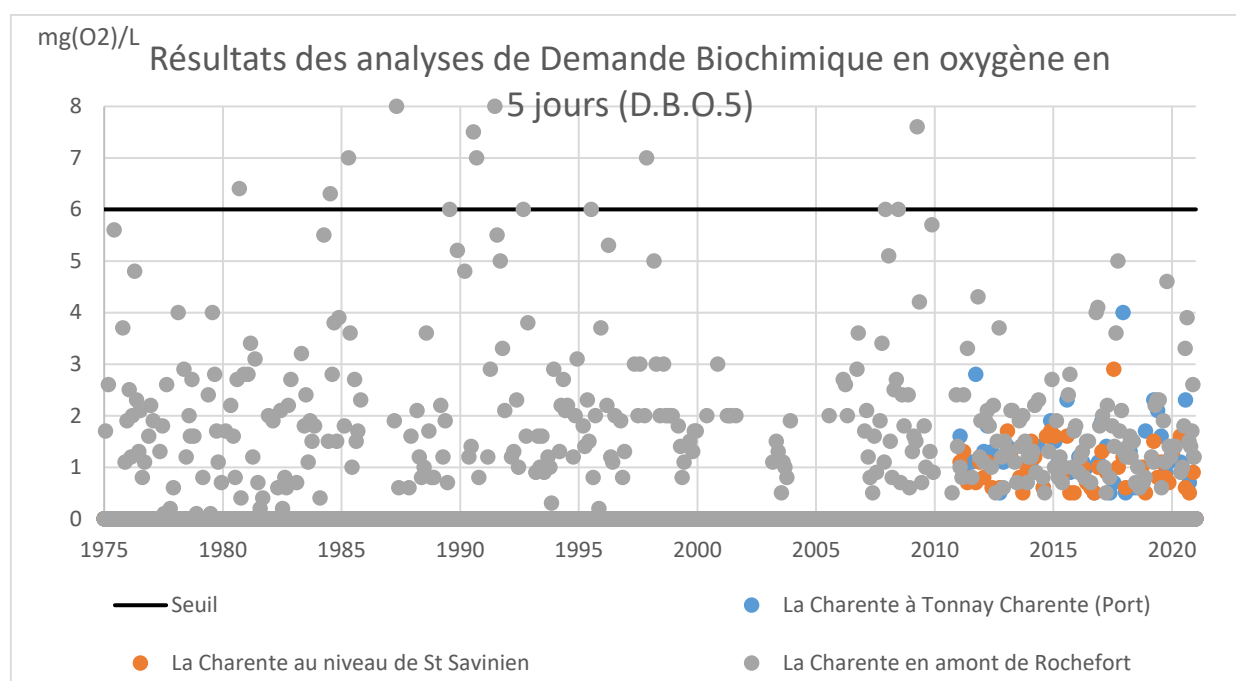
- ⇒ Pression sur les débits (bassin versant) : politique quantitative des bassins versants et changements climatiques ;
- ⇒ Pression sur l'hydromorphologie (zone estuarienne) => dysfonctionnement (pertes d'habitats, baisse de productivité biologique, perte de biodiversité) => écart à une situation souhaitée (à définir) ;
- ⇒ Pression sur le fonctionnement hydrodynamique et sédimentaire : dragage, stockage en amont des barrages (Saint-Savinien, Carillon) ;

- ⇒ Pression sur la continuité écologique : aménagement des ouvrages ou de leur gestion ;
- ⇒ Pression sur la qualité des eaux (pollution exogène ou eutrophisation).

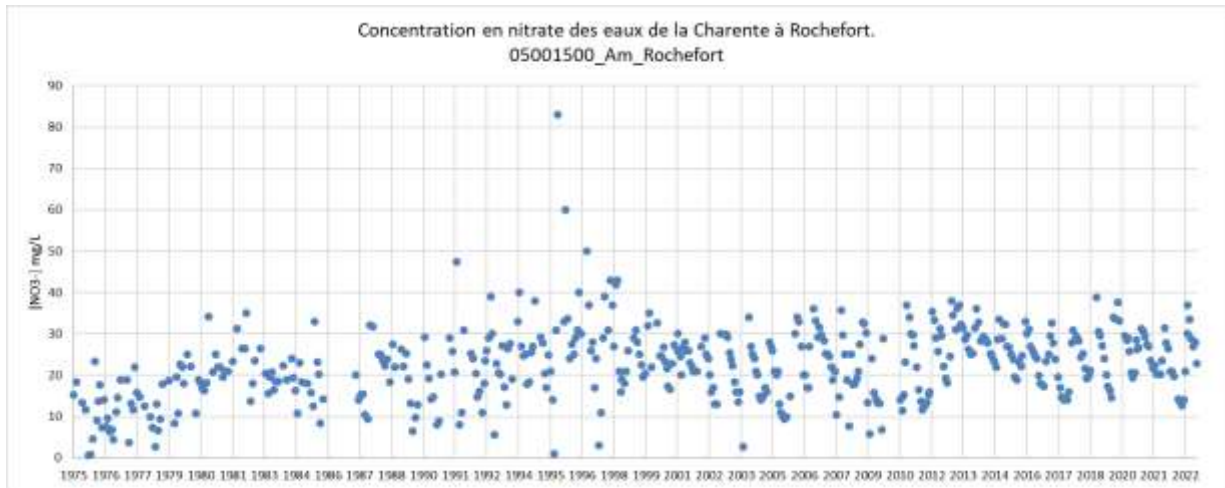
Dans cette étude, ces pressions sont visées mais leur évaluation précise et les moyens d'actions envisageables relèvent de travaux spécifiques à chaque SAGE notamment en ce qui concerne les pressions sur les débits.

La maîtrise des flux de matières organiques biodégradables dans l'estuaire pourrait passer par un effort d'assainissement au sein de l'estuaire mais les performances épuratoires de l'agglomération de Rochefort semblent déjà très satisfaisantes en regard des débits de dilution apportés par le volume oscillant.

Le suivi de la DBO5 au niveau de Rochefort montre que la valeur de 6 mg/L de DBO5 intégrée dans le modèle Sturi'eau est plutôt supérieure aux valeurs régulièrement observées dans l'estuaire et les valeurs les plus fortes en régression depuis 2010 environ.



La maîtrise des flux d'azote pourrait réduire le risque d'eutrophisation mais il faut aussi constater que ce flux fertilise et nourrit le bassin conchylicole. Le graphique présentant les données brutes mesurées dans la Charente à Rochefort (source SIE Adour Garonne) depuis 1975, fait apparaître un accroissement des concentrations, puis une stabilisation.



Une évaluation du flux a été réalisée par Eaucea en appliquant aux données une méthode différenciant les périodes de hautes eaux fluviales (ruissellement des sols agricoles) et les périodes de basses eaux (flux issus des stations d'épuration et des élevages et des nappes chargées en nitrate). Ce calcul débute en 2006 en raison de l'absence de données hydrométriques fiables antérieures. Nous observons que ces flux annuels sont toujours supérieurs aux flux correspondant à la limite de 18mg/L sauf en année sèche. L'estuaire de la Charente est donc largement alimenté en azote avec peut-être une influence sur le bilan de la matière biodégradable dans l'estuaire.

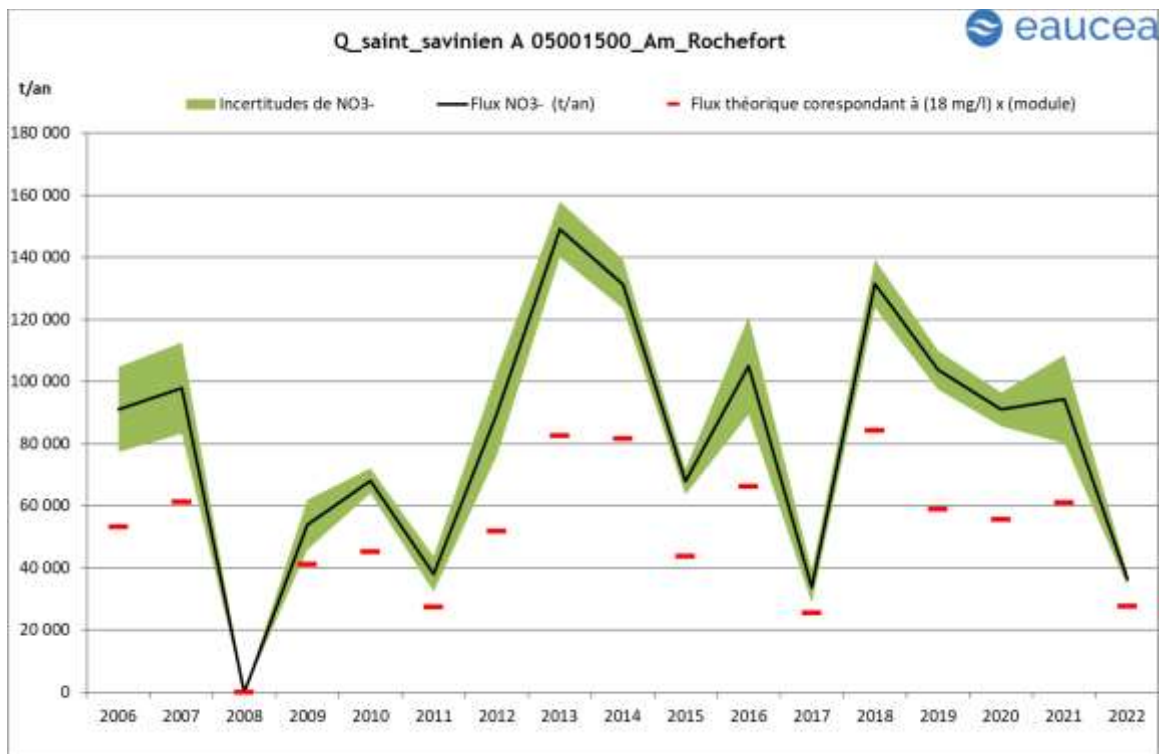


Figure 35 : Evaluation des flux de nitrates transitant par l'estuaire de la Charente

5 Conclusion et recommandations

La définition d'un débit biologique pour l'estuaire de la Charente peut s'appuyer sur des constats, des hypothèses interprétatives et des compromis opérationnels.

Les débits qui garantiraient une certaine pérennité de la sectorisation haline de l'estuaire en étiage et donc le maintien d'une zone oligohaline dans le haut estuaire sont évalués entre 12 et 15 m³/s.

Les débits qui garantiraient le bon état, tel que défini dans la DCE, au niveau du bouchon vaseux sont totalement dépendants de la température des eaux. Aucun moyen simple ne permet à ce jour de limiter le réchauffement engagé de cette masse d'eau estuarienne. Les conséquences sont l'apparition d'un épisode à haut risque pour la biologie à chaque canicule, sur une distance au moins de 10 km d'extension voire plus de 20 km comme en 2022.

Les débits nécessaires pour compenser cet effet thermique (non pas pour refroidir mais plutôt pour renouveler le stock d'oxygène entrant dans l'estuaire) devient rapidement prohibitif en termes de débit fluvial pour une période d'étiage. Les objectifs raisonnables pourraient donc être de :

- Réduire la fréquence et la durée des situations à risque d'hypoxie ;
- Réduire l'extension longitudinale de la zone hypoxique ;
- Favoriser l'échappement pour la faune mobile.

Les estimations réalisées dans le cadre de cette étude devront être confirmées par la mesure et nous recommandons le maintien des deux sondes de Tonny-Charente et de l'Houmée qui encadrent bien la zone à enjeu. Ils deviendraient alors de précieux « points nodaux » pour le SAGE Charente au côté des DOE et des piézométries.

Notons enfin, que la compréhension des mécanismes physico chimiques et hydro-sédimentaires pourra progresser sur le plan scientifique mais il est tout aussi important de collecter des informations plus rudimentaires sur les constats observés sur la faune et la flore sauvage aquatique ou d'élevage (conchyliculture). A défaut de pouvoir être strictement respectés ou définis comme ambitionnent les DOE, les valeurs de salinité et d'oxygène constituent des indicateurs, des éléments de repères qui permettront peut-être de rapprocher des mécanismes estuariens modélisables avec des constats naturalistes.

Critère	De janvier à mai		De juin à octobre	De novembre à Décembre	
O2 3 mg/L Bon état DCE	Sans objet garantis par l'environnement thermique		15 m ³ /s (risque 1 an sur 2) 30 m ³ /s (risque 2/10)	Sans objet garantis par l'environnement thermique	
O2 5 mg/Très bon état DCE et objectif plancher 4 mG/L			30 m ³ /s (risque 1 an sur 2) 45 m ³ /s risque (risque 2/10)		
O2 Migration alosons (6mg/L d'O2)		30 à 10 m ³ /s en mai	50 m ³ /s à 60 m ³ /s (objectif moyens et fréquence médiane)	10 à 30 m ³ /s en septembre	
Continuité hydraulique	Sans objet sauf pour la passe à poissons de St Savinien/complexe de Saint-Savinien (bras mobile). Les circulations d'eau internes à l'estuaire sont très largement pilotées par le jeu des marées				
Salinité	Objectif de maintien d'une zone oligohaline en amont de Tonny-Charente 12 m ³ /s				
Turbidité	Situation actuelle spontanément favorable		60 m ³ /s pour NTU < 500 irréaliste		

Figure 36 tableau de synthèse des critères de fixation des débits biologiques pour l'estuaire de la Charente

Le débit biologique proposé est donc la combinaison de tous ces débits et un certain réalisme hydrologique.

La proposition suivante est fondée sur :

- Le maintien d'une diversité de l'habitat en lien avec la salinité soit 12 m³/s en étiage renforcé par l'obligation d'habitabilité fondé sur l'oxygène soit 30 m³/s en étiage estival pour un risque médian (Rappel : pour le bon état 15 m³/s au minimum pour un risque médian) ;
- Une vigilance est accordée sur les phases de transition (mai et septembre) avec un débit cible de 30 m³/s en fin mai et début septembre ;
- Des valeurs de débit plus élevées le reste de l'année favorisent le bon fonctionnement hydrosédimentaire et offrent des conditions d'habitat non limitantes pour le paramètre oxygène.

6 DMB Saint SAVINIEN

La démarche estuarienne ne bénéficie pas du même recul que les études de débits biologiques fluviaux ce qui a nécessité un important travail de cadrage scientifique. Les principales références sont disponibles dans le rapport de synthèse. Le COTECH du 3 février 2022 a conclu « *Eaucea produira pour fin février – début mars 2022 un document méthodologique spécifique concernant le DMB Saint-Savinien. Ce document sera transmis par le Département à la DDTM17 pour validation (mars – avril 2022). La validation de la méthodologie sur l’ouvrage de Saint - savinien est un préalable à la validation pour le secteur Charente, qui sera réalisée sur la période mai à début juillet 2022 au plus tard.* »

Cette approche méthodologique est issue des travaux bibliographiques et des concertations scientifiques et techniques réalisées dans le cadre du marché public « Etude de définition de débits biologiques et débits objectifs complémentaires pour les bassins Charente – Boutonne – Seudre ». Elle a été transmise pour validation en mars 2022. Les campagnes 2022 et 2023 s’avérant remarquables en termes d’étiage, il a été décidé de les exploiter avant de proposer des éléments plus conclusifs.

D’autre part un travail conséquent expertisant la gestion de l’ouvrage (Eaucea décembre 2023 pour le CD 17) apporte des clés d’analyse intéressantes sur un secteur particulièrement complexe.

Les estuaires sont caractérisés par le rôle déterminant de la marée dynamique dans l’hydraulique (profondeur, courant, largeur mouillée) contrairement aux écosystèmes en rivière. La question de l’intégrité hydraulique des habitats aquatiques liés aux débits qui est souvent centrale pour les écosystèmes rivières, ne peut pas être posée dans les mêmes termes pour les estuaires. D’autre part, le débit fluvial joue un rôle très important dans la structuration qualitative notamment sur le gradient de salinité, la turbidité et la dynamique de l’oxygène. Le rôle du débit fluvial dans sa fonction hydraulique et qualitative s’apprécie donc différemment pour la Charente selon que l’on est plus ou moins proche de l’embouchure.

La définition d’un **débit minimum biologique** à Saint Savinien doit être comprise comme :

- Concernant exclusivement la part de **débit** d’eau douce d’origine fluviale issue de la Charente. Pour Saint-Savinien, situé sur l’amont de l’estuaire, la dimension fluviale est donc plus déterminante et peut être expertisée au travers de modèles hydrauliques ;
- La notion de **minimum**, renvoie clairement l’étiage, phase la plus vulnérable aux questions de partage de l’eau et de modalité de gestion de l’ouvrage (donc hors problématique de crue non visée ici) ;
- La cible **biologique** vise ici les objectifs des débits biologiques fixés par l’OFB vise à garantir en permanence :
 - La vie ;
 - La circulation ;
 - La reproduction des espèces.

DESCRIPTION ET GESTION DE SAINT

SAVINIEN

1 Description de l'aménagement et spécificités de sa gestion

1.1 Les ouvrages



Figure 37 : Vue aérienne des ouvrages hydrauliques de Saint-Savinien (Damien Filloux, MIGADO) (SZCZEPANIAK et al. 2022)

Les ouvrages comprennent :

1. Un barrage fixe implanté en aval du méandre naturel du fleuve, avant la confluence avec le canal ; il permet de maintenir le niveau d'eau dans la traversée du bourg de Saint-Savinien. Il est composé d'un seuil fixe de 51,1 m de long et d'un clapet mobile de 7m de large et d'une capacité d'évacuation de 50 m³/s. Il est aussi équipé d'une passe à poissons à bassins depuis juin 2019, ainsi que d'une passe à anguilles. Le débit transitant dans la passe varie en fonction de la côte de gestion du barrage. Lorsque la côte amont du barrage est de +2,10 m NGF-IGN69 (débit > 50 m³/s), le débit sera de 1,84 m³/s puis lorsque la côte amont est de +2,46 m NGF-IGN69 (débit < 50 m³/s), le débit sera de 2,41 m³/s.
2. Un barrage mobile édifié dans la partie médiane du canal de dérivation composé de 3 vannes segments de 13,35 m de largeur sur 8m de haut chacune ainsi qu'une écluse accolée en rive droite de ce canal. D'après l'étude de danger de mai 2016⁶, le débit de plein bord, toutes vannes fermées, est de 20 m³/s et celui, toutes vannes ouvertes, est de 220 m³/s.

⁶ Cité dans (ARTELIA, 2021)

1.2 La retenue d'eau

Elle peut jouer un rôle hydraulique significatif sur le transit des débits en raison de sa surface ; elle s'étend de Saint-Savinien/Le Mung à Chaniers sur une longueur de 35 km et environ 50 m de large soit environ 1 750 000 m³. Une variation de cote de 1 cm, valeur en limite de capacité des régulations, correspond donc à une variation de volume de 17 500 m³. Réparti sur une heure cela représente l'équivalent d'un débit instantané de 4,9 m³/s environ. Une complexité supplémentaire est induite par la gestion adaptative des clapets et des vannes qui peuvent induire un système d'onde transitoire qui réduit l'intérêt d'une analyse purement volumétrique.

1.3 Le débit réservé règlementaire et le débit minimum biologique : un même objectif

A retenir : Le débit dit « réservé » est une obligation qui s'impose à l'ouvrage et qui vise le maintien à tout instant d'un débit dans le lit du cours d'eau. Dans le cas de Saint Savinien il s'agit de l'ancien lit. Le débit réservé doit donc être desservi au niveau du seuil fixe (passe à poissons et clapet) ce qui est le cas actuellement.

L'estuaire peut être considéré comme un milieu atypique au sens de l'article L214-18 du code de l'environnement : « Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique rendant non pertinente la fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure. » En effet, en période de fermeture du barrage, la régulation par le clapet induit une restitution du débit non constante. Cette situation semble difficilement réductible puisqu'une partie de cette gestion est soumise à la marée et une autre (plus faible) aux usages du plan d'eau voire du grand bassin versant dont les variations sont inconnues du gestionnaire et impose une adaptation permanente des ouvrages de régulation gérée par des automates qui régule la cote. En période d'étiage (débit de l'ordre de 10 à 15 m³/s en moyenne journalière) pour des coefficients supérieurs à 70, le bras naturel est donc soumis à un régime « d'éclusées » très contrasté avec des débits oscillant entre 35 m³/s et 0 m³/s.

1.3.1 Objectifs

« À la croisée des domaines de la gestion de l'eau et du droit de l'eau, le débit réservé est le débit minimal obligatoire d'eau que les propriétaires ou gestionnaires d'un ouvrage hydraulique (lac, plan d'eau, barrage, seuil, unité hydroélectrique...) doivent réserver au cours d'eau pour un fonctionnement des écosystèmes tout au long de l'année (et notamment en période d'étiage) ainsi qu'aux différents usages qui sont faits de la ressource en eau (eau potable, irrigation, hydroélectricité et industries, loisirs...). Le débit réservé vise ainsi à garantir durablement et en permanence la survie, la circulation et la reproduction des espèces aquatiques ou dépendantes de l'eau. On parle aussi parfois de « débit minimum biologique ». Source Wikipédia.

La définition proposée ci-dessus reprend l'essence même de cette obligation administrative issue de la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique. Le débit réservé, (au sens de « réservé à d'autres fonctions que la production d'énergie comme la salubrité, l'irrigation, etc.. ») est le débit minimal à conserver dans le lit naturel de la rivière entre la prise d'eau et la restitution des eaux en aval

d'une centrale hydroélectrique. Depuis la loi pêche de 1984 différents textes ont précisé le coté normatif de cette obligation ainsi que ses objectifs environnementaux dont le débit minimum biologique.

Le cadre réglementaire à retenir est l'article L214-18 du code de l'Environnement (cf annexe) qui caractérise les obligations de moyens et les limites attachées à ce débit minimum.

1.3.2 Arrêté préfectoral 2015

ARTICLE 2.2 – PRESCRIPTIONS RELATIVES AU DEBIT RESERVE

Le débit à maintenir dans le cours d'eau immédiatement en aval des installations (débit réservé) ne devra pas être inférieur à 8 m³/s ou au débit naturel du cours d'eau en amont du complexe si celui-ci est inférieur.

Le débit amont est mesuré en additionnant le débit de la Charente mesuré sur la commune de Chaniers à Beillant, le débit de la Seugne mesuré sur la commune de Saint-Seurin de Palenne à la Lijardière et en soustrayant les principaux prélèvements permis par le barrage (prise d'eau de l'UNIMA et prise d'eau de Coulonges). Le pétitionnaire met en œuvre les moyens de mesure nécessaires à l'évaluation des débits à l'aval des ouvrages en période d'étiage (débits restitués par le clapet, les passes à poisson, ...) afin de

Permettre le contrôle de ses obligations.

.....

Notons que l'expression « débit naturel du cours d'eau en amont du complexe » dans le règlement d'eau est ici inappropriée et devrait être remplacée par « débit du cours d'eau en amont de l'ouvrage » qui répond à la définition technique proposée dans la suite du texte (amont mesuré moins prélèvements dans le plan d'eau).

1.3.3 Contexte hydrologique

1.3.3.1 Un module de la Charente en limite de deux valeurs plancher réglementaire

Dans l'étude d'impact de mai 2013 visant à renouveler l'autorisation de l'ouvrage, le calcul du module mesuré abouti à une valeur reconstituée à partir des éléments disponibles : stations hydrométriques en amont, évaluation des prélèvements dans le plan d'eau de Saint Savinien dont le canal de l'UNIMA et l'usine de Coulonge-sur-Charente (créée en 1974).

« Le module de la Charente au droit du barrage de Saint Savinien est quant à lui estimé à 77m³/s (module évalué sur 30 ans). »

Sur la période plus récente, une chronique de débit entrant dans le plan d'eau fiabilisée par les mesures à Beillant depuis 2005 soit un peu plus de 18 ans, donne une valeur de 79,3 m³/s pour une période considérée comme plutôt sèche. Si l'on rajoute les débits consommés en amont de Beillant et de la Lijardières, nous obtenons un débit naturel supérieur à 80 m³/s avec une conséquence réglementaire « Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau » article L214-18 CE en l'occurrence, environ 4 m³/s.

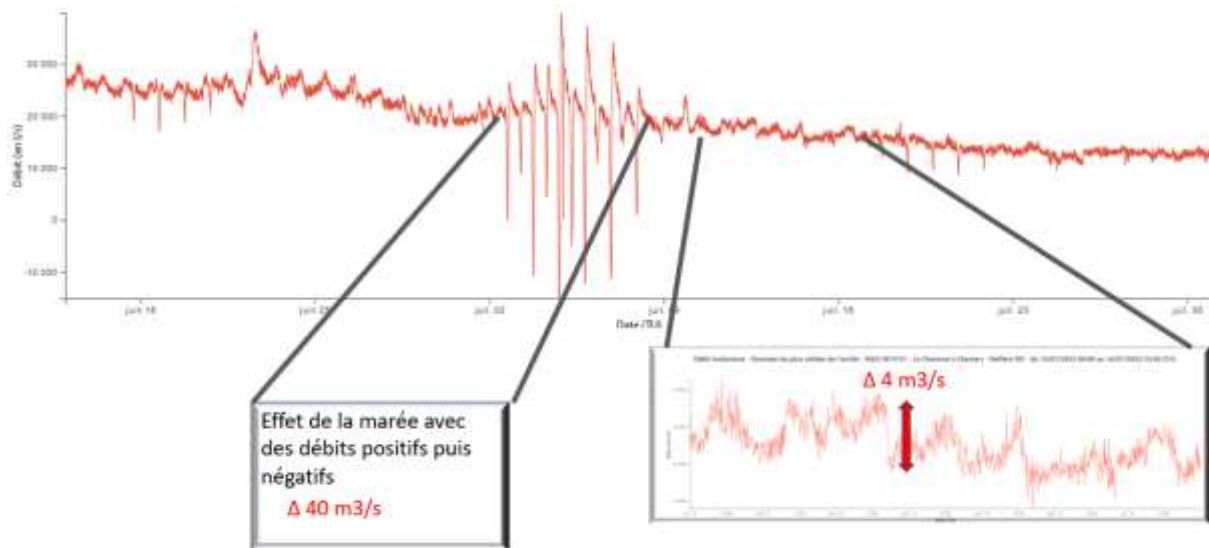
Le débit réservé fixé à 8 m³/s par l'arrêté préfectoral d'autorisation de l'ouvrage n°2015/2472 répond donc largement à cette première obligation.



1.3.3.2 En amont, des débits instantanés fluctuants qui compliquent le suivi de l'obligation

Le débit réservé est dû à chaque instant dès lors que le débit en amont du barrage est supérieur ou égal à cette valeur règlementaire, sinon c'est le débit amont qui doit être restitué. En gros, le plan d'eau ne doit pas pallier à une insuffisance des débits issus de l'amont.

Notons que compte tenu des difficultés de mesurer en routine un débit en système estuarien, il faut se tourner vers les apports en amont du plan d'eau à savoir la Charente et la Seugne. Nous observons que pour la Charente amont, les débits instantanés peuvent être très fluctuants comme l'illustrent les enregistrements d'Hydroportail à Beillant en juillet 2023.



Deux types de mécanismes sont observés :

1. L'influence hydraulique de l'onde de marée en période de fort coefficient qui impose la transparence hydraulique du barrage de Saint Savinien et remonte au moins en étiage jusqu'à la station de mesures de Beillant ;
2. Des variations mal expliquées d'environ $4 \text{ m}^3/\text{s}$ pouvant provenir soit de la régulation aval (enjeu de rétroaction possible et le plus probable), soit d'incidence de l'amont non identifiées.

En théorie, le suivi de la cote du plan d'eau amont pourrait servir de système de contrôle du respect du débit réservé. En effet, un plan d'eau à niveau constant implique donc au droit de l'ouvrage un bilan entrée - sortie nul à chaque instant. Si les débits varient en permanence en amont cela impose un ajustement permanent et synchrone des organes de régulation (vannes et clapet).

Pour Saint Savinien, la principale difficulté vient du fait que parfois les débits entrants dans le plan d'eau viennent de l'aval avec l'onde de marée et font osciller la cote du plan d'eau. Ce mécanisme caractéristique de la transparence hydraulique de l'ouvrage s'observe à marée haute pour les coefficients supérieurs à 70. Cette transparence temporaire est assurée par les vannes au barrage.

En période de fermeture de ces vannes et de débit d'étiage, tout le débit entrant (réduit des prélèvements des usages) est restitué au niveau du clapet et par la passe à poissons.

En résumé, les débits fluctuants de la Charente et de la Seugne, de la passe à poissons, des usages en amont (irrigation, AEP, UNIMA) dont les variations sont inconnues du gestionnaire imposent une adaptation permanente des ouvrages de régulation gérée par des automates qui régulent la cote.

1.4 Spécificité de la gestion en fonction du contexte hydraulique

A retenir : La gestion des différents organes de restitution de l'eau de l'aménagement est complexe car elle combine des critères hydrologiques (débit fluvial visé par cette étude) et des critères de marnage liés à la marée. Ce chapitre décompose le signal hydrologique en aval en s'appuyant sur l'important dispositif de métrologie installé par le CD17.

En période de fermeture du barrage, principale phase concernée par la question du débit minimum biologique, la régulation par le clapet et la passe à poissons induit une restitution du débit non constante. Cette situation semble difficilement réductible puisqu'une grande partie de cette gestion est soumise à la marée et une autre (plus faible) aux usages du plan d'eau voire du grand bassin versant.

En particulier, en période d'étiage (débit de l'ordre de 10 à 15 m³/s en moyenne journalière) et pour des coefficients généralement supérieurs à 70⁷, le bras naturel est soumis à un régime d'éclusées très contrasté avec des débits oscillant entre 35 m³/s et 0 m³/s (tout le débit passe par le bras artificiel).

1.4.1 Principes simplifiés de gestion des organes de régulation

Pour décrire la gestion, le schéma descriptif simplifié proposé dans le rapport de suivi de la passe à poissons effectué par la Cellule Migrateurs Charente-Seudre (SZCZEPANIAK et al. 2022) est commode et reprend les prescriptions réglementaires. Leurs mises en œuvre opérationnelles et leurs conséquences écologiques sont développées dans les chapitres suivants. Elles seront déterminantes pour encadrer les enjeux du débit biologique à Saint Savinien.

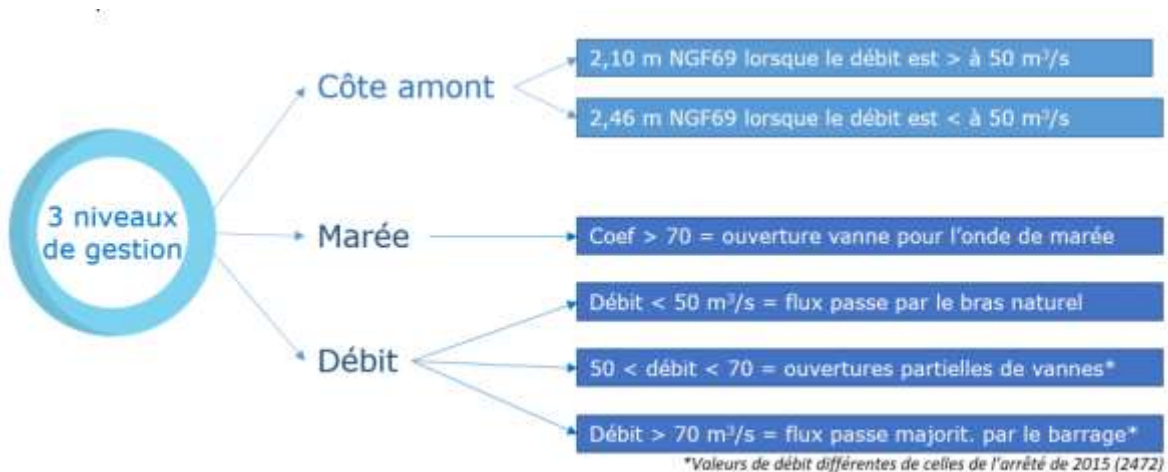


Figure 38 : Les niveaux de gestion pour réguler le niveau d'eau à Saint-Savinien

⁷ C'est une simplification. L'ouverture du barrage de Saint-Savinien n'est pas régie par le coefficient de marée mais par la cote marine à La Rochelle Pallice. En fonction de la période de l'année si la cote marine 30 min avant Pleine Mer atteint 5.5, 5.6, ou 5.7 alors le mode automarée est activé. La vanne s'ouvre alors lorsque la poire à l'aval de Saint-sav atteint un seuil.

1.4.2 Evaluation des variations des débits restitués pendant un cycle de gestion d'étiage coefficients faible à moyen (< 70) (mi-juillet 2023)

Le mois de juillet 2023, illustre bien la gestion habituelle en étiage (débit entre 25 m³/s et 16 m³/s à Beillant) de l'ouvrage et des coefficients au maximal de 93 (5 et 6 juillet) et minimal de 42 (le 27 28 juillet) à La Rochelle Palice.

La séquence du 12 au 16 juillet illustre les modalités de gestion au niveau du clapet seul puisque les coefficients de marée entre 50 et 62 n'impliquent pas de manœuvre d'ouverture au niveau du barrage. Notons que le débit en aval est plus faible qu'à Beillant en raison des prélèvements effectués au sein du plan d'eau (Canal de l'UNIMA, prélèvements agricoles, usines d'eau potable de Coulonges).



En période hors influence de la marée, la régulation des seuls débits amont est donc effectuée par les variations d'ouverture du clapet, mais avec une précision qui est limitée par la précision de la métrologie des niveaux et l'inertie du plan d'eau comme l'illustre l'enregistrement ci-dessous.

Impact sur le niveau du plan d'eau: exemple sur 4 cycles de marée en juillet 2023



Figure 39 Séquençage des conséquences de la gestion hydraulique sur le niveau du plan d'eau amont

Le débit résultant de ces manœuvres du clapet est donc variable à l'instar d'une écluse. Le calcul réalisé à partir de la charge sur le clapet permet d'évaluer ce débit (source SIDEV Environnement 2.0). L'illustration ci-dessous montre une variation de débit de l'ordre de 3 à 4 m³/s en situation de régulation du plan d'eau (du 12 au 14 juillet) puis des variations beaucoup plus fortes lorsque le clapet doit être complètement fermé (du 14 au 16 juillet). La variation instantanée va de 5 m³/s à 35 m³/s. La pointe de débit intervient au début du reflux.

Variation de débit en aval : cible du débit minimum biologique

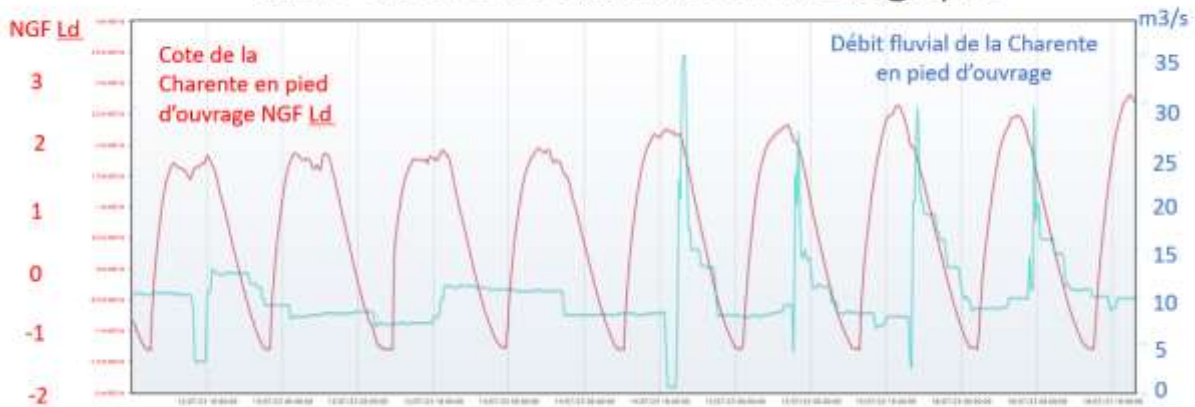
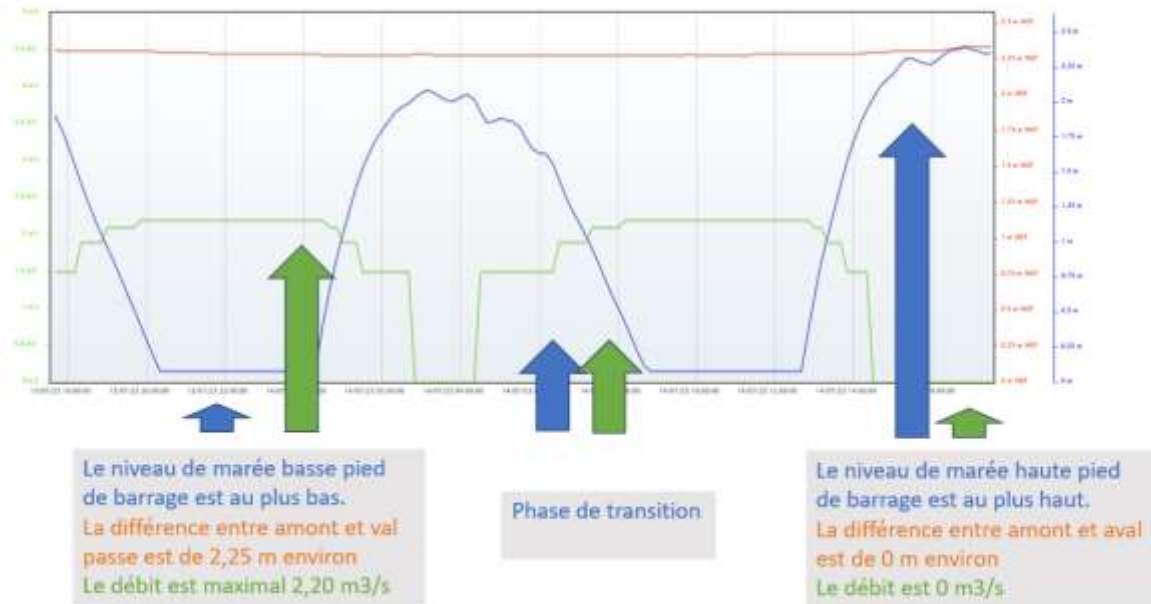


Figure 40 Reconstitution du débit fluvial en pied d'ouvrage

La gestion doit aussi accompagner la variation de débit d'alimentation de la passe à poissons. Cela n'est pas intuitif mais il faut savoir que le débit de ce type de passe est fortement influencé par la différence de niveau amont /aval. Quand les niveaux sont égaux, il n'y a plus d'écoulement ; temporairement la passe ne joue pas de rôle pour le franchissement. Quand les niveaux sont décalés d'environ 2,2 m, la passe fonctionne en débit nominal soit 2,2 m³/s. Entre les deux situations, les débits évoluent progressivement.

Interaction avec la passe à poissons



En période de fermeture du barrage, la régulation par le clapet induit donc **une restitution du débit non constante**. Cette situation semble difficilement réductible puisque'une partie de cette gestion est soumise à la marée et une autre (plus faible) aux usages du plan d'eau voire du grand bassin versant.

1.4.3 Evaluation des variations des débits restitués pendant un cycle de gestion d'étiage forts coefficients > 70

En période de coefficient supérieur à 70, le barrage doit s'ouvrir pour laisser circuler la pointe de l'onde de marée. Les courants naturels de l'aval vers l'amont puis de l'amont vers l'aval imposent une variation de cote au plan d'eau amont à la hausse puis à la baisse. Avant la fermeture complète, la régulation réserve un temps de vidange pour dévaser l'amont des vannes.

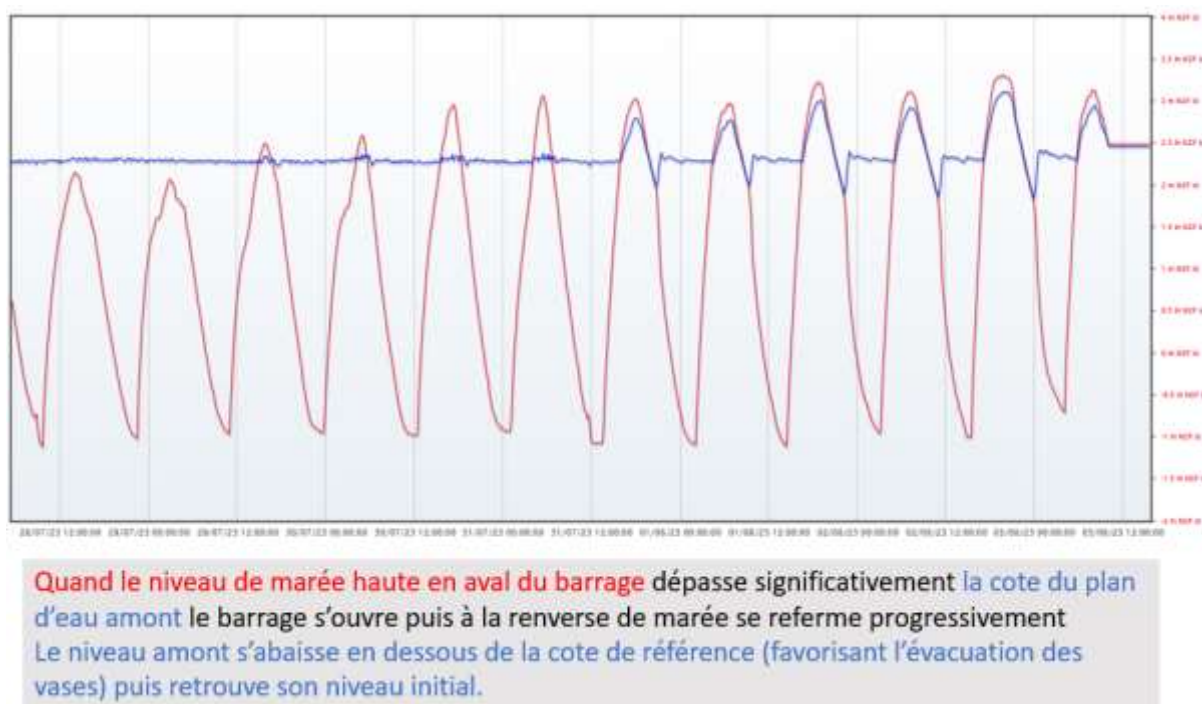


Figure 41 : Suivi concomitant des cotes des plans d'eau amont et aval

Pendant cette phase, qui dure entre 3 et 5 heures, l'obligation de débit réservé ou de débit minimum biologique devient d'ailleurs inadaptée puisque le barrage peut être considéré comme transparent à la continuité hydraulique. Les débits caractéristiques qui transitent à travers l'ouvrage ne peuvent être appréhendés que par la modélisation.

La phase la plus critique est celle qui correspond à la phase de descente du plan d'eau amont précède ou les vannes se refermant, le plan d'eau reconstitue son stock. Tout le débit fluvial vers l'estuaire est alors délivré par le bras naturel qui prend le relais (passe à poissons et déversement sur le clapet), comme en période de coefficient faible.

Le graphe ci-dessous illustre l'évolution des débits restitués au niveau du bras naturel. Le calcul additionne à chaque pas de temps les débits issus de la lame déversant sur le clapet et celui de la passe à poissons. Des incertitudes sont à souligner en période transitoire et avec des conditions hydrauliques plus ou moins ennoyées.

En période d'étiage (débit de l'ordre de 10 à 15 m³/s en moyenne journalière) pour des coefficients supérieurs à 70, le bras naturel est soumis à un régime d'éclusées très contrasté avec des débits oscillant entre 35 m³/s et 0 m³/s.

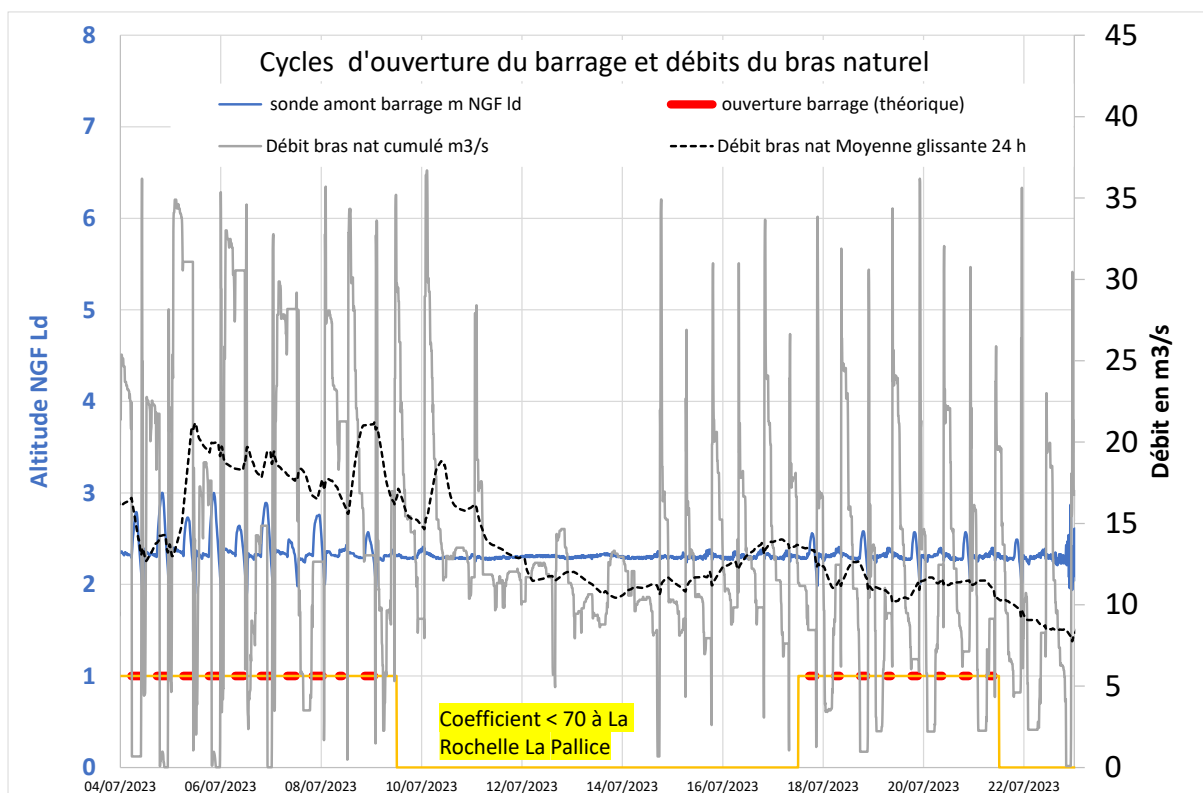


Figure 42 Graphe de synthèse présentant les principaux paramètres de la gestion. Source données SIDEV

Le rapprochement entre ce débit amont instantané et le niveau en pied de barrage constitue le cadre d'analyse du fonctionnement hydraulique qui s'impose pour évaluer les incidences sur le fonctionnement écologique de ce secteur spécifique.

2 Deux critères pour la définition du débit minimum biologique à Saint Savinien : l'hydraulique et la qualité des eaux

Les 2 critères essentiels pour la définition du débit minimum biologique sur le secteur de Saint Savinien sont la continuité écologique sur les deux bras qui interroge l'hydraulique estuarienne, le fonctionnement des organes de gestion et la qualité des eaux restituées.

2.1 Enjeu hydraulique du DMB sur la continuité piscicole en étiage

Certains besoins en débit peuvent être fixés sur la base d'une expertise hydraulique. C'est le cas de la continuité écologique. Ainsi, il est possible d'évaluer le débit minimal à maintenir au droit de l'ouvrage de Saint Savinien pour garantir la continuité des écoulements et le fonctionnement de passes à poissons compatibles avec l'échappement des poissons.

2.1.1 La situation hors étiage

Rappelons qu'en crue et en période de fort coefficient de marée, la circulation piscicole peut être facilitée par l'effacement hydraulique des ouvrages (cf. photographies) et l'ouverture des clapets avec des vitesses largement compatibles avec la nage des poissons. La durée de ces périodes est cependant limitée dans le temps et ne correspond pas aux enjeux de continuité écologiques qui doit être la plus longue possible dans le cycle annuel.

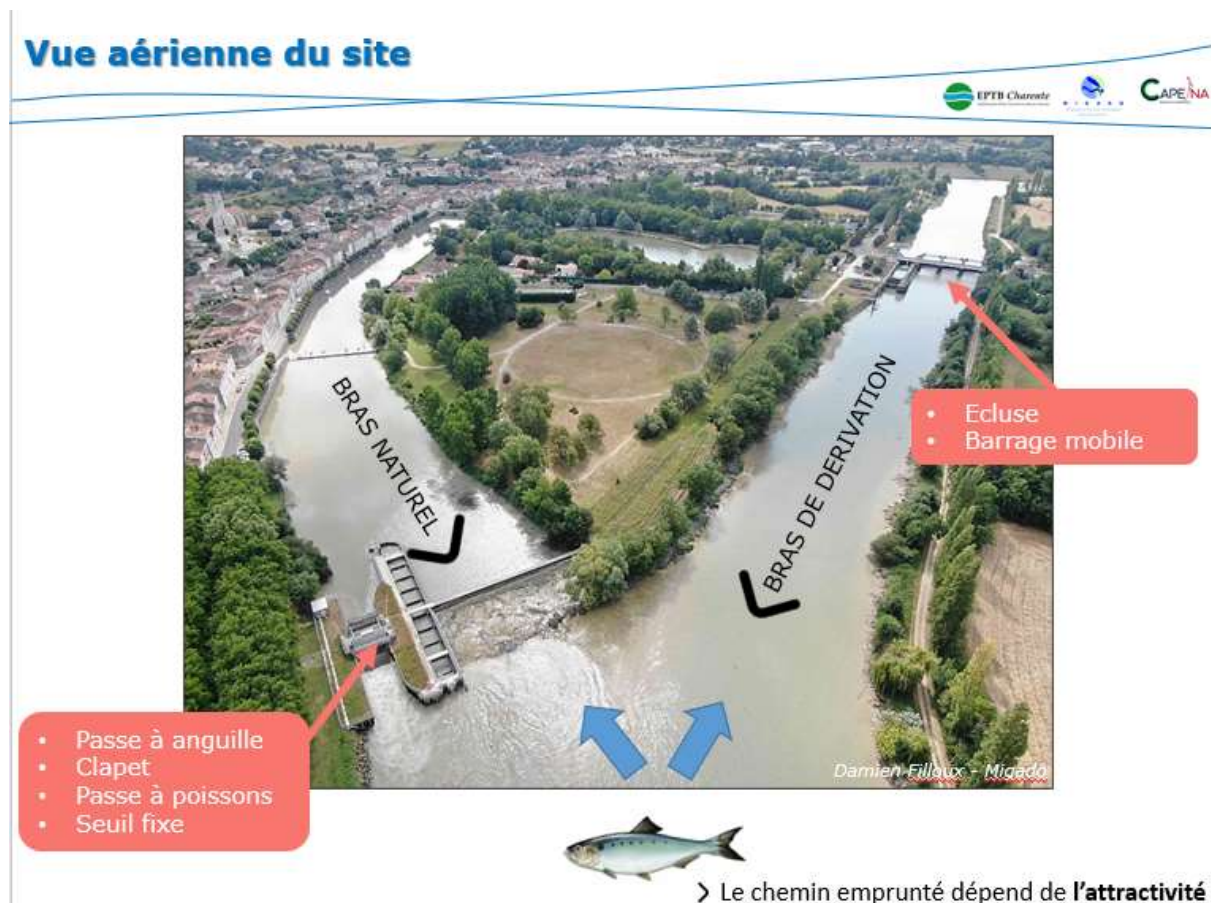


Figure 43 : Clapet totalement submergé et vannes ouvertes le 23 novembre 2023 à 15h49, photo Eauceá. Le panache de turbidité illustre la complexité de l'analyse du mélange des eaux issus des deux bras.

2.1.2 Retour d'expérience du piégeage scientifique dans la passe à poissons

A retenir : Le suivi piscicole de la passe à poissons apporte des informations précieuses mais limitées dans le temps puisque l'examen des pièges est conditionné à leur accessibilité. Des questions demeurent sur la compatibilité hydraulique de la gestion de l'ouvrage avec l'ambition d'une transparence piscicole permanente notamment à la montaison et sur les deux bras.

Les espèces migratrices sont sensibles aux conditions hydrauliques qui prévalent au niveau des obstacles. En période d'étiage et quand le barrage est fermé, la passe à poissons constitue le seul point de passage possible pour les poissons en montaison. Le suivi de la passe multi-spécifique de Saint-Savinien-sur-Charente est réalisé par la Cellule Migrateurs charente Seudre (partenariat de l'EPTB Charente, l'Association MIGADO, et CAPENA) pour le compte du CD 17 et aidé par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, notamment au travers d'un dispositif de piégeage. Un rapport de 2021⁸ et une réunion de restitution de 2022, permettent de mieux appréhender les phases opérationnelles et soulèvent aussi des questions hydrauliques.



⁸ SZCZEPANIAK R., POSTIC-PUIVIF A., ALBERT F., BUARD E., COLLEU MA. Janvier 2022. Le suivi de la passe multispécifique du complexe hydraulique de St-Savinien-sur-Charente. Campagne de piégeages 2021 - Rapport final – 61 pp

La capture des aloses s’observe lorsque les coefficients sont faibles et les débits inférieurs à 50 m³/s, puisque la passe à poissons est le seul passage disponible lorsque le barrage est fermé sur le bras de dérivation. Dans ces phases, seul le bras naturel est alimenté mais le débit d’attrait (PAP + clapet) est fortement corrélé au cycle de marée.

- Pour les coefficients inférieurs à 54, le débit est relativement constant sauf pour la passe à poissons, dont le débit dépend du niveau aval et donc de la phase de la marée.
- Pour les coefficients entre 54 et 70, le début de jusant combine pendant environ 1 heure, un pic de débit d’attrait plus une condition de débitance optimale pour la passe à poissons.

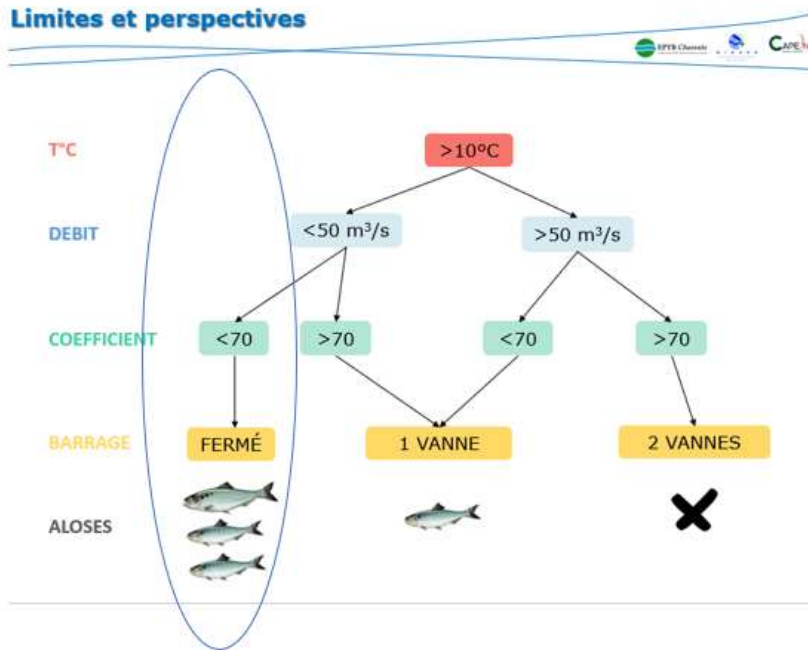


Figure 44 : Diagramme des situations hydrauliques et du succès du piégeage des aloses. Source étude de suivi de la passe à poissons Rapport technique 2021 - CMCS

En période d’étiage nécessitant l’ouverture régulière d’une vanne du barrage deux effets peuvent se composer :

- Une répartition des passages de poissons entre la passe et la vanne, sachant que les périodes de franchissement possible par l’une ou l’autre voie se succèdent dans le temps.

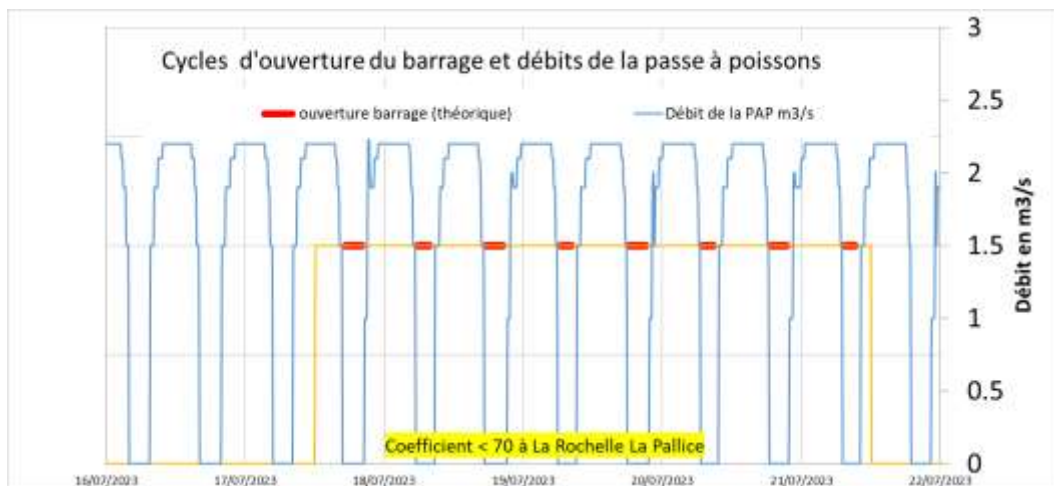


Figure 45 Evaluation du débit de la passe à poissons (PAP) ; Source données SIDEV CD 17

- Une attractivité relative plus forte du bras artificiel sur la période d'ouverture mais un blocage possible des poissons en raison de conditions hydrauliques incompatibles au franchissement de la vanne. Ce dernier point est le plus complexe à analyser et nécessite une étude hydraulique fine intégrant l'ouvrage et son plan d'eau dans la modélisation. Elle n'est pas prévue dans le cadre de cette étude car elle ne dépend pas a priori du débit minimum fluvial.
- L'analyse du suivi interannuel de la passe à anguilles par la FDAAPPMA17 démontre le fonctionnement de celle-ci pour des débits allant jusqu'à 50 m³/s et hors fonctionnement du barrage lors des épisodes de marée.
-

2.1.3 *Modélisation hydraulique de l'habitat aquatique en étiage à la sortie de l'aménagement pour l'habitat aquatique*

A retenir : La modélisation hydraulique à la sortie de l'aménagement montre que le débit réservé à Saint Savinien permet de tester des situations extrêmes telles que le fonctionnement hydraulique de la Charente avec l'ouvrage en l'absence théorique de débit fluvial (0 m³/s). Nous observons que le débit restitué à l'ouvrage ne joue pas un rôle déterminant dans l'habitat piscicole en aval immédiat des confluences entre les deux bras, ni sur le plan du risque d'assec, ni même dans les champs de vitesses. Ces derniers sont cependant et très logiquement plus élevées sans débit au flux (sens montant) et inversement au reflux (sens descendant).

Une modélisation hydraulique 2D transitoire permet de tester la part du débit fluvial et du flux estuarien sur la section immédiatement en aval de l'aménagement ainsi que les conditions d'écoulement hauteur et vitesse dans le lit du cours d'eau. La modélisation est fondée sur les conditions réelles du début de l'été 2023 pour un cycle de gestion d'étiage coefficients faibles à moyens (< 70) (du 12 au 16 juillet 2023). L'analyse se concentre sur les conditions hydrauliques en aval immédiat de la confluence des deux bras pour un cycle de débit. L'objectif est de simuler les conditions sans et avec débit fluvial (débit de la passe à poissons et débit déversant sur le clapet) pour évaluer cette incidence. Bien évidemment la situation sans débit fluvial (0 m³/s) est théorique. La situation avec débit est issue des données expérimentales.

L'objectif de la modélisation est d'analyser les différences en termes de débits, de profondeur et de champs de vitesses entre les 2 situations. Plusieurs moment clés du cycle de marée sont particulièrement mis en exergue :

- Etale de marée basse
- Début de flot (flux)
- Etale de marée haute
- Début de jusant (reflux)

Les coefficients de marée sont représentés par les cotes issues du marégraphe de La Rochelle – La Pallice et les débits issus des enregistrements des sondes du barrage. Les résultats (graphes et cartographie des champs de vitesse) sont présentés en annexe.

Nous retiendrons de cette analyse que :

1 même en l'absence de débit fluvial le lit de la Charente resterait en eau mais avec des vitesses nulles à l'étales de marée basse alors que des vitesses orientées de l'amont vers l'aval reste significative avec un débit fluvial. Au début du flux, les vitesses les plus importantes sont sur les deux berges du fleuve.

2 dans ces scénarios d'étiages, les champs de vitesses modélisés sont largement compatibles avec la faculté de nage des poissons, selon les références du guide ICE publié par l'ONEMA.

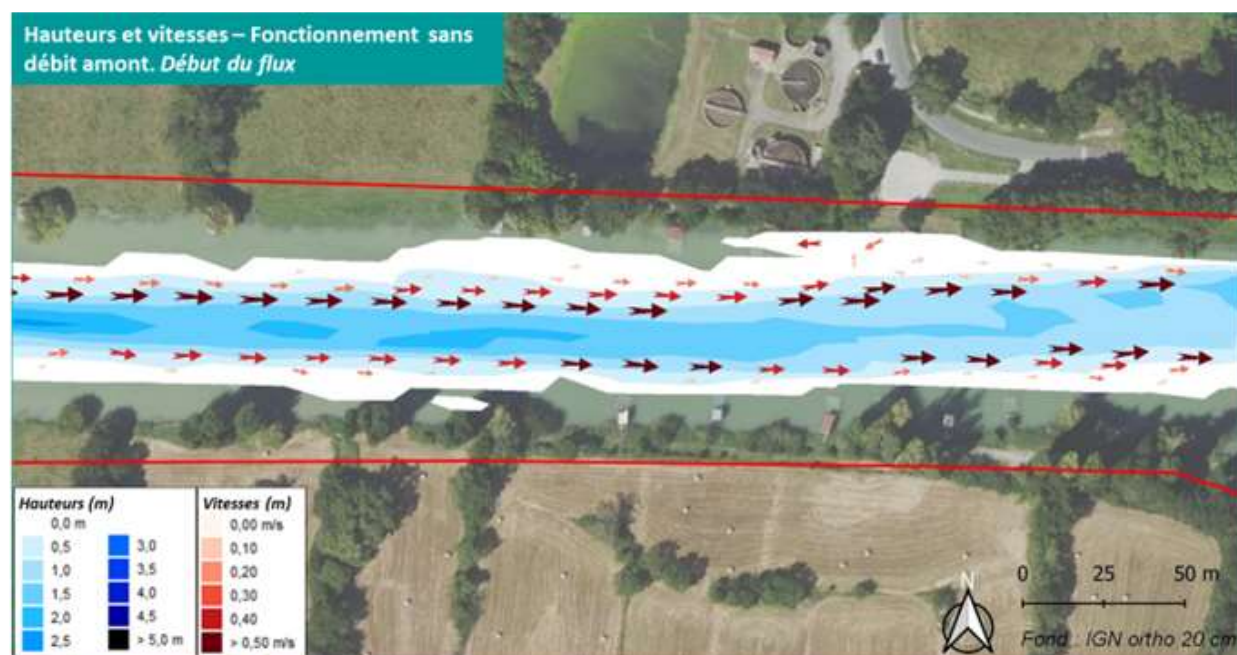


Figure 46 Illustration des champs de vitesse dans le lit de la Charente en aval immédiat de l'aménagement sous le seul effet des marées



4 Tableau récapitulatif des groupes d'espèces ICE et des capacités de nage et de saut correspondantes.

Groupe ICE	Espèces	Espèces sauteuses	V, Sprint Umax associé (m/s)			Hauteur de saut associé (m)		
			Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
1	Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	Oui	4,5	5,5	6,5	1	1,5	2,5
	Truite de mer ou de rivière [50-100] (<i>Salmo trutta</i>)							
2	Mulets (<i>Chelon labrosus</i> , <i>Liza ramada</i>)	Oui	4	4,75	5,5	0,8	1,1	1,8
3a	Grande alose (<i>Alosa alosa</i>)	Non	3,5	4,25	6	-	-	-
3b	Alose feinte (<i>Alosa fallax fallax</i>)							
3c	Lamproie marine (<i>Petromyzon marinus</i>)							
4a	Truite de rivière ou truite de mer [25-55] (<i>Salmo trutta</i>)	Oui	3	4	6	0,5	0,9	1,4
4b	Truite de rivière [15-30] (<i>Salmo trutta</i>)		2,5	3	3,5	0,3	0,5	0,8

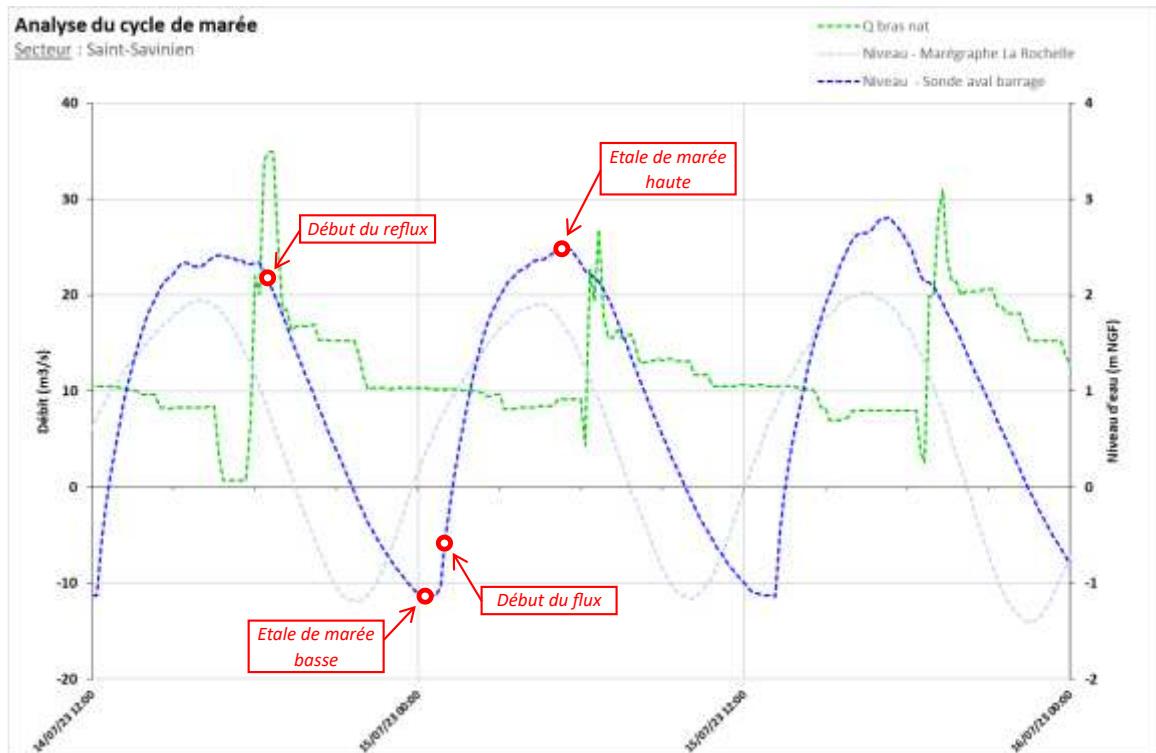


Figure 47 : Présentation des conditions expérimentales du 15 juillet 2023. Source de données SIDEV CD17. A noter des fluctuations rapides des débit instantanés (Q Bras nat) liées à la gestion (encadré rouge)

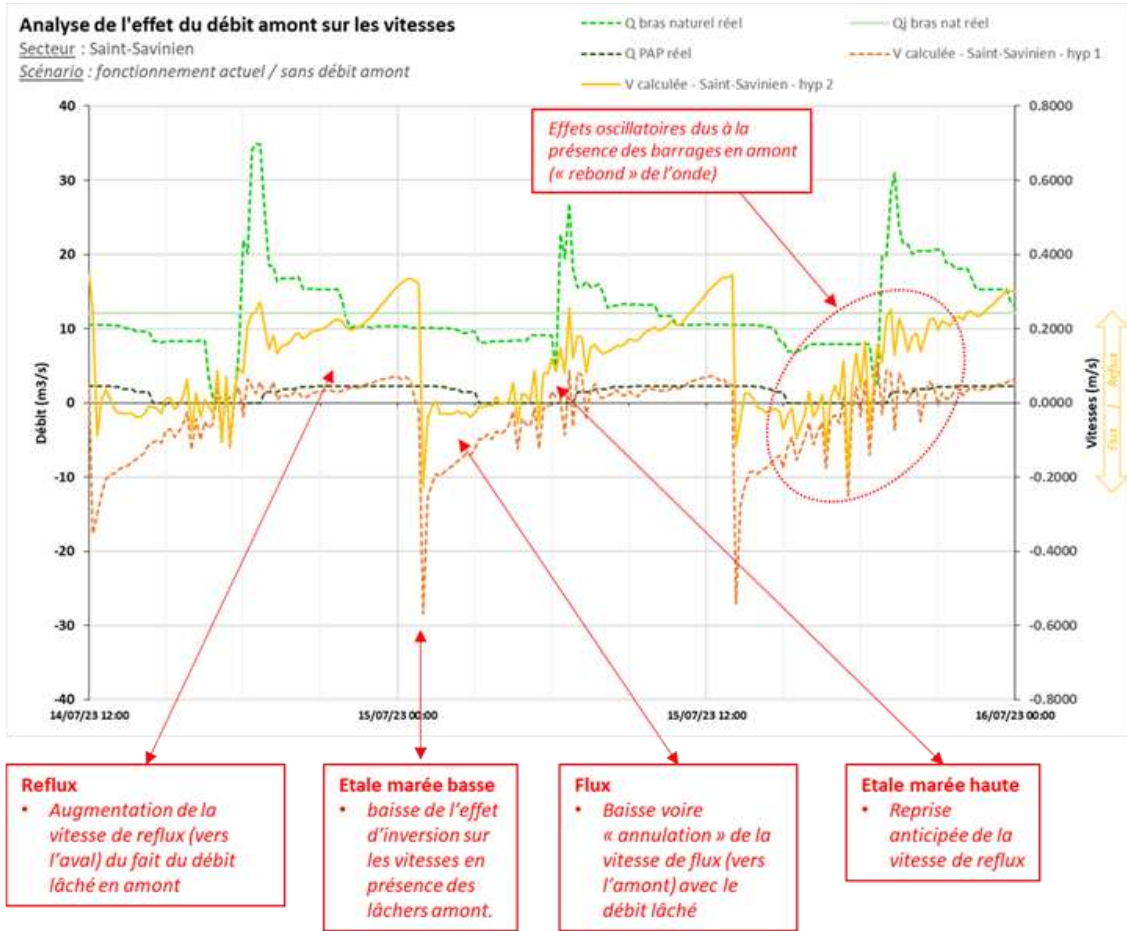


Figure 48 : Analyse comparative des vitesses maximales (au centre du lit) avec (Hyp2 -conditions expérimentales du 15 juillet 2023) et sans débit (Hyp1)

2.2 Enjeu qualité des eaux du DMB à Saint Savinien

Cette analyse s'appuie largement sur le rapport d'évaluation de Saint Savinien qui a pu exploiter beaucoup d'informations de métrologie concernant l'environnement amont et aval de l'ouvrage ainsi que les travaux de l'université de la Rochelle (Brenon 2021). Seules les informations liées à l'étiage et à proximité de l'ouvrage de saint Savinien sont valorisées ici.

En 2022, plusieurs sondes étaient disponibles, en partant de l'aval vers l'amont :

- La sonde de l'EPTB Charente située à Tonnay-Charente, gérée par le réseau MAGEST ;
- La sonde située à l'Houmée sur la commune des Bords, gérée par le département de Charente-Maritime. Elle est caractéristique du fonctionnement de l'estuaire oligohalin, avec une forte emprise des débits fluviaux ;
- La sonde située à Saint-Savinien, en amont du barrage, gérée par le département de Charente-Maritime. Cette sonde est donc caractéristique de la qualité des eaux restituées à l'aval ;
- La sonde située à la prise d'eau de l'usine de Coulonge qui ne présente pas d'intérêt direct pour la présente étude (hors périmètre) mais peut renforcer la compréhension du fonctionnement du plan d'eau.

2.2.1 Turbidité

L'analyse de l'évolution des caractéristiques environnementales (salinité et turbidité) du fleuve Charente en lien avec la gestion du barrage de Saint-Savinien. dans l'estuaire de la Charente est réalisée chaque année par l'Université de la Rochelle (Brenon 2021).

Les données de turbidité et de salinité de l'année 2022 montrent que la turbidité franchi le barrage en période d'ouverture des vannes. Ce mécanisme est naturel mais ne peut pas être strictement considéré comme un bouchon vaseux puisque les données de salinité ne coïncident pas avec cette pointe de turbidité. Le suivi réalisé par Isabelle Brenon avance l'hypothèse que les turbidités à l'amont proviennent d'une remise en suspension par la marée des sédiments déposés sur les berges et au fond du lit de la Charente à l'amont immédiat du barrage.

Vis-à-vis des enjeux amont, il n'y aurait donc pas de remontée du bouchon vaseux au niveau de Coulonge (prise d'eau potable), même durant les périodes de grandes marées, qui légitimerait une gestion par les débits en étiage.

La seule interaction envisageable ne concerne pas directement le débit minimum biologique en aval mais les conditions de remontée de la cote du plan d'eau après les chasses d'hydrocurage sur certains cycles. De ce point de vue, un effet indirect du débit d'étiage sur l'écosystème est possible via l'envasement du plan d'eau. Peut-être les pics de turbidité lié à la reprise sédimentaire par l'érosion hydraulique pourraient avoir des effets sur le comportement des poissons.

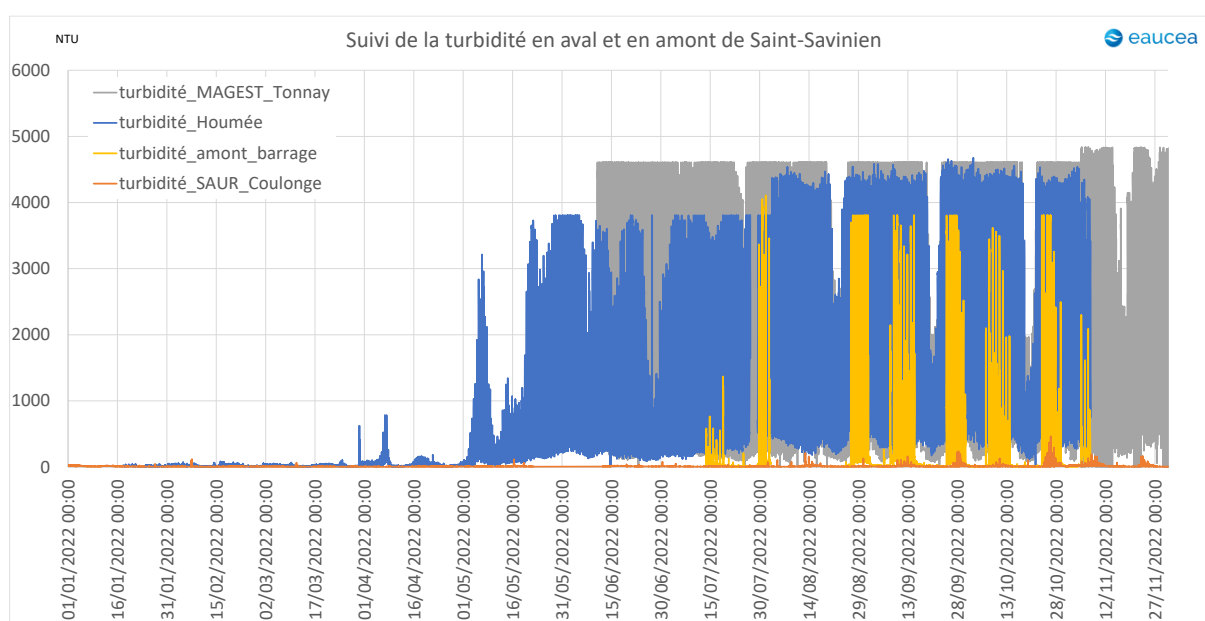


Figure 49 La turbidité aux différentes stations de la Charente et de l'usine de Coulonge. Etiage 2022

2.2.2 Salinité

Ce paramètre est celui qui apparaît le plus critique pour les usages humains (eau potable et élevage) dans la partie amont de l'estuaire. La salinité est favorisée par les faibles débits et les forts coefficients de marée (hauteur d'eau à LR).

Sur le plan écologique c'est aussi un paramètre structurant notamment vis-à-vis du bouchon vaseux et de la distribution des espèces. De Saint Savinien à l'Houmée au moins, l'estuaire est considéré comme en eau douce (< 0.5 pour mille) pour un débit minimum (Beillant + Lijardières) de l'ordre de 15 m³/s ; Entre

15 m³/s et 8,9 m³/s, les remontées salines ne dépassent jamais les 5 g/L à l'Houmée et en pointe (pas de temps 10 minutes), limite du domaine oligohalin.

A Saint Savinien, les concentrations sont inférieures à 0,5g/L. Aucune variation significative de la salinité n'est observée pour la sonde en amont du barrage même quand pour la sonde aval de l'Houmée, les valeurs maximales augmentent nettement quand le débit est inférieur à 11 m³/s à Saint Savinien, mais cette situation est aussi souvent concomitante avec les hauteurs maximales les plus importantes observées à La Rochelle. Cette analyse pourra être renforcée en la reprenant sur plusieurs années consécutives quand suffisamment de données auront été collectées. Notons que dans ce domaine des faibles concentrations, les capteurs de conductivité peuvent mesurer d'autres formes ioniques sans lien avec le flux des marées. Selon l'exploitant de Coulonges (sources Rapport d'évaluation Saint Savinien), l'exploitant n'a jamais rencontré de problème de salinité.

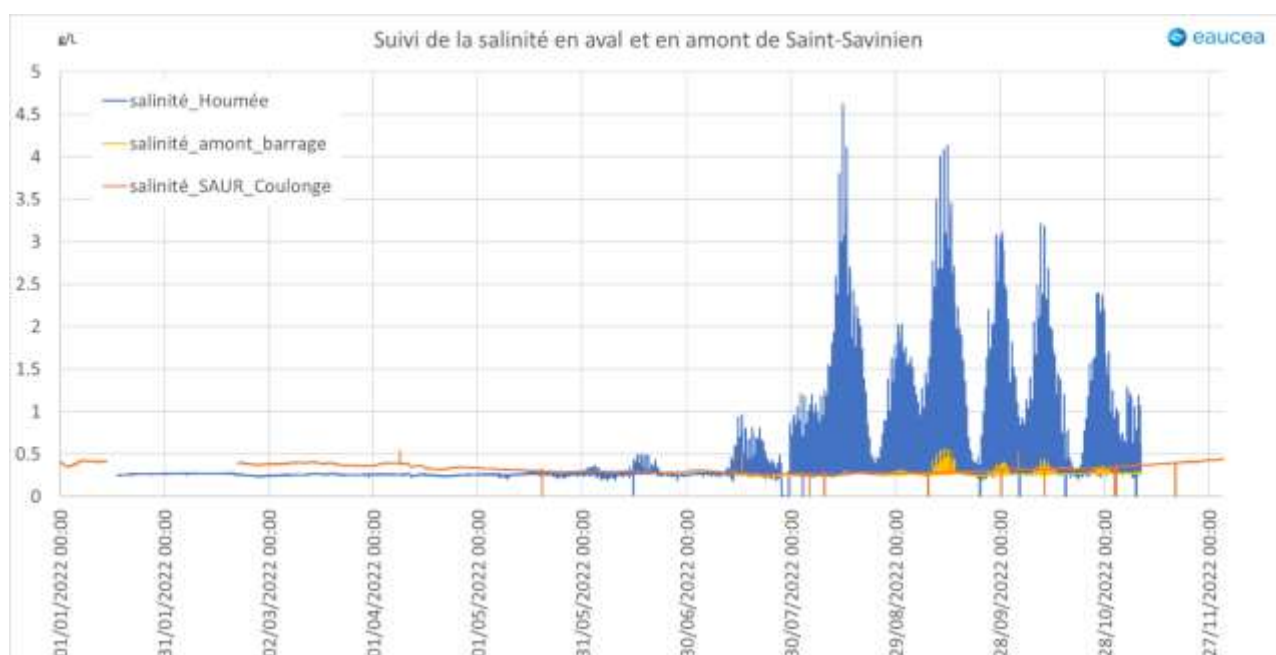


Figure 50 Graphe Salinité, Etiage 2022 l'estuaire amont de la Charente

2.2.3 Oxygène dissous

Le Projet de Plagepomi GDCSL 2022-2027, rappelle l'hypothèse forte d'une incidence migratoire possible des faibles taux d'oxygène, évoquant « une véritable barrière chimique pour les alosons voire occasionner des mortalités ».

Vis-à-vis de l'objectif de continuité écologique, le risque de blocage ou de ralentissement concernerait potentiellement pour les phases de dévalaison l'anguille argentée sur la période août à octobre, les juvéniles d'alse pendant tout l'étiage (de juin à octobre), les salmonidés en début d'été et l'alse en fin de printemps. Ce calendrier migratoire confirme l'intérêt du maintien des sondes oxygène encadrant largement l'étiage.

L'analyse de l'année 2022, croisant les enregistrements, confirme la réalité d'une situation d'insuffisance de la concentration en oxygène dans le haut estuaire à Tonnyay et à l'Houmée de juillet à octobre mais qui s'atténue au niveau du barrage.

La position de la sonde en amont nécessite une contextualisation spécifique de ces données puisque parfois elle correspond à la qualité du plan d'eau amont, parfois à la remontée des eaux estuarienne dans le plan d'eau.

Ces données d'oxygène dissous mesurées en amont du barrage de Saint Savinien sont discontinues et pour 2022 en recouvrement partiel avec les enregistrements de l'Houmée.

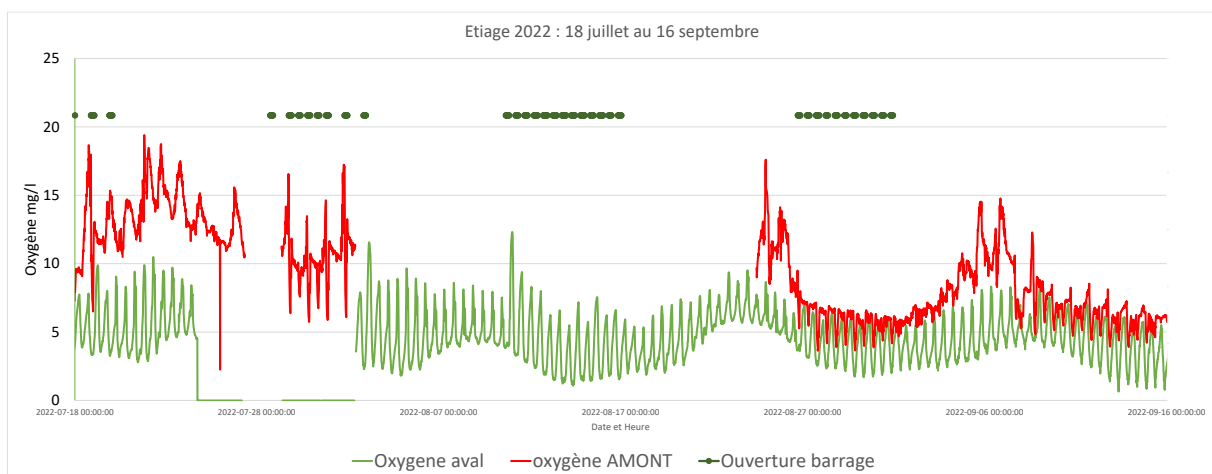


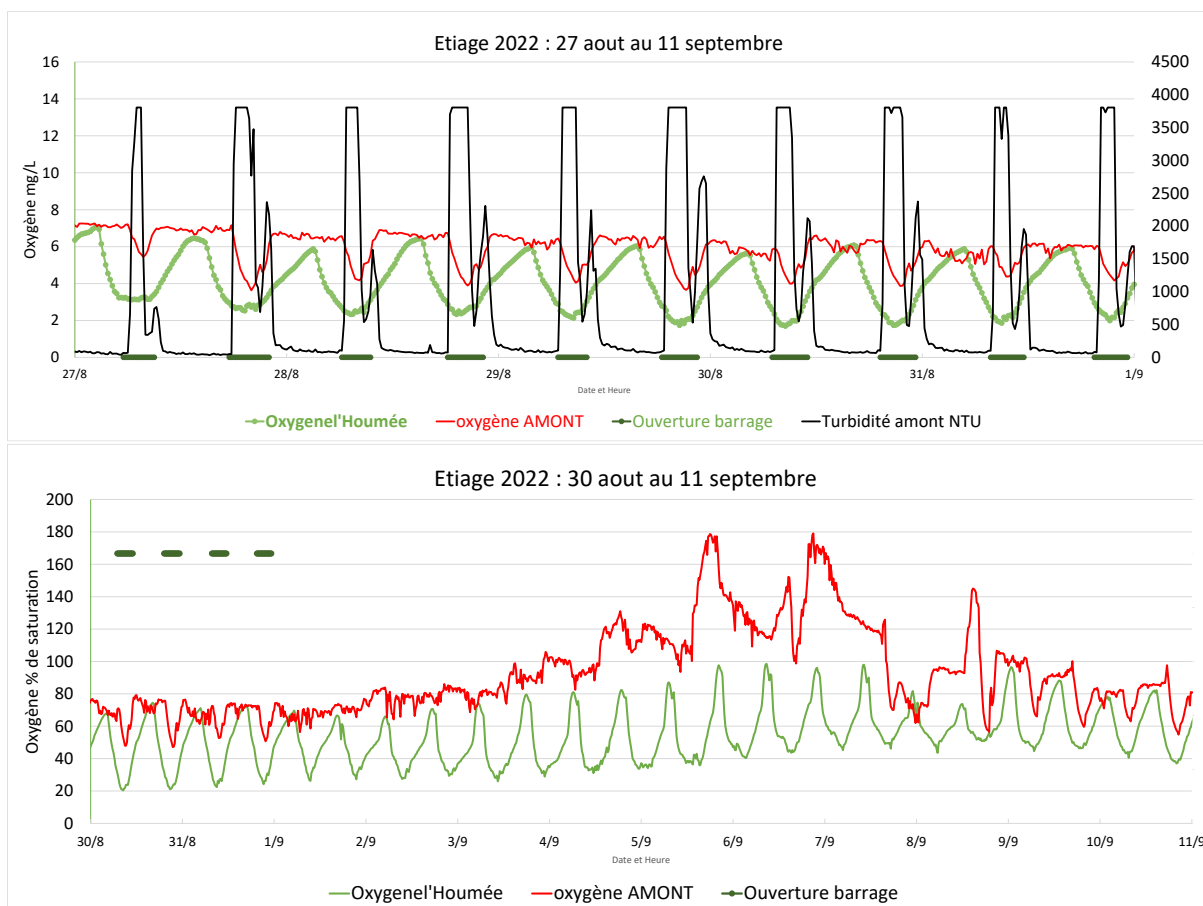
Figure 51 Dynamique de l'oxygène dissous en étiage au niveau de Saint Savinien

Sous réserve de la bonne calibration des sondes les constats suivants peuvent être proposés :

- En aval éloigné du barrage (l'Houmée), les concentrations instantanées en oxygène évoluent selon le régime des marées avec deux oscillations journalières qui excluent un impact de type jour nuit issu de la photosynthèse ; cela signifie que à l'Houmée, le fonctionnement de la qualité des eaux est largement dominé par des mécanismes estuariens étudiés dans le cadre de l'étude du débit biologique de l'estuaire.
- En amont du barrage :
 - C'est le régime nyctéméral (jour-nuit) qui domine les fluctuations (un maximum par 24 h) sauf en période d'ouverture des vannes, où l'on retrouve l'oscillation bi-journalière des marées (2 maximum par 24 h).
 - La concentration en oxygène mesurée en surface, est toujours supérieure à celle de l'Houmée.
 - Les périodes d'ouverture des vannes sont intéressantes car la mesure de l'oxygène effectuée dans le plan d'eau correspond en fait à ce que l'on observerait avec une sonde

située immédiatement au pied de l'ouvrage. On observe donc sur ces périodes d'ouverture de pointe de marée à fort coefficient, en théorie phases les plus critiques pour la qualité des eaux, une concentration en oxygène significativement plus élevée qu'à l'Houmée (environ + 2 mg/L).

- Vannes fermées, certaines valeurs très élevées (si elles sont confirmées), témoignent même d'une sursaturation en dioxygène de l'eau de surface qui peut s'expliquer par l'eutrophisation du plan d'eau de Saint Savinien. Sur ces périodes, l'eau déverse sur le clapet et il est possible mais non vérifié que ce brassage réduise la sursaturation en oxygène de l'eau ;



- En pied de barrage, et donc au niveau de la passe à poissons, il est donc possible de considérer que la concentration en oxygène est significativement supérieure à celle de l'Houmée. La concentration en O₂ en période de migration de reproduction de l'aloise, espèce cible, n'a pas été mesurée mais à l'Houmée les valeurs de concentration sont toujours restées au-dessus de 4 mg/L en 2022 ce qui suggère que cette situation *a fortiori* meilleure en pied de barrage correspond à une situation au moins « moyenne » selon l'indicateur pour les alosons et minimale pour l'habitat piscicole (source conseil scientifique juillet 2024). En période où les vannes sont fermées, notons que la concentration en O₂ du plan d'eau est au moins égal ou supérieure à celle de l'Houmée.

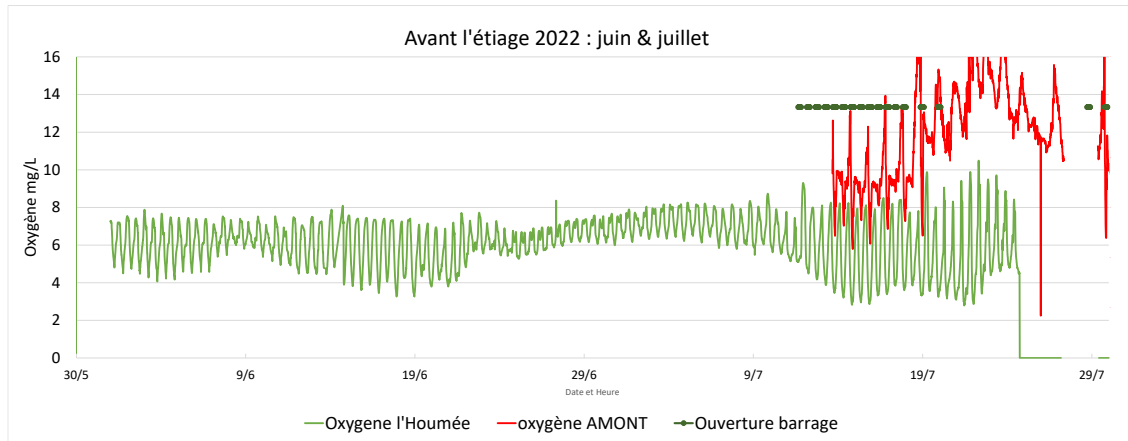


Figure 52 : Migration de montaison : situation non limitante pour les migrateurs

3 En conclusion

La gestion de Saint Savinien est assez complexe et en interaction constante avec les facteurs hydrologiques du débit fluvial et hydraulique liés à la marée. Le flux d'eau douce envoyé vers l'estuaire n'est pas fondamentalement modifié par le barrage en bilan journalier et les fluctuations instantanées des débits restitués ont un impact relatif limité au haut estuaire. Le barrage n'a donc pas d'effet hydrologique significatif sur des mécanismes littoraux.

Le débit minimum biologique doit donc se comprendre comme un enjeu très localisé qui ne doit pas être confondu avec l'enjeu du débit biologique de l'estuaire qui interroge surtout la gestion du grand bassin versant et qui nécessite le maintien d'un débit fluvial.

L'analyse montre que :

En étiage, l'habitat piscicole à proximité aval de l'ouvrage peut être modifié à la marge par les modulations du débit instantané restitué par le barrage. Ces phénomènes s'observent de façon transitoire et n'induisent pas de conséquence écologique fiable aux profondeurs d'eau ou aux champs de vitesse pilotés par la marée. Ce constat permet de statuer sur la question de la permanence du débit restitué qui ne semble pas nécessaire à des pas de temps courts (horaire par exemple). Néanmoins, l'EPTB Charente (source Audrey Postic Puivif) observe de la reproduction d'aloses en aval immédiat du barrage. Quand le clapet se ferme, l'activité s'arrête... il y a donc malgré tout un impact de la gestion. Après il se trouve que cette reproduction est considérée comme forcée car l'habitat n'est pas caractéristique d'une frayère. Les poissons se retrouvent bloqués à l'aval, sont matures, et par conséquent se reproduisent là, quand les courants sont suffisants.

- L'alimentation en eau des ouvrages de franchissement (2,2 m³/s) constitue un objectif incontournable et minimal. En période de fermeture des vannes, l'analyse montre la grande complexité des mécanismes reliant la débitance de la passe à poissons et l'attractivité hydraulique du bras naturel à relier avec la forte artificialisation du régime instantané des débits restitués par les clapets. La circulation des poissons interroge donc plus les dispositifs techniques (passe à poissons et passage sous les vannes) que les débits eux-mêmes. Une analyse fine (en cours en 2024 avec Scimabio-Interfaces) reste nécessaire pour expertiser cette question mais elle devrait avoir peu de lien avec les débits minimum.
- La qualité des eaux en pied de barrage se rapproche plus de celle d'un cours d'eau que de l'estuaire notamment pour la salinité et l'oxygène, sauf en ce qui concerne la turbidité. Le lien entre débit d'étiage, turbidité et enjeu biologique reste cependant indirect au niveau de Saint Savinien puisqu'il interroge l'ensemble du processus de gestion du risque d'envasement. Pour la salinité, les effets biologiques sont peu discernables et se traitent surtout en lien avec le débit biologique estuarien. Les débits qui garantiraient une certaine pérennité de la sectorisation haline de l'estuaire en étiage et donc le maintien d'une zone oligohaline dans le haut estuaire sont évalués entre 12 et 15 m³/s sur 4 jours consécutifs.

En conséquence :

Saint Savinien ne constitue qu'une interface dans la gestion des débits fluviaux, même s'il permet l'expression d'usage préleveurs (Coulouge, Canal de l'UNIMA, usage agricole locaux). C'est à cette échelle que se gère les questions de salinités et d'oxygénation. En revanche le partage de l'eau entre les deux bras est un enjeu de gestion de l'ouvrage.

Contrairement à un contexte de rivière, la permanence du débit minimum biologique en aval n'est pas strictement nécessaire aux objectifs environnementaux qui sont garantis par l'hydraulique de la marée. L'ouvrage de saint Savinien constitue l'un des points d'observation de la qualité biologique estuarienne et s'inscrit pleinement dans la problématique du débit biologique étudié à plus large échelle.

Le fonctionnement optimal des ouvrages impliqués dans la continuité piscicole et sédimentaire constitue le principal objectif d'un débit biologique et cette optimisation pourrait conduire à des recommandations complémentaires sur certaine période.

4 Annexe DMB Saint Savinien

4.1 Limitation liée à l'insuffisance des débits en amont

Rappelons que le débit réservé est limité « au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur ». En l'occurrence la gestion du barrage de Saint Savinien est strictement au « fil de l'eau ». En période d'étiage notamment, la principale obligation est celle du respect de la cote de référence. En poussant les hypothèses à l'extrême, si les débits entrants réduits des prélèvements dans le bief sont nuls, alors aucun déversement ne doit être constaté au niveau des clapets. Le maintien « forcé » d'un débit vers l'aval se traduirait par une vidange progressive du bief et donc une baisse de la cote en dessous du niveau légal.

Quand les vannes sont fermées (hors crue et coefficient de marée élevé) la gestion de l'ouvrage ne modifie pas les flux d'eau douce vers l'aval.

Quand les vannes sont ouvertes en étiage et en raison d'un fort coefficient de marée, l'ouvrage peut être considéré comme transparent aux flux naturels de l'aval fluvial vers l'amont avec la remontée de l'onde de marée puis de l'amont vers l'aval fluvial en marée descendante. Cette gestion n'a pas d'incidence sur les flux d'eau douce vers l'aval.

4.2 Fonctionnement hydraulique en étiage en sortie aval du système à Saint-Savinien

Le graphe ci-dessous décrit le fonctionnement réel du système pour un cycle de marée donné.

Les cartographies ci-après représentent les champs de vitesses et les profondeurs d'eau modélisés juste en aval de la confluence des 2 bras de Saint-Savinien, aux différents instants clés du cycle de marée.

Analyse des débits et des vitesses

Secteur : Saint-Savinien

Scénario : fonctionnement actuel



Reflux

- Ouverture du clapet en début de phase créant une pointe vitesse vers l'aval.
- Reprise progressive de la débitance dans la PAP avec la baisse du niveau aval.
- En fin de phase, augmentation de la vitesse vers l'aval car la profondeur baisse dans le lit

Etale marée basse

- Inversion brutale de vitesse avec arrivée du flux

Flux

- « Annulation » de la vitesse du flux par le débit lâché par le barrage.
- Arrêt progressif de la débitance dans la PAP avec la hausse du niveau aval.
- Regain de vitesse vers l'aval en fin de phase

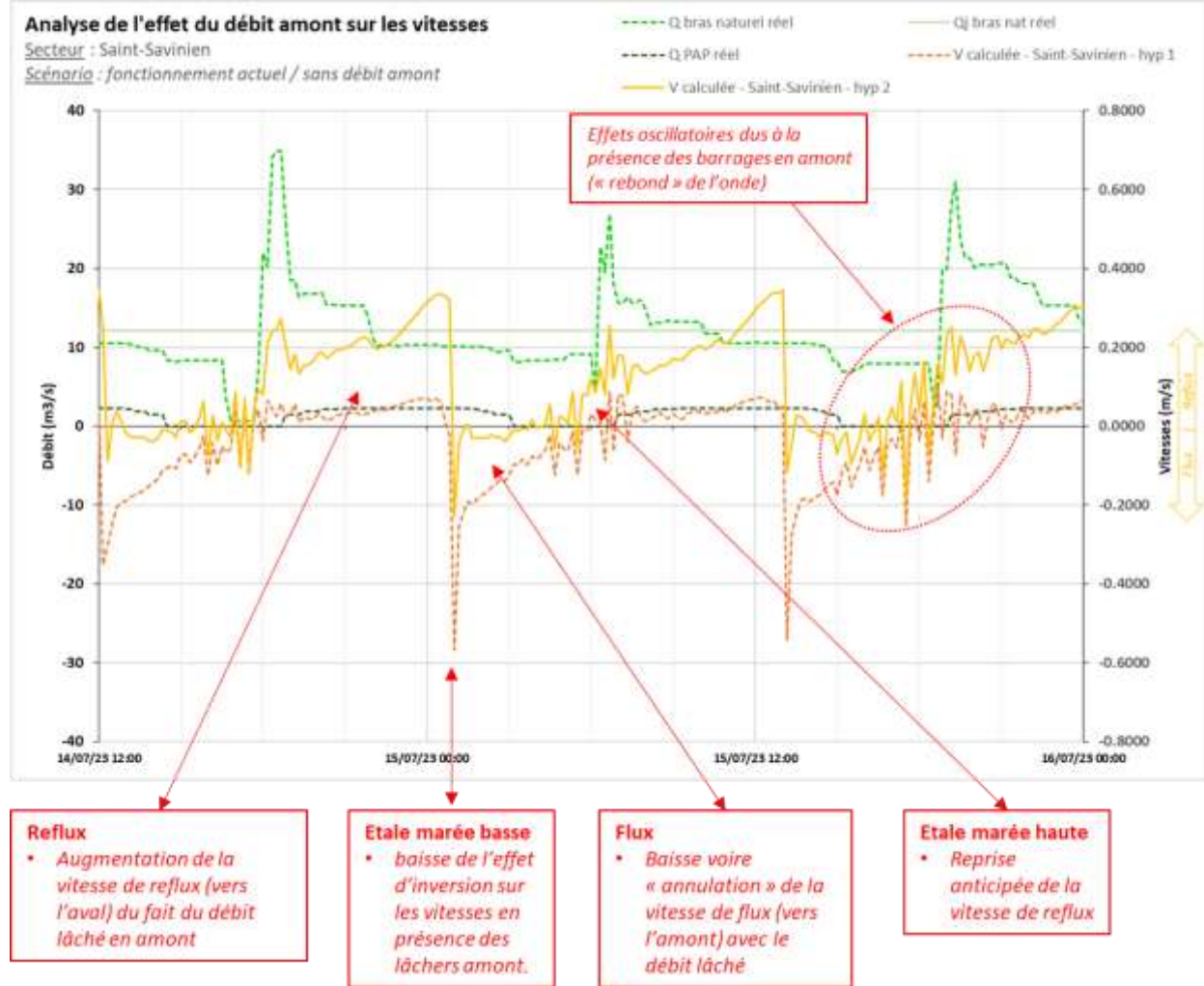
Etale marée haute

- Baisse de la vitesse de flux
- Reprise franche de vitesse de reflux avec les débits du barrage

Analyse de l'effet du débit amont sur les vitesses

Secteur : Saint-Savinien

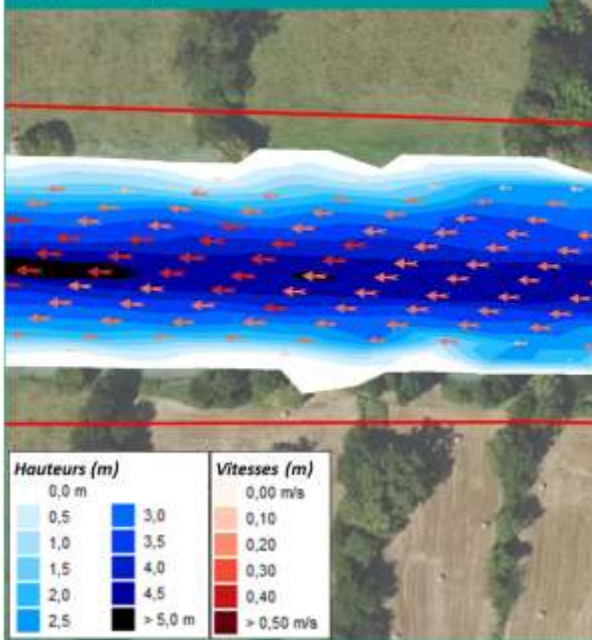
Scénario : fonctionnement actuel / sans débit amont



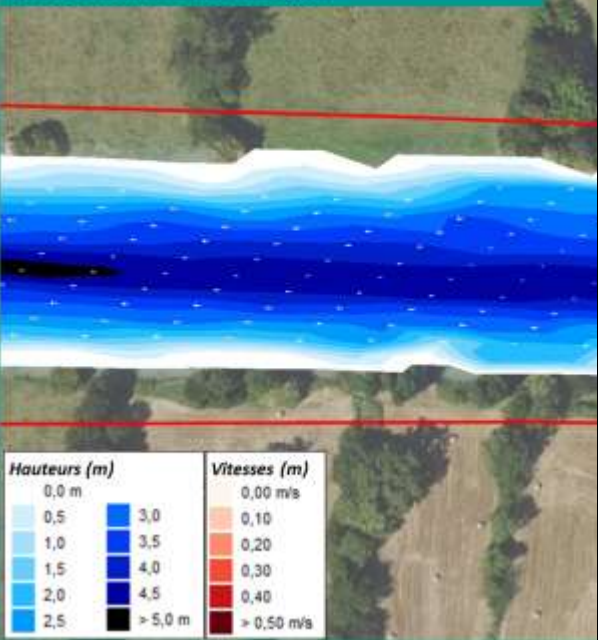
Avec débit lâché en amont (hypothèse 2)

Sans débit lâché en amont (hypothèse 1)

Hauteurs et vitesses – Fonctionnement actuel
Début du reflux



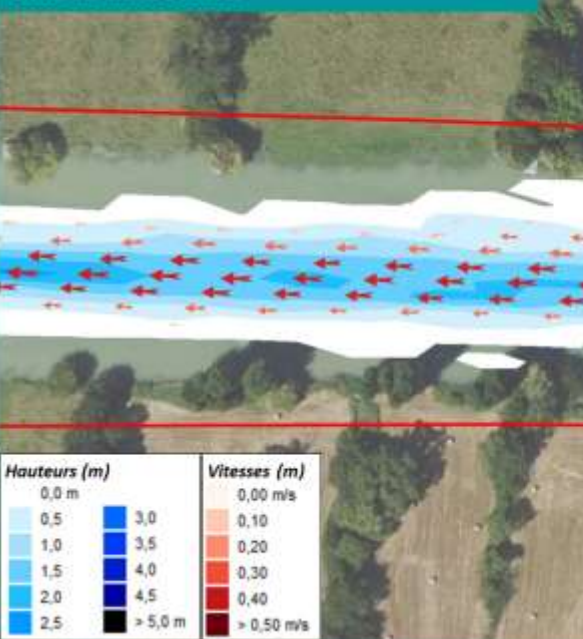
Hauteurs et vitesses – Fonctionnement sans débit amont. Début du reflux



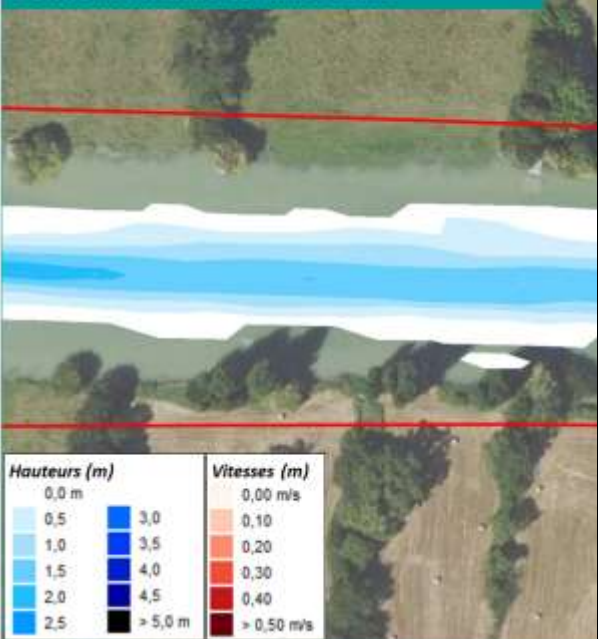
Champs de vitesses plus marqués avec le débit amont : 20 à 30 cm/s durant le reflux.

Vitesses faibles (10 cm/s) max en l'absence de débit amont.

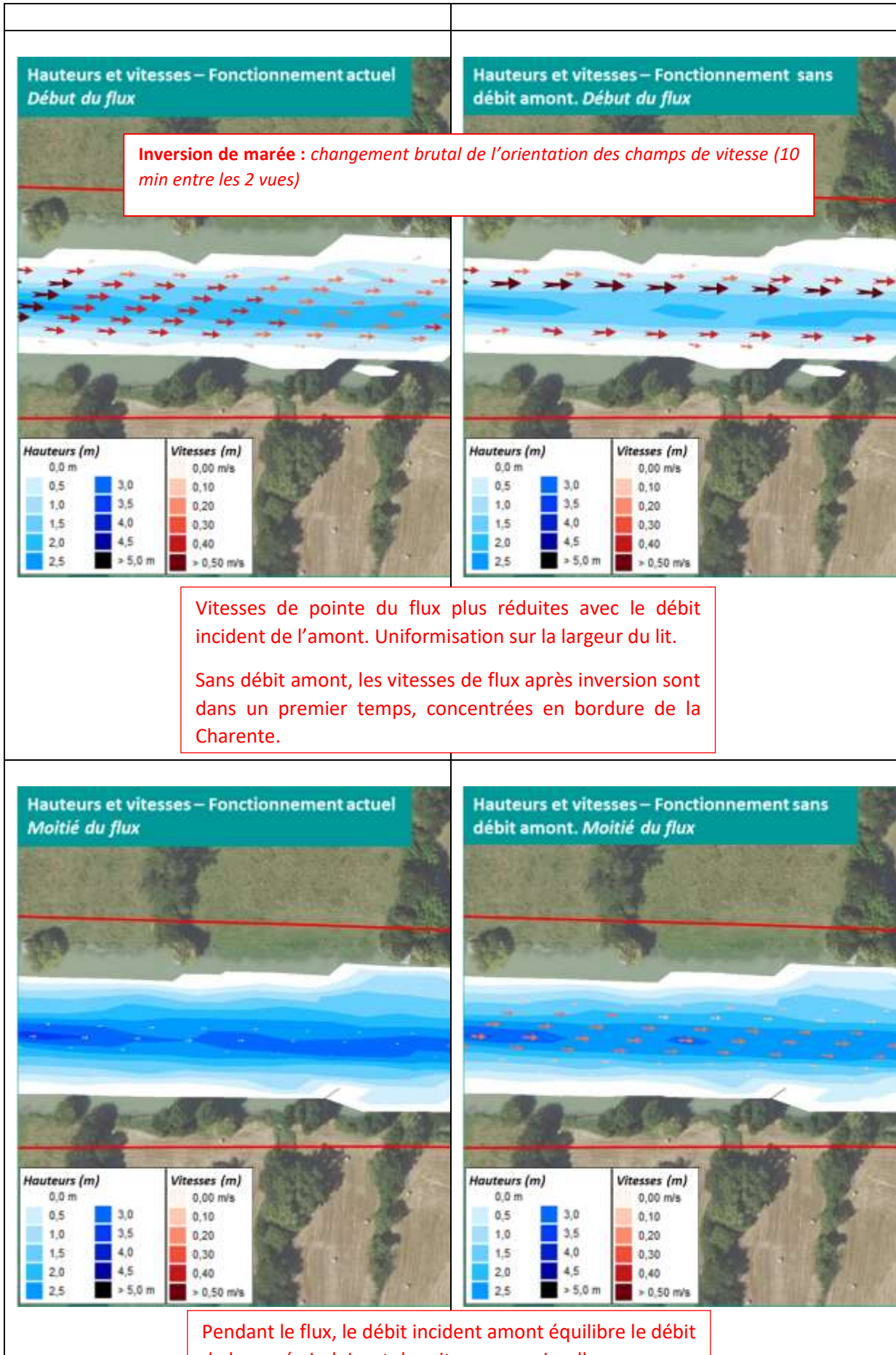
Hauteurs et vitesses – Fonctionnement actuel
Etable de marée basse



Hauteurs et vitesses – Fonctionnement sans débit amont. Etable de marée basse



Renverse de marée basse plus « rapide » avec le débit amont. Période d'annulation des vitesses courte.



Inversion de marée : changement brutal de l'orientation des champs de vitesse (10 min entre les 2 vues)

Vitesses de pointe du flux plus réduites avec le débit incident de l'amont. Uniformisation sur la largeur du lit.

Sans débit amont, les vitesses de flux après inversion sont dans un premier temps, concentrées en bordure de la Charente.

Pendant le flux, le débit incident amont équilibre le débit de la marée induisant des vitesses quasi-nulles.

Sans débit amont, l'effet du flux apparait avec des vitesses qui tendraient à s'équilibrer sur la largeur du lit.

4.3 Article L214-18

4.3.1.1.1.1 Version en vigueur depuis le 12 mars 2023

[Modifié par LOI n°2023-175 du 10 mars 2023 - art. 72](#)

I.-Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite.

Ce débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, ou pour les ouvrages qui contribuent, par leur capacité de modulation, à la production d'électricité en période de pointe de consommation et dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat pris après avis du Conseil supérieur de l'énergie, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage évalué dans les mêmes conditions ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique rendant non pertinente la fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure.

II.-Les actes d'autorisation ou de concession peuvent fixer des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année, sous réserve que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure aux débits minimaux fixés en application du I. En outre, le débit le plus bas doit rester supérieur à la moitié des débits minimaux précités.

Lorsqu'un cours d'eau ou une section de cours d'eau est soumis à un étiage naturel exceptionnel, l'autorité administrative peut fixer, pour cette période d'étiage, des débits minimaux temporaires inférieurs aux débits minimaux prévus au I.

III.-L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau les débits minimaux définis aux alinéas précédents.

IV.-Pour les ouvrages existant à la date de promulgation de la [loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006](#) sur l'eau et les milieux aquatiques, les obligations qu'elle institue sont substituées, dès le renouvellement de leur concession ou autorisation et au plus tard le 1er janvier 2014, aux obligations qui leur étaient précédemment faites. Cette substitution ne donne lieu à indemnité que dans les conditions prévues au III de l'article [L. 214-17](#).

V.-Le présent article n'est applicable ni au Rhin ni aux parties internationales des cours d'eau partagés.

VI.-De manière exceptionnelle et temporaire, en cas de menace grave sur la sécurité de l'approvisionnement électrique constatée par l'autorité gestionnaire du réseau, l'autorité administrative peut accorder des dérogations au débit à laisser à l'aval d'un ou de plusieurs ouvrages, fixé dans les actes des concessions ou chaînes de concessions ou dans les règlements d'eau. Ces dérogations font l'objet de suivis systématiques des impacts. Au moins 80 % des bénéfices nets tirés de la production

supplémentaire générée du fait de la dérogation sont affectés par le concessionnaire à des opérations de compensation ou de réduction des impacts ou concourant à l'atteinte du bon état écologique du cours d'eau ou du bassin versant concernés. Le premier alinéa du présent VI est également applicable aux concessions installées sur le Rhin.