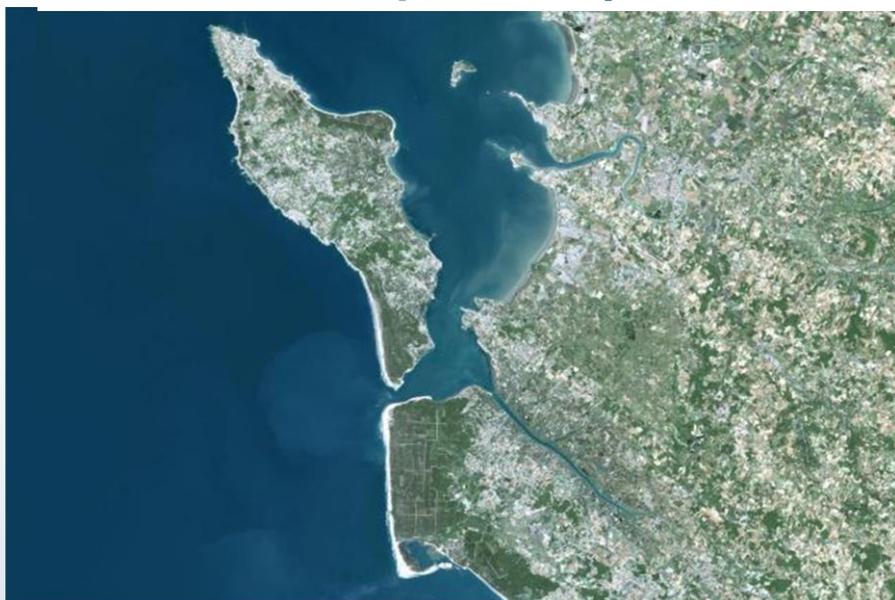


Etude de définition de débits biologiques et débits objectifs complémentaires pour les bassins Charente – Boutonne – Seudre

Rapport d'avancement méthodologique



LOT 2
Les estuaires

Phase I
Décembre 2021

Provisoire

SOMMAIRE

1	CADRAGE DE L'ETUDE.....	8
1.1	Démarche.....	8
1.2	Périmètre de l'étude.....	10
1.3	Ressources bibliographiques	11
1.4	Conférences et atelier scientifique.....	11
1.5	Les données disponibles	12
2	LES SPECIFICITES DES MILIEUX ESTUARIENS CHARENTE ET SEUDRE	13
2.1	<i>Géographie</i>	<i>13</i>
2.1.1	<i>Les formes estuariennes : généralité</i>	<i>13</i>
2.1.2	<i>Deux estuaires de la mer des pertuis, mais sous influence de la Gironde.....</i>	<i>17</i>
2.1.3	<i>Une emprise géographique limitée par des ouvrages hydrauliques.....</i>	<i>18</i>
2.1.3.2	<i>Cartographie des obstacles aux connexions latérales.....</i>	<i>19</i>
2.1.4	<i>Limites administratives</i>	<i>20</i>
2.2	<i>Hydrologie.....</i>	<i>27</i>
2.2.1	<i>Les bassins versants estuariens.....</i>	<i>27</i>
2.2.2	<i>Régime des eaux douces</i>	<i>29</i>
2.3	<i>Bathymétries et hydrauliques</i>	<i>33</i>
2.3.1	<i>Sources des données</i>	<i>33</i>
2.3.2	<i>Le chenal de la Charente.....</i>	<i>34</i>
2.3.3	<i>Le chenal de la Seudre.....</i>	<i>35</i>
2.4	<i>Fonctionnement hydraulique et sédimentaire.....</i>	<i>35</i>
2.4.1	<i>Nécessité d'un modèle hydraulique</i>	<i>35</i>
2.4.2	<i>Contexte hydro-sédimentaire.....</i>	<i>50</i>
2.5	<i>Qualité des eaux</i>	<i>55</i>
2.5.1	<i>Les objectifs de la DCE.....</i>	<i>55</i>
2.5.2	<i>Réseaux de mesures.....</i>	<i>56</i>
2.5.3	<i>Températures estuariennes</i>	<i>58</i>
2.5.4	<i>Salinité.....</i>	<i>60</i>
2.5.5	<i>Oxygène</i>	<i>67</i>
2.5.6	<i>La matière organique.....</i>	<i>77</i>
2.6	<i>Hydrobiologie des estuaires Charente Seudre</i>	<i>83</i>
2.6.1	<i>4 fonctions écologiques majeures à prendre en compte pour les espèces piscicoles</i>	<i>83</i>
2.6.2	<i>Conditions physico chimie de l'habitat aquatique estuarien</i>	<i>83</i>
2.6.3	<i>Cartographie des habitats benthiques, nourricerie du parc Naturel marin « estuaire de la Gironde et mer des pertuis »</i>	<i>84</i>
2.6.4	<i>Système trophique et turbidité : le cas de la Charente</i>	<i>85</i>
2.6.5	<i>Cycle biologique des poissons en estuaires.....</i>	<i>87</i>
2.6.6	<i>Tolérance des poissons en estuaire : température, oxygène dissous, turbidité et salinité.....</i>	<i>89</i>
2.6.7	<i>Les inventaires disponibles DCE (cf. annexe).....</i>	<i>93</i>
2.6.8	<i>Le suivi des migrants.....</i>	<i>104</i>
3	ELEMENTS METHODOLOGIQUES POUR DEFINIR DES DEBITS BIOLOGIQUES	106

3.1	Objectifs poursuivis	106
3.1.1	<i>Résumé de la démarche théorique de définition des débits biologiques.....</i>	<i>106</i>
3.1.2	<i>Objectifs généraux pour les estuaires Charente et Seudre</i>	<i>107</i>
3.1.3	<i>Spécificité de l'estuaire de la Charente</i>	<i>109</i>
3.1.4	<i>Spécificité du secteur amont de l'estuaire de la Charente en lien avec le Débit minimum biologique</i>	<i>110</i>
3.1.5	<i>Spécificité de l'estuaire de la Seudre.....</i>	<i>110</i>
3.2	Action et interaction des facteurs de contrôle du débit biologique en lien avec le débit.....	112
3.2.1	<i>Sélection des paramètres directeurs de l'écosystème</i>	<i>112</i>
3.2.2	<i>Schéma appliquée au domaine estuarien Charente et Seudre</i>	<i>112</i>
3.2.3	<i>Fixer un seuil.....</i>	<i>113</i>
3.2.4	<i>Des valeurs seuils aux débits biologiques, une situation nécessitant une approche matricielle et sectorielle</i>	<i>115</i>
3.2.5	<i>Pressions anthropiques</i>	<i>116</i>
3.3	Une démarche pour la seconde phase	117
4	ANNEXES : BIBLIOGRAPHIE PROVISOIRE.....	118

SOMMAIRE ILLUSTRATIONS

Figure 1 Illustration des biens et services fournis par l'écosystème estuarien à la société (source D. Nicolas Des poissons sous influence 2010)	8
Figure 2 Les périmètres de l'étude.....	11
Figure 3 : Schéma du domaine estuarien : V. Foussard, Coordination inter-estuaire - Sources : OFB .	13
Figure 4 Cartographie provisoire des obstacles à la continuité	19
Figure 5 limites administratives sur la Charente	22
Figure 6 Le réseau des « taillées » de la Seudre. Source PAPI d'intention Seudre 2013	25
Figure 7 Hydrogramme statistique reconstitué et approximé des débits entrants dans l'estuaire de la Charente 2006/2020	30
Figure 8 Hydrogramme statistique des débits de la Seudre à Corme Ecluse 2006/2020	31
Figure 9 : Impact des prélèvements sur le débit de la Seudre aval au niveau de Saujon (données brutes BRGM)	33
Figure 10 Evolution des surfaces mouillées et découvertes	47
Figure 11 Evaluation des débits dans l'estuaire de la Seudre : exemple sur deux sections	48
Figure 12 Variation des vitesses moyennes au droit d'une station de suivi qualité Magest	49
Figure 13 Evaluation des vitesses estuariennes : on en comprend l'intérêt écologique pour qualifier les habitats pélagiques et benthiques	49
Figure 14 Cartographie sédimentaire 7405G SHOM.....	51
Figure 15 mécanisme sédimentaire en estuaire (source F.Toublanc)in F Toublanc	52
Figure 16 Schéma du cycle sédimentaire en en étiage (5 m ³ /s) et eaux moyennes (50 m ³ /s) F. Toublanc 2014.....	54
Figure 17 : localisation des sondes à Tonny Charente et au lieu-dit l'Homée	57
Figure 18 Suivi en continu de l'oxygène sur deux stations de l'estuaire de la Charente (été 2021)	57
Figure 19 Calage du modèle thermique de l'estuaire de la Charente à Tonny Charente (T° en moyenne journalière).....	59
Figure 20: Simulation pluriannuelle (2006-2020) de la température [moyenne journalière] de l'eau à Tonny-Charente.....	60
Figure 21 Position des différentes limites de salinités dans l'estuaire de la Charente en étiage et eaux moyenne.....	61
Figure 22 Simulation du gradient vertical de salinité de l'estuaire de la Charente (Source Thèse F Toublanc p 143).....	62
Figure 23 Rapprochement débit salinité à Eguille.....	63
Figure 24 Suivi de la salinité 2020/2021 dans les chenaux et les marais (source CAPENA Bilan saison 2020-2021)	64
Figure 25 Position des points d'observations et salinité enregistré le 3 février 2021 avec un fort gradient géographique	64
Figure 26 Données UNIMA campagne du 09/04/2018	66
Figure 27 Positions des deux sondes Magest.....	69
Figure 28 Moyenne journalière du taux d'oxygène à la station MAGEST de Tonny-Charente (provisoire).	69
Figure 29 Enregistrement brut du taux d'oxygène à la station MAGEST de l'Eguille (provisoire). Quasi anoxie en fin d'étiage.	70
Figure 30: Schéma de la modélisation de la concentration en oxygène dans le bouchon vaseux.	74

Figure 31: Résultat de simulation de la Température de l'eau (STURIEAU) à Tonnay-Charente à partir de la température de l'air à Sainte (Météo-France) pour l'année 2020	75
Figure 32: Comparaison entre Turbidité [moyenne journalière] simulée et Turbidité [moyenne journalière] mesurée (MAGEST) à Tonnay en 2020.....	76
Figure 33: Comparaison entre O ₂ [moyenne journalière] simulée et O ₂ [moyenne journalière] mesurée (MAGEST) à Tonnay en 2020 et 2021.....	76
Figure 34 Graphes longue période de la concentration en NH ₄ et DBO5	78
Figure 35 Zoom : Graphes longue période de la concentration en DBO5	79
Figure 36 Le littoral et les marais : des écosystèmes clés dans le carbone bleu - Christine Dupuy.....	82
Figure 37 Schéma du réseau trophique estuarien , « Des poissons sous influence ? » Thèse Delphine Nicolas p 16	86
Figure 38 Calendriers d'occupation des masses d'eaux de transition par les espèces de poissons considérées – présence et migrations (d'après ÉLIE,1992); en rouge: espèces diadromes citées pour mémoire. Source C. Taverny CEMAGREF (2009).....	88
Figure 39 Proposition d'une grille qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence. Source étude CEMAGREF C. Taverny et al 2009.....	90
Figure 40 Les enjeux de l'hypoxie pour les migrateurs	91
Figure 41 Source étude CEMAGREF C. Taverny et al 2009.....	93
Figure 42 : Traits de pêches réalisés dans le cadre de la DCE depuis 2005 et stations de pêche de suivi anguille de la Cellule Migrateurs.....	94
Figure 43 : Traits de pêche avec présence de l'anchois depuis 2005	96
Figure 44 : Traits de pêche avec présence d'hippocampes depuis 2005.....	97
Figure 45 : Traits de pêche avec présence de merlan depuis 2005	98
Figure 46 : Traits de pêche avec présence des gobies depuis 2005.....	99
Figure 47 : Traits de pêche avec présence de flets depuis 2005.....	100
Figure 48 : Traits de pêche avec présence de flets depuis 2005.....	101
Figure 49 : Traits de pêche avec présence d'espèces dulcicoles depuis 2005	102
Figure 50 Processus recommandé par F.J. Peñas et al. / Estuarine, Coastal and Shelf Science (2013).(Traduit de l'anglais eaucea).....	114
Figure 51 Rappel des valeurs seuils de la directive	115

Rapport méthodologique

Provisoire

1 Cadrage de l'étude

1.1 Démarche

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 mais non quantifié par les 2 SAGE concernés et par le plan de gestion du Parc Marin. Il existe cependant un débit réservé fixé par l'arrêté 2015/1472 à 8 m³/s dans l'estuaire de la Charente. 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 est donc largement exploratoire et il est nécessaire de la circonscrire tant les thématiques estuariennes sont nombreuses.

Pour Stéphane Guesdon de l'IFREMER la problématique doit d'ailleurs être élargie à la notion de service écosystémique, qui couvre de nombreuses fonctions telles que la biodiversité, la régulation qualitative de l'eau, l'atténuation des risques de submersion, la dynamique sédimentaire, etc. Pour Mario Lepage de l'INRAE, le terme de « débit écologique », serait donc plus adapté que celui de « débit biologique » puisque ce sont les conditions de l'écosystème dans sa double composante physique et biologique qui doivent être considérées.

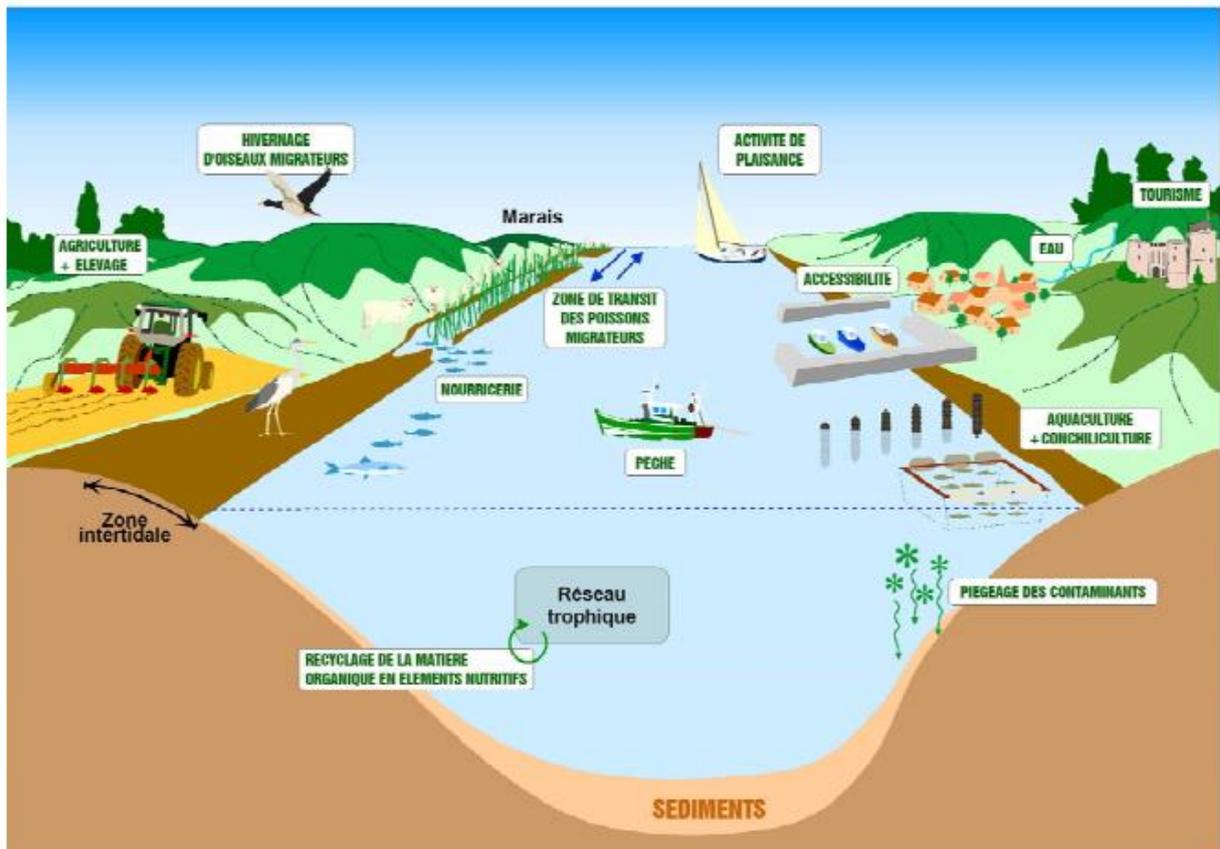


Figure 1 Illustration des biens et services fournis par l'écosystème estuarien à la société (source D. Nicolas Des poissons sous influence 2010)

Ainsi, il faut comprendre les mécanismes spécifiques de chaque espace estuarien (salinité, turbidité, qualité, écologie), distinguer dans les variables de forçage la part issue des bassins versants (flux naturels et pollutions) et le cas échéant identifier des enjeux de réhabilitation hydromorphologiques de l'estuaire (artificialisation, perte de connexion). La démarche proposée est donc :

1. **D'identifier et de qualifier les éléments de contextualisation géographique, hydrodynamique et biologique** disponibles et qui ressortent comme essentiel à la problématisation du débit biologique pour les estuaires de la Charente et de la Seudre. Cette étape s'appuie sur la bibliographie mais aussi sur la métrologie. Par exemple la question de l'oxygénation bénéficie d'une métrologie spécifique très récente avec le réseau MAGEST (Charente et Seudre), du SRC (embouchures) ou du Département de la Charente Maritime (Aval saint Savinien) et qui peut bénéficier de nombreuses données issues de campagne précédentes.
2. **Estimer quantitativement le rôle du débit dans le pilotage des fonctions écologiques estuariennes.** Certaines informations telles que la courantologie, la salinité et la turbidité peuvent se déduire des modélisations hydrauliques (1D, 2D ou 3D) ou hydromorphologiques (Mars 3D) lorsqu'elles existent. D'autres plus complexes relèvent de travaux de longue échéance et souvent de thèses (compréhension du cycle du carbone et des matières organiques, des dynamiques écologiques). C'est à cette étape que peuvent être proposés des distinctions entre estuaires et pour tenir compte des enjeux propres au barrage de Saint Savinien.
3. **Déterminer collectivement des « indicateurs » qui permettent de sécuriser les objectifs et qui devront être :**
 - a. Importants pour le bon état écologique du système estuarien ;
 - b. Considérés comme sensibles au débit fluvial avec le niveau de connaissance disponible ;
 - c. Opérationnels eu égard aux moyens à mobiliser pour les contrôler.

Ces critères « consensuels » ne figent pas la réflexion sur le long terme mais orientent la définition du débit biologique estuarien. Cette question centrale a d'ailleurs fait l'objet d'un atelier scientifique spécifique le 9 novembre 2021.

4. **Identifier des besoins en connaissances complémentaires et en données pour renseigner les indicateurs.** Cette étape orientera la poursuite des investigations prévues en seconde phase de l'étude.

Au terme de cette démarche, une proposition de débits biologiques provisoires par secteur et par estuaire et de recommandations pour la gestion des estuaires charentais peut alors être faite.

Une démarche à plusieurs niveaux



1.2 Périmètre de l'étude

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

- Estuaire de la Seudre (SAGE Seudre) : en aval de l'Ecluse de Ribérou. Le SMBS 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 a les mêmes attentes que le SMBS pour la Charente.
- 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.

Les secteurs indirectement concernés sont :

- L'amont des ouvrages anti-sel notamment sur la Charente et la Boutonne et potentiellement la Seudre avec des effets de la gestion des ouvrages hydrauliques ;
- Le littoral (notamment les marais de Brouage) et la mer des pertuis en général. Cette question Les marégraphes de Bourcefranc et de l'île d'Aix sont cependant exploités pour définir la condition aval des modèles hydrauliques.

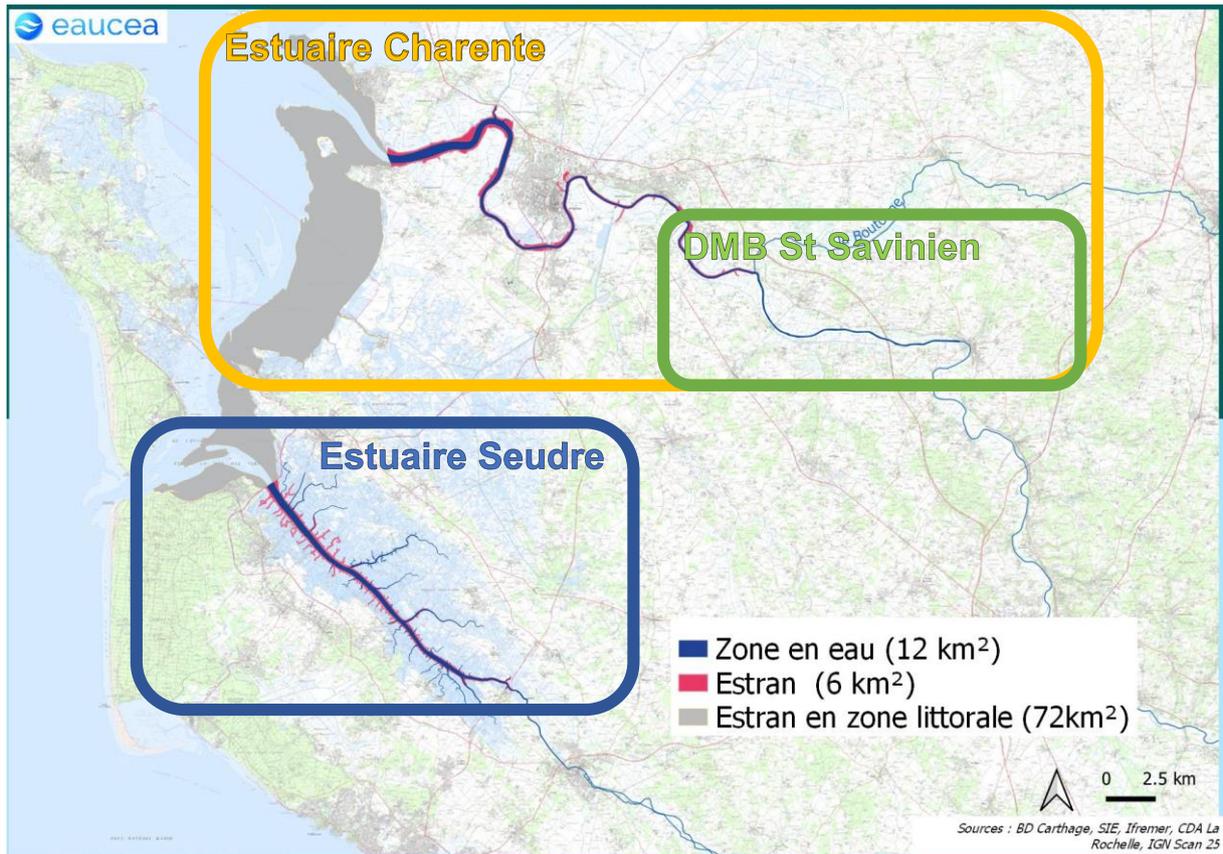


Figure 2 Les périmètres de l'étude

1.3 Ressources bibliographiques

La première étape a consisté à construire une base de données bibliographique. Celle-ci a été communiquée aux partenaires en mars 2020. Elle est en évolution permanente avec l'avancement du projet et les contacts pris.

Une partie de la bibliographie a été enrichie par les conseils des scientifiques contactés.

L'analyse de la bibliographie a permis de proposer la méthodologie présentée dans le préambule. En particulier les premières étapes du travail s'appuient sur la connaissance :

- Du contexte du milieu physique et de l'hydromorphologie ;
- Des fonctions écologiques et des indicateurs de la biodiversité ;
- Des interactions entre le débit fluvial et les fonctions écologiques ;

D'exemple (rare) de seuil à respecter pour préserver ou atteindre l'objectif biologique (salinités et qualités des eaux + objectifs hydromorphologiques).

1.4 Conférences et atelier scientifique

Deux conférences ont été suivies en 2020 :

- ⇒ Une à l'initiative du Smiddest : » *journée d'échanges sur les données physico-chimiques de l'Estuaire de la Gironde – 4 novembre 2020* »

- ⇒ Une à l'initiative de la mission inter-estuaire : « *Estuaires : traits généraux et spécificités de ces socio-écosystèmes pour l'appui à la gestion* Webinaire - 15 décembre 2020 »

Une journée scientifique a été organisée le 9 novembre 2021 par l'EPTB Charente à Saintes pour clore le premier cycle de travail sur proposition d'Eaucéa. Cette journée a permis d'exposer à un groupe de scientifiques et partenaires techniques, les principales orientations issues du travail préparatoire de 2020 à 2021. Le présent rapport tient compte des recommandations et conclusions de cette journée.



1.5 Les données disponibles

Il n'existait pas au commencement de cette étude, de recueil complet des données nécessaires ; Néanmoins, beaucoup d'informations plus ou moins dispersées existent et ont pu être mobilisées en partie. Notons que la constitution d'une base de données dédiée aux estuaires et littoraux fait partie des objectifs partagés avec le Parc naturel marin de la Gironde et de la mer des Pertuis (OFB).

Ces données sont précisées dans chacun des chapitres thématiques et peuvent globalement être réparties en plusieurs familles :

- Données cartographiques (géographie physique et humaine, géologie, hydrographie, etc.)
- Données topographiques (bathymétrie, altimétrie, etc.)
- Données hydrologiques (pluviométrie, débit métrie, marégraphie)
- Données sédimentaires (cartographie, qualité)
- Données qualitatives (divers réseau de mesures ponctuelles ou continues)
- Données écosystémiques (suivis DCE, suivis conchylicoles, suivis de migrations piscicoles,..)
- Données de gestion (ouvrages, pompages, rejets)

Les producteurs de données sont soit l'Etat et ses établissements publics (Agence de l'Eau, Ifremer, INRAE, BRGM, OFB), soit des centres universitaires (Bordeaux et la Rochelle), soit des Collectivités (Département de la Charente-Maritime, EPTB Charente, SMBS) soit des professionnels (SRC, CAPENA, UNIMA).

2 Les spécificités des milieux estuariens Charente et Seudre

2.1 Géographie

2.1.1 Les formes estuariennes : généralité

L'estuaire est une zone de transition particulière entre la terre et la mer, puisque le niveau intuitif séparant les eaux de la terre est en perpétuelle évolution sous l'effet du balancement des marées. D'autre part le mélange entre eau douce et eau salée crée des variations longitudinales de la salure des eaux elles aussi fluctuantes et qui se traduisent par des changements de végétations ou de mécanisme de sédimentation.

Les paysages spécifiques de ces milieux et leur aménagement sont décrits au travers d'un vocabulaire spécifique que nous ne reprendrons pas intégralement ici compte de sa diversité technique mais aussi linguistique. Quelques mots clés doivent cependant être rappelés.

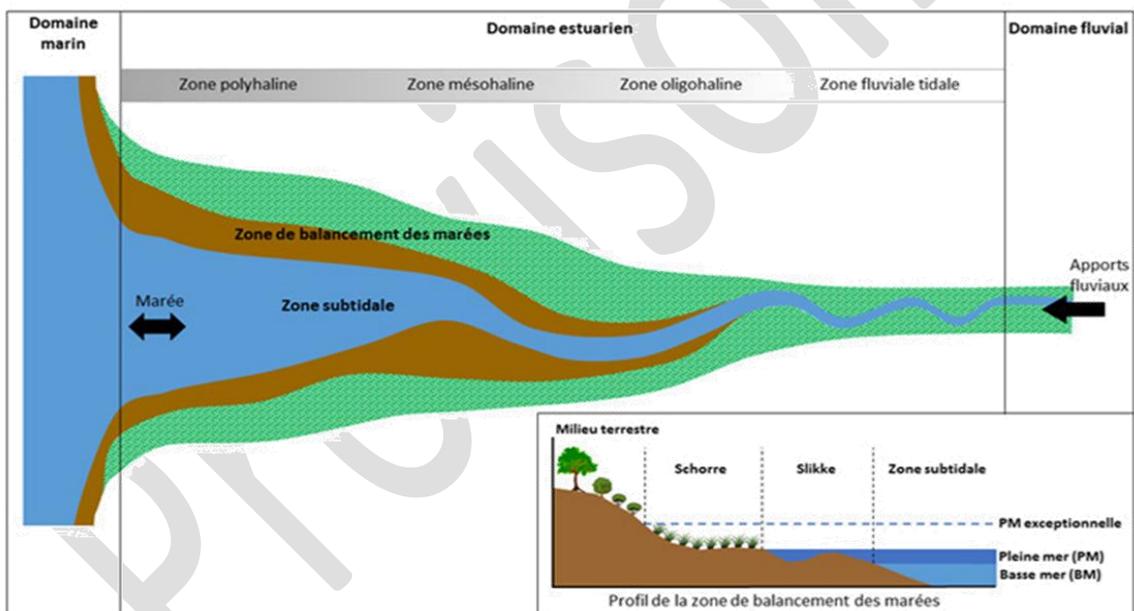


Figure 3 : Schéma du domaine estuarien : V. Foussard, Coordination inter-estuaire - Sources : OFB

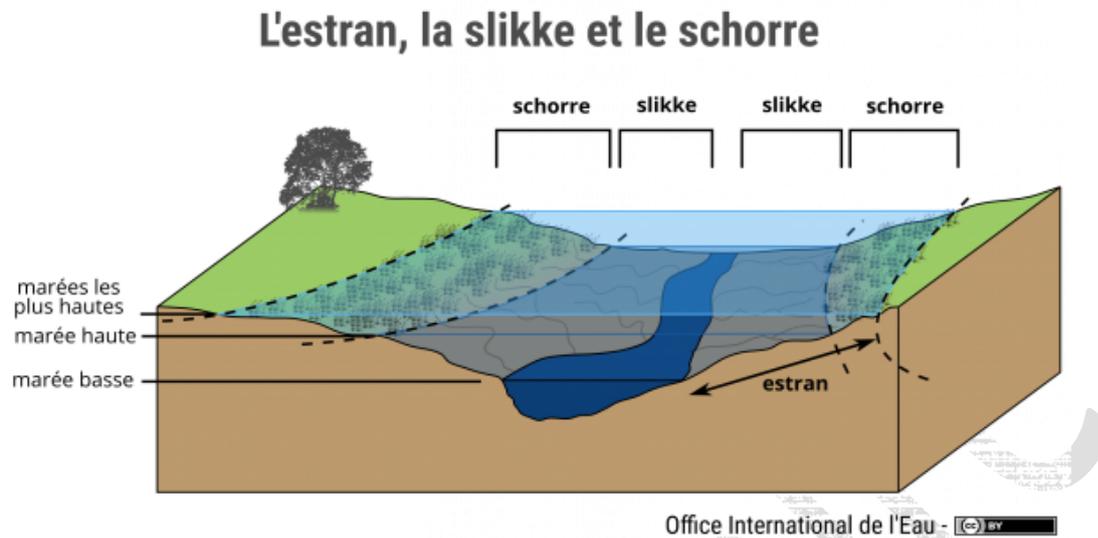
Estran

L'estran, zone de balancement des marées, zone de marnage, zone intertidale ou replat de marée également appelé foreshore (de l'anglais) en sédimentologie, est la partie du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées. Il constitue un biotope spécifique, qui peut abriter de nombreux sous-habitats naturels.

Slikke (vasière)

La **slikke** est la zone de sédimentation très fine des rivages subhorizontaux (côtes de mer à marée, estuaires, deltas et certaines bordures lacustres et lagunaires) dans l'espace intertidal moyen et

inférieur. Elle est largement dénudée. Les slikkes, « entendues selon leur définition la plus restrictive, sont faites de vases très fines où la marée développe des réseaux dendritiques de chenaux » (Verger, 1995).



Schorre

Mot masculin d'origine néerlandaise désignant la partie supérieure des étendues intertidales d'un marais maritime. Le schorre consiste en une accumulation littorale de matériaux fins mêlés de matériaux plus grossiers, stabilisés par l'installation de plantes supérieures **halophiles** constituant des prés-salés. Leur conquête pour l'agriculture, par la construction de digues les protégeant contre l'eau salée, en fait des **prises**, ou **polders**.

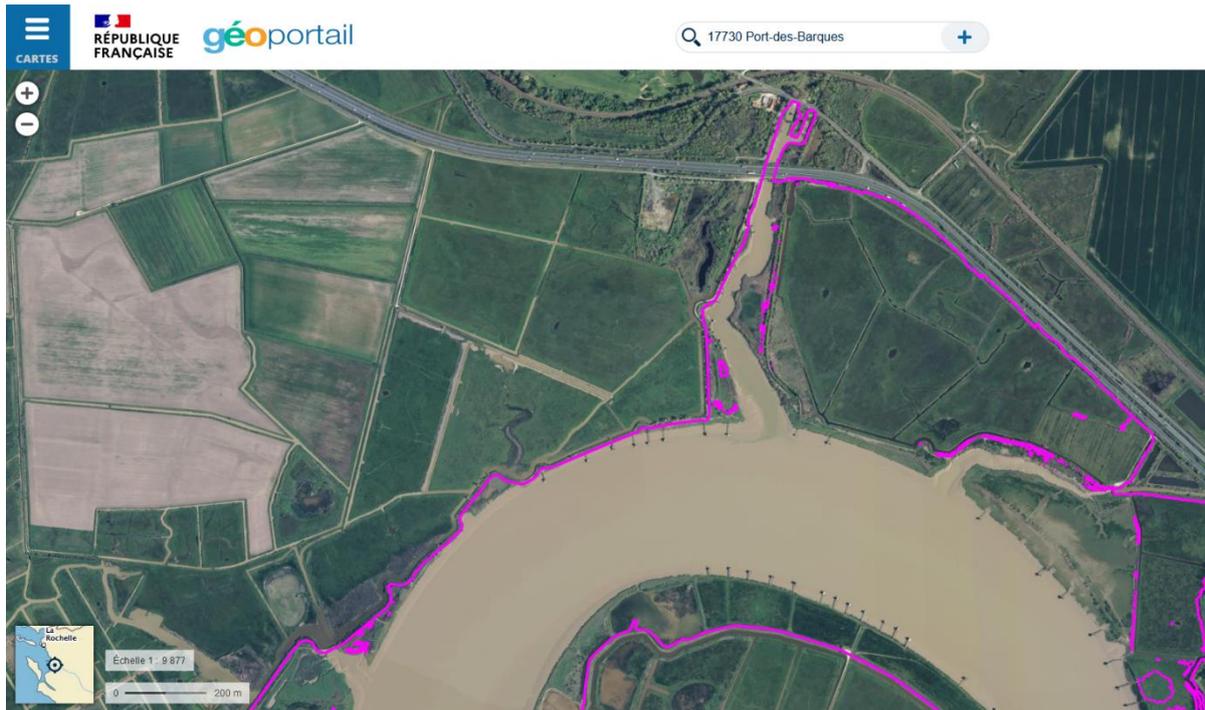
Sens technique : Zone côtière correspondant à la partie supérieure de l'étage médiolittoral et à la partie inférieure de l'étage infralittoral. Le schorre est généralement vaseux et colonisé par les plantes halophiles. Il n'est recouvert qu'aux grandes marées.

Source : d'après dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature 2017

Limite terre mer

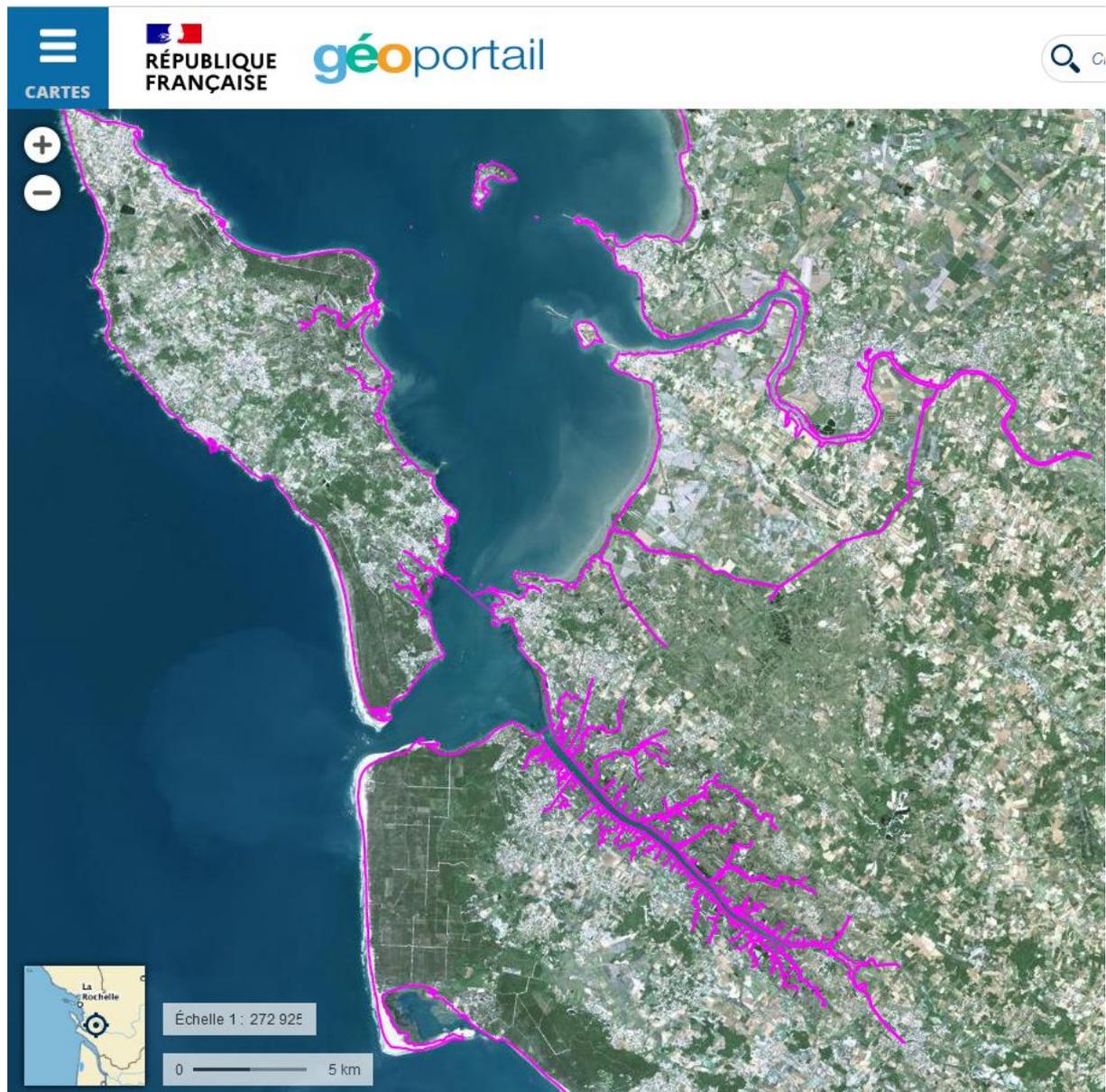
La Limite terre-mer matérialise la frontière entre le domaine marin et le domaine terrestre. Elle correspond à la hauteur du niveau de la mer, mesurée ou modélisée, lors des plus hautes mers astronomiques (PHMA) c'est à dire dans le cas d'une marée de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales (pas de vent du large et pression atmosphérique moyenne de 1013 hPa).

Chaque lit mineur des deux estuaires Charente et Seudre est en connexion latérale plus ou moins complexe avec de vastes ensembles de marais.



La nouvelle cartographie de la limite terre-mer fourni par l'IGN (<https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/limite-terre-mer>) fait apparaître une forte distinction entre la Seudre qui apparait très digitée avec le tracé de chaque chenal latéral et la Charente beaucoup plus simple.

Cette distinction s'explique par un encaissement relatif de la Charente renforcé par un système d'endiguement différent sur les deux estuaires.



Carte 1 cartographie IGN de la limite terre mer (décembre 2021)

Zéro hydrographique

On appelle zéro hydrographique (ou zéro des cartes) la référence de niveau commune pour les mesures de profondeur en mer (ou plan de référence des sondes) sur une carte marine ainsi que pour les prédictions de marée des annuaires de marée. Sur les cartes marines françaises, le zéro hydrographique est adopté au voisinage du niveau théoriquement atteint par les plus basses mers astronomiques (marée de coefficient 120 – ou basse mer astronomique extrême).

Le niveau des plus basses mers astronomiques est obtenu par calcul à partir des données des marégraphes. Le niveau de la mer peut être très exceptionnellement inférieur (par exemple par situation anticyclonique et vent soufflant de terre lors de coefficient de marée maximums). Le choix du zéro hydrographique au voisinage de ce niveau garantit ainsi quasiment toujours au navigateur une profondeur supérieure à la sonde indiquée sur la carte. Cette convention est maintenant universellement adoptée. Le zéro des cartes marines est différent du zéro des cartes terrestres, niveau

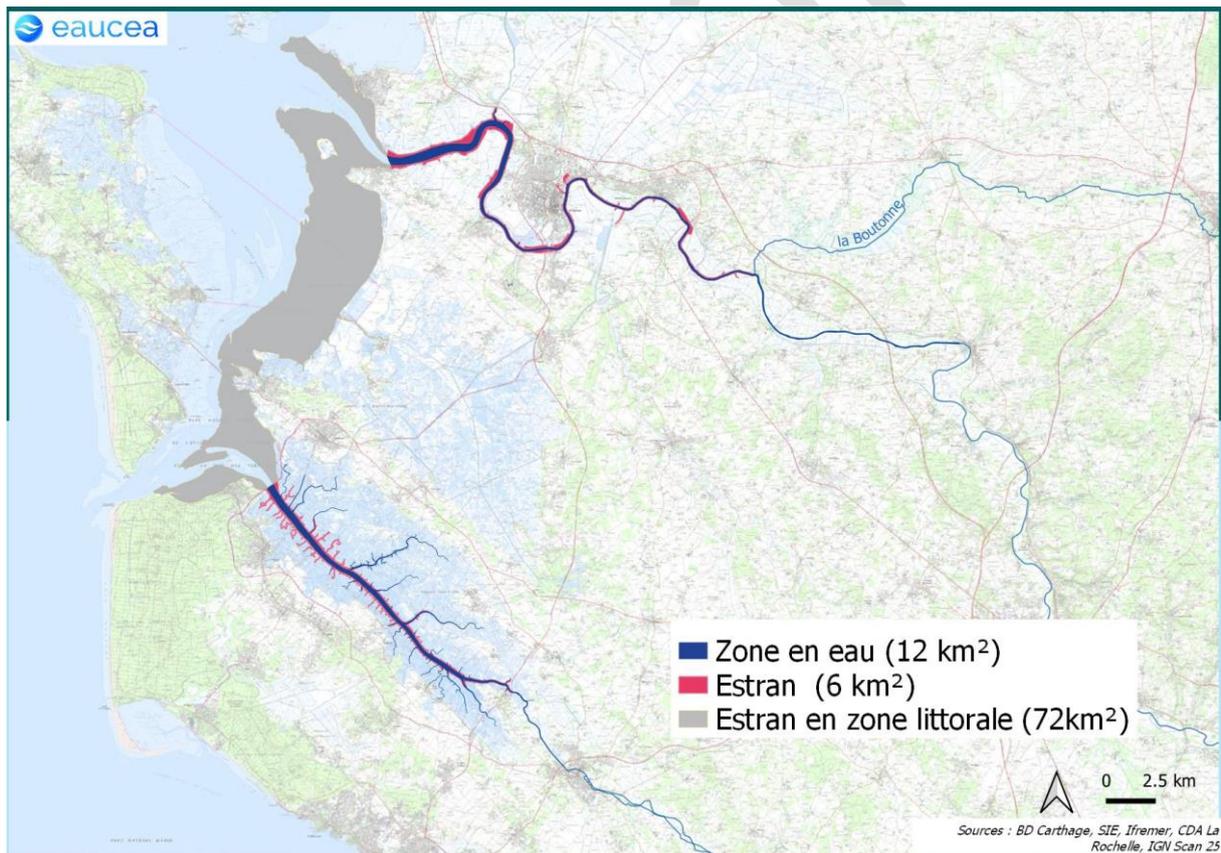
de référence des altitudes. En France, la différence entre le zéro des cartes marines et le zéro des cartes terrestres est mise à jour périodiquement dans l'ouvrage RAM (Références altimétriques maritimes) du Service hydrographique et océanographique de la marine.

2.1.2 Deux estuaires de la mer des pertuis, mais sous influence de la Gironde

Les deux estuaires sont situés dans des systèmes de plaines alluviales côtières séparés par les marais de Brouage, système drainé par deux mini estuaires, les « havres » de Brouage et de Mérignac.

Les deux (principaux) estuaires de la mer des pertuis semblent partager beaucoup de points communs voir de similitudes. Ils sont tous les deux protégés par l'île d'Oléron et débouchent sur une vaste zone d'estran littoral dominé par des sédiments fins à très fins. En réalité, les différences sont nombreuses et s'expliquent essentiellement par la grande disparité de taille entre les deux fleuves la Charente et la Seudre.

Les réunir dans une même étude est donc logique si l'on considère le milieu littoral récepteur mais l'on verra que ce rapprochement permettra souvent de mettre en avant des spécificités importantes qui montrent que la notion de débit biologique sera avant tout une question à régler au cas par cas.



Carte 2 Emprise des deux estuaires et des zones d'estran

Citons dès cette introduction géographique, l'influence majeure des apports de la Gironde (Garonne + Dordogne) sur les dynamiques sédimentaire et qualitative de la mer des pertuis. Pour information, le bassin versant de l'estuaire de la Gironde est de 82 252 km² et le module de 1040 m³/s soit 33 milliards de m³/an (source « SAGE estuaire de la Gironde et milieux associés »). Cela représente près de 12 fois le débit cumulé de la Charente et de la Seudre. Or la courantologie océanique et littorale favorise des

échanges très importants entre le panache de l'estuaire de la Gironde et la mer des pertuis. Cette situation a conduit le conseil scientifique à considérer que « **la qualité de l'eau de la mer des pertuis ne pouvait pas être reliée aux seuls débits fluviaux Charente-Seudre mais que cette qualité pouvait être considérée comme une condition aval qui s'impose aux estuaires.** » Ce considérant, très important pour la suite des analyses, n'occulte pas l'impact local des apports fluviaux des deux estuaires de la Charente et de la Seudre.

Le fleuve principal ne doit pas non plus masquer le rôle des autres affluents de chaque estuaire. On pense en particulier à la Boutonne pour l'estuaire de la Charente, même si le barrage de Carillon tout proche du confluent constitue à nouveau une frontière physique et bien d'autres affluents débouchent dans cet espace. Pour la Seudre c'est tout un réseau de marais qui se déversent au travers de chenaux le plus souvent aménagés et gérés.

En plus de cette histoire récente, marquée par les aménagements humains, des dynamiques plus longues modifient en permanence ce littoral et ces estuaires. Le comblement des marais et du chenal de Brouage en sont un bon exemple. S'il est souvent difficile de faire la part de l'Homme et de la nature, il semble important de considérer cette dynamique d'un espace sans cesse reconstruit ; D'autant plus que les changements climatiques auront des conséquences hydrologiques marines et continentales potentiellement fortes.

2.1.3 Une emprise géographique limitée par des ouvrages hydrauliques

2.1.3.1 Limites amont

L'emprise géographique de ces estuaires est elle-même largement impactée par la présence d'ouvrages qui limitent très souvent l'influence des marées vers l'amont. Ainsi, pour la Charente, la limite amont de l'estuaire considérée dans cette étude en 2021 est arrêtée au niveau de l'ouvrage de Saint Savinien. Ce n'est donc pas l'entièreté de l'estuaire naturel puisque la marée dynamique s'observe encore jusqu'en amont de Saintes (Pont de Beillant). Pour la Seudre, c'est l'écluse de Saujon qui marque la fin actuelle de l'estuaire, mais l'impact hydraulique potentiel remonte certainement jusqu'à Corme Ecluse.

	Longueur de l'estuaire en 2021	Surface en km ²
Charente/Boutonne	Aval barrage de Saint Savinien 47 km	9
Seudre	Aval Ecluse de Saujon 22 km	7

2.1.3.2 Cartographie des obstacles aux connexions latérales

Beaucoup des fonctions écologiques importantes des estuaires tiennent aux connexions latérales avec des marais littoraux ou des émissaires plus ou moins importants. Ces fonctions peuvent être liées à des effets temporaires (période de débordement et fonction de dépollution) ou durable (réduction des espaces intertidaux et de l'amortissement hydraulique, fermeture de voie de migrations, de zones d'habitat piscicole nourricier et repos, frayères). En première approche les deux estuaires semblent bénéficier d'un contexte plutôt favorable car peu urbanisé. Néanmoins, sur la Seudre la Saliculture puis l'ostréiculture ont totalement modelé le fonctionnement hydrodynamique des marges estuariennes (Schorre).

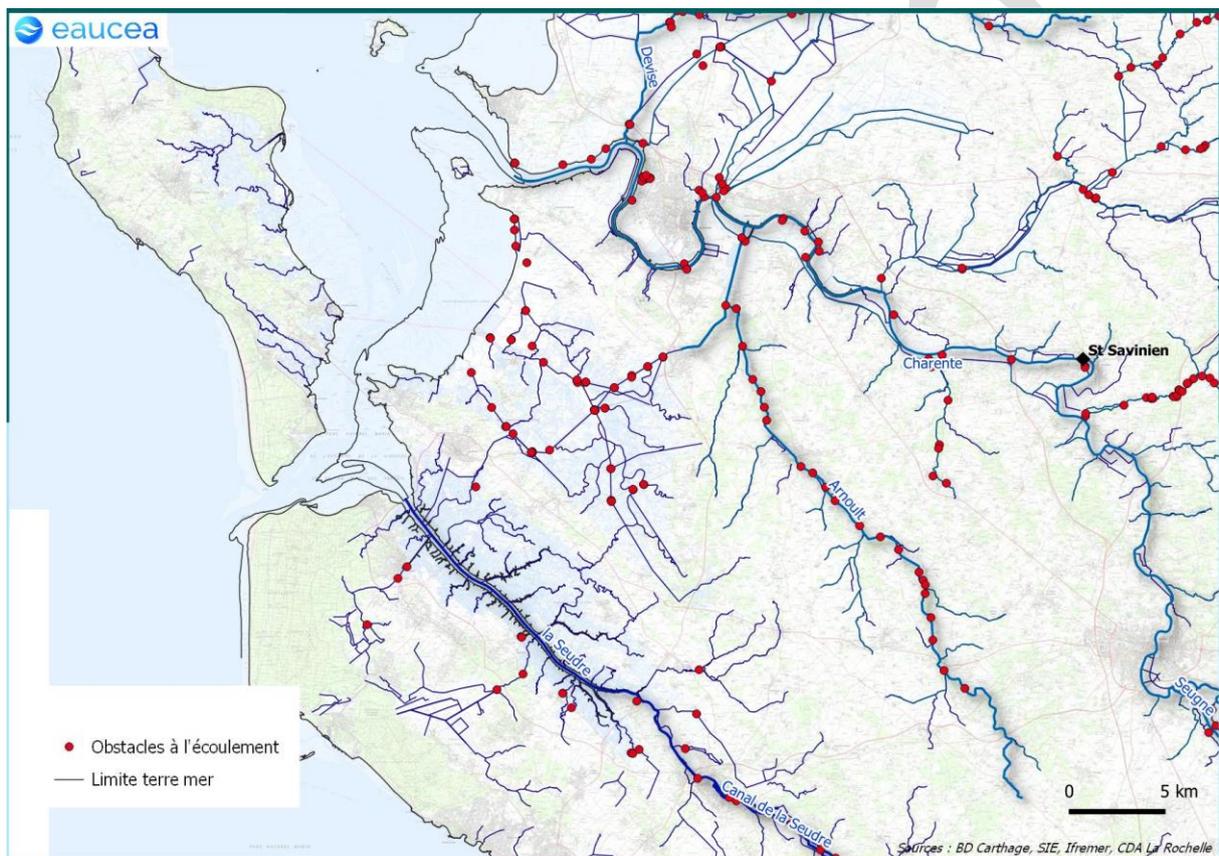


Figure 4 Cartographie provisoire des obstacles à la continuité

Sur la Charente, il n'y a pas réellement d'endiguement sur le secteur entre Tonnay-Charente et Saint Savinien. Sur ce secteur amont de l'estuaire, la Charente bénéficie donc d'un espace d'expansion latérale dans les secteurs de marais favorables aux écosystèmes et qui n'a guère bougé depuis le XVIII^{ème} siècle. Plusieurs petits cours d'eau se jettent dans ce tronçon et offrent ainsi des habitats potentiels connectés à l'estuaire.

Sur la Seudre, les salines puis des claires ostréicoles constituent un maillage très complexe et depuis au moins le XVIII^{ème} occupent tous les schorres et structurent largement la circulation des eaux salées, les débordements restants exceptionnels. Cependant, plus de 3000 ha ont aussi évolué vers l'activité de pêche en fossés. Composés aux deux tiers de prairies et d'un tiers d'eau, ces « fossés à poissons » représentent près de 1000 ha de plans d'eau. Directement connectés à la mer via un unique ouvrage, ils représentent des habitats propices à l'anguille (source : cellule migrants)

Les obstacles peuvent être des digues ou des ouvrages de régulation hydraulique et de la salinité (barrage, porte à flot).

Cette cartographie des obstacles permet de limiter géographiquement le domaine d'influence actuel des débits fluviaux et donc la zone d'étude (cf Cahier des charges)

- ⇒ Charente en aval de Saint Savinien
- ⇒ Boutonne en aval de Carillon
- ⇒ Arnoult en aval de Biard
- ⇒ Seudre en aval de Saujon

2.1.3.3 Les marais, un système en interaction avec les estuaires

La gestion hydraulique des marais et en particulier ceux de Rochefort sud est largement dépendante de transfert hydraulique (eau salée) depuis ou vers l'estuaire de la Charente. Le système Arnoult, prise de Biard et canal Charente-Seudre est exportateur d'eau douce vers l'estuaire en période de hautes eaux et au contraire importateur en période d'étiage.

Le réseau de canaux est constitutif d'un système de drainage ou d'alimentation en eau des marais et structure des habitats de hautes valeurs environnementales avec des sites classés Natura 2000. Les débits de réalimentation réduiraient l'eutrophisation. Un indicateur trophique permet d'approcher certains mécanismes spécifiques des marais. Ces suivis confirment qu'une salinité de 5.3 g/L constitue un seuil critique. La gestion des zones submersibles et de l'envasement des havres contribue aussi aux décisions de gestion hydraulique, d'entretien et d'aménagement des marais ce qui rend très complexe le projet territorial en cours de déploiement indépendamment de l'étude des débits biologiques estuariens.

Pour les marais de la Seudre qui constituent un environnement indissociable du système estuarien, la connaissance des flux d'eau douce est aujourd'hui insuffisante et les interactions entre marais doux et marais salés méritent encore des expertises. La connectivité écologique avec l'estuaire apparaît cependant très importante pour l'écosystème.

En conséquence, la gestion des marais est en interaction avec leur estuaire et participe indirectement de la question des débits écologiques. Pour les marais de Rochefort nord et sud cette relation est plus forte car leur équilibre écologique actuel dépend des règles de partage de la ressource en eau douce. Pour les marais de Seudre, qui représentent près de la moitié du bassin versant de l'estuaire de la Seudre, on relève un déficit de connaissance du fonctionnement hydrologique. Bien que non centrale dans le projet de débit écologique estuarien, la gestion des marais doit donc être prise en compte.

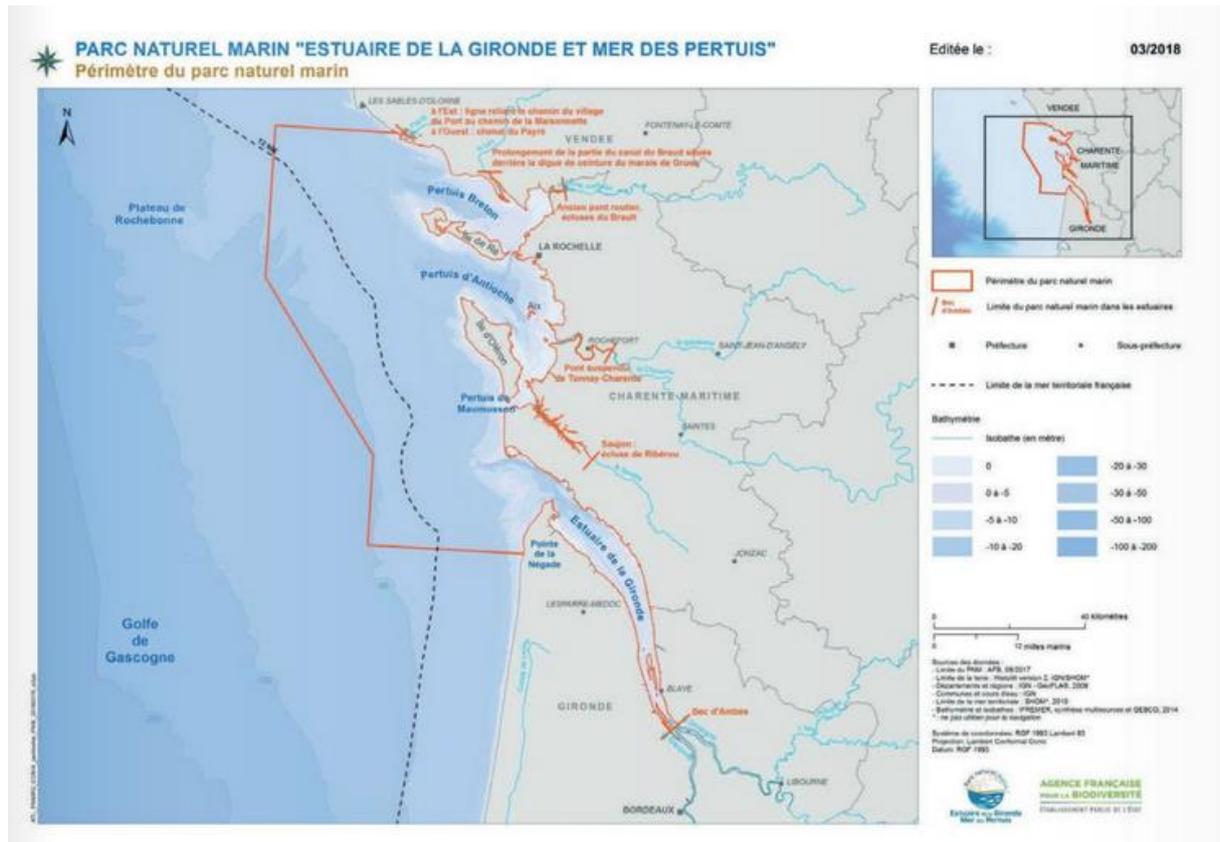
2.1.4 Limites administratives

Les limites administratives sont parfois assez complexes dans le domaine estuarien, car elles concernent différentes réglementations : navigation, pêche. Une cartographie précise de ces éléments a été réalisée par le CD17 pour la Charente.

La limite du DPM est fixée par le décret n°59-951 du 31/07/1959, paru au Journal Officiel du 05/08/1959. Cette limite se situe en regard des premiers ouvrages transversaux des chenaux tributaires de l'estuaire.

Relevons que comme l'estuaire de la Charente, l'estuaire de la Seudre est intégralement classé en masse d'eau de transition.

Notons enfin, que la limite amont du Parc naturel marin estuaire de la Gironde et mer des pertuis s'arrête à l'écluse de Ribérou à Saujon sur la Seudre et au pont suspendu de Tonnay-sur-Charente sur la Charente.



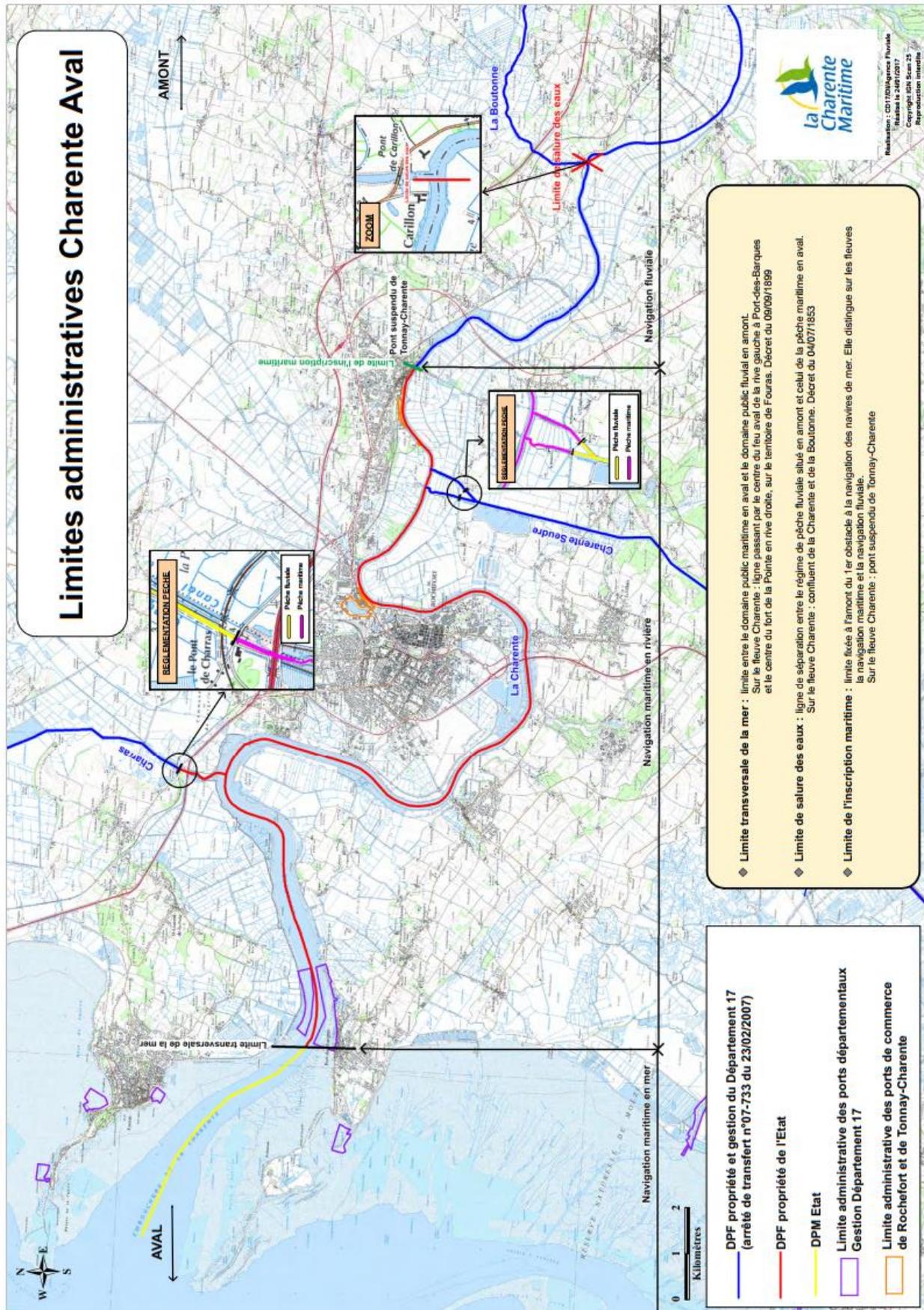


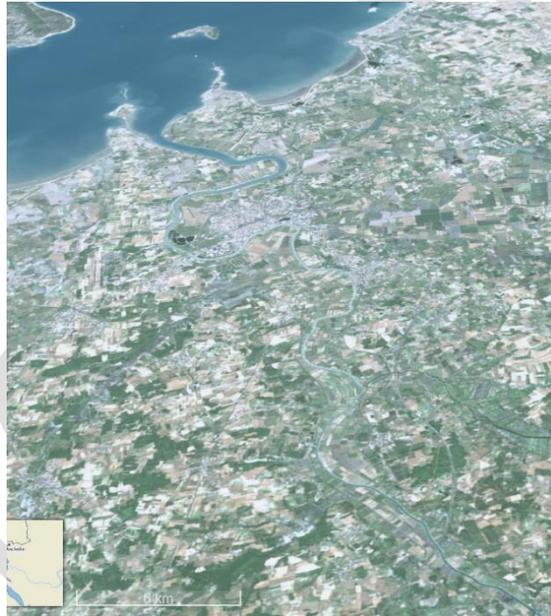
Figure 5 limites administratives sur la Charente

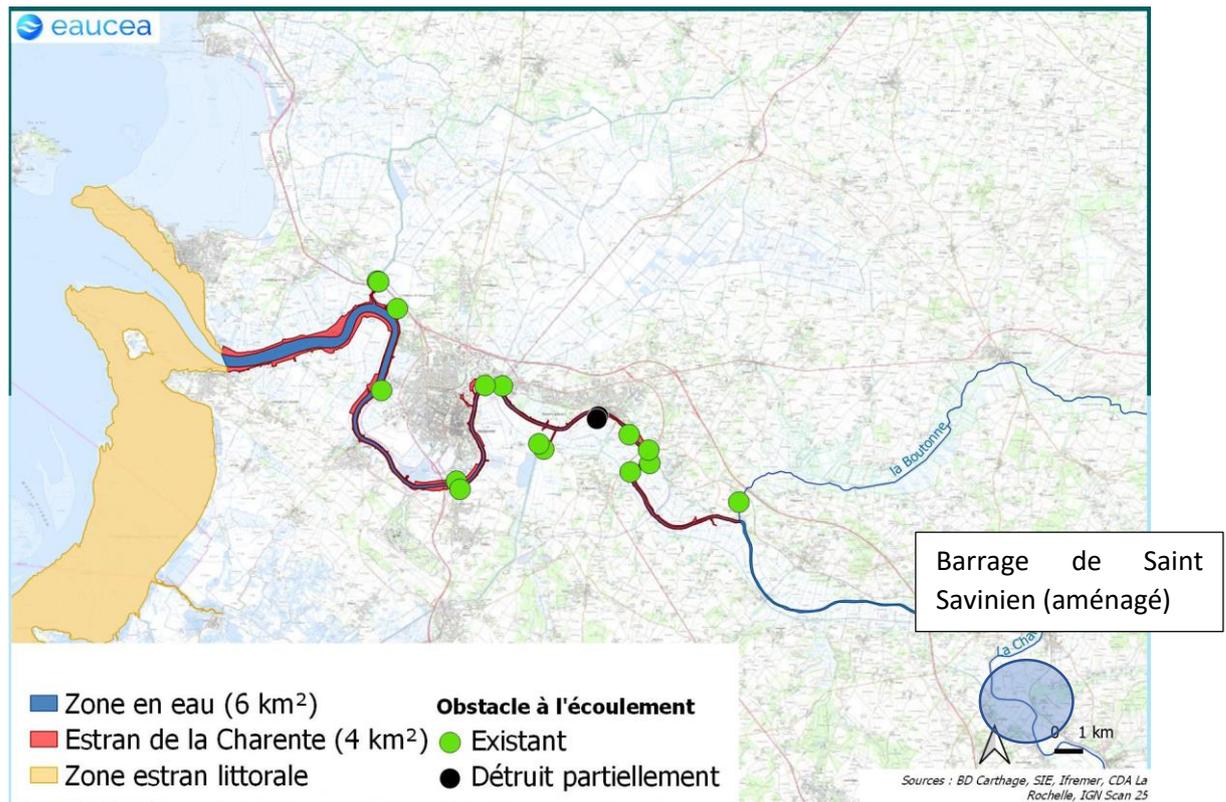
2.1.4.1 La Charente

L'estuaire est relativement circonscrit dans ses limites latérales et se caractérise par l'importance du domaine faisant transition entre l'océan et le domaine fluvial de la Charente. Le système d'endiguement est en limite du lit mineur estuarien sur la majorité du linéaire en aval de Rochefort et jusqu'à l'embouchure.

D'autre part ce secteur présente un méandrage important, expliquant notamment le positionnement de la ville de Rochefort.

Pour la Charente et la Boutonne, les barrages de Saint Savinien et de Carillon ont partiellement amputé le domaine fluvio estuarien d'une zone amont naturellement soumise à la remontée de la marée dynamique qui s'étend pour la Charente jusqu'à la Seugne environ et pour la Boutonne jusqu'à l'Houmée-sur-Boutonne. Sur la Charente, la gestion de l'ouvrage ménage des périodes d'ouvertures des vannes et donc de transparence hydraulique pour les coefficients de marée les plus élevés. L'aménagement récent d'une passe à poissons améliore la continuité écologique de cet ouvrage avec une efficacité en cours d'évaluation.



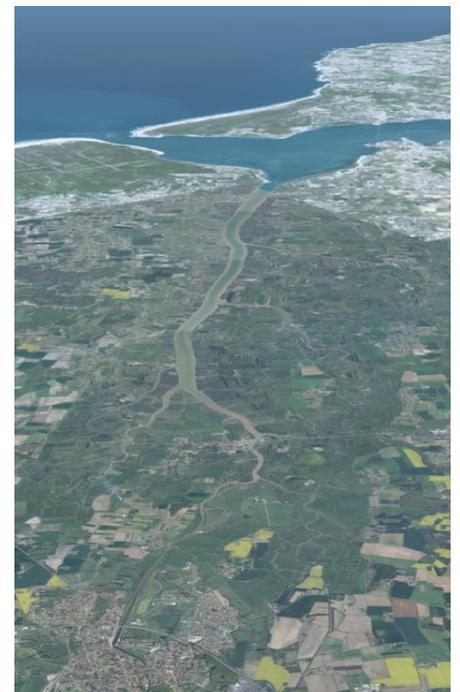


2.1.4.2 La Seudre

Pour la Seudre le chenal est très homogène en largeur jusqu'à la séparation bifide de l'amont de l'estuaire à l'Eguille. Les connexions aux marais salés et au réseau hydrographique sont très nombreuses via des chenaux dits ostréicoles. Chacun d'eux, se comporte comme un mini système hydrographique avec son bassin versant (majoritairement en marais) et sa « zone estuarienne » débouchant sur la Seudre. Les échanges avec ces micro-bassins versant latéraux sont le plus souvent contrôlés par des ouvrages hydrauliques. La question des continuités écologiques constitue sans aucun doute un élément déterminant de la productivité biologique de l'estuaire.

Avant le XVII^e siècle le marais de la Seudre présentait de très vastes schorres, avant d'être occupés par les claires.¹

Aujourd'hui, les levées de terre traditionnelles (les « taillées ») accompagnent le réseau des chenaux pour protéger les marais du marnage.



¹Fernand Verger 2005 Source Marais et estuaire du littoral français p 152.

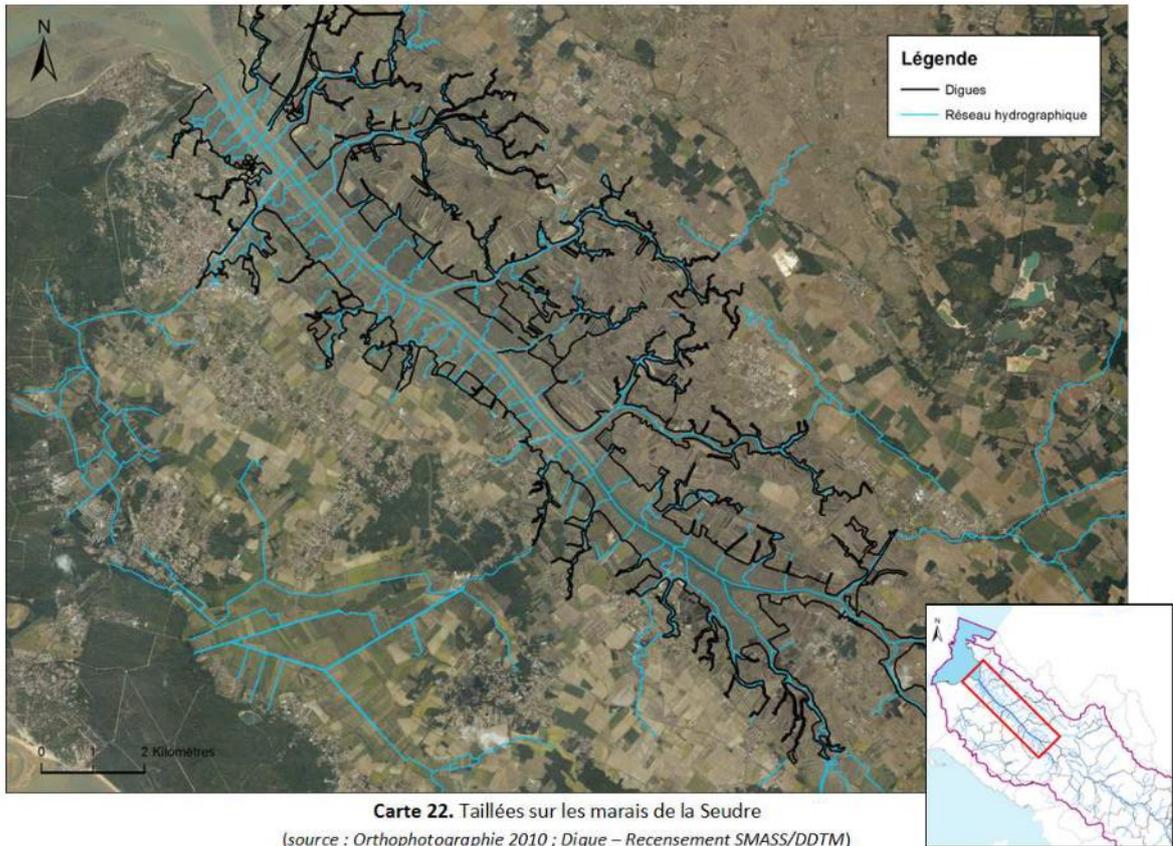
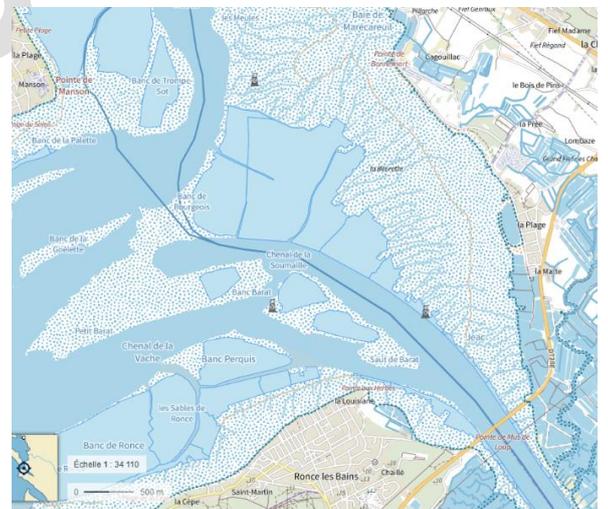
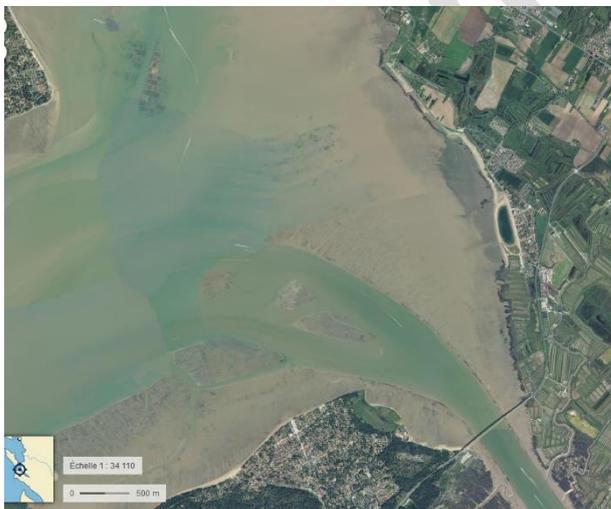
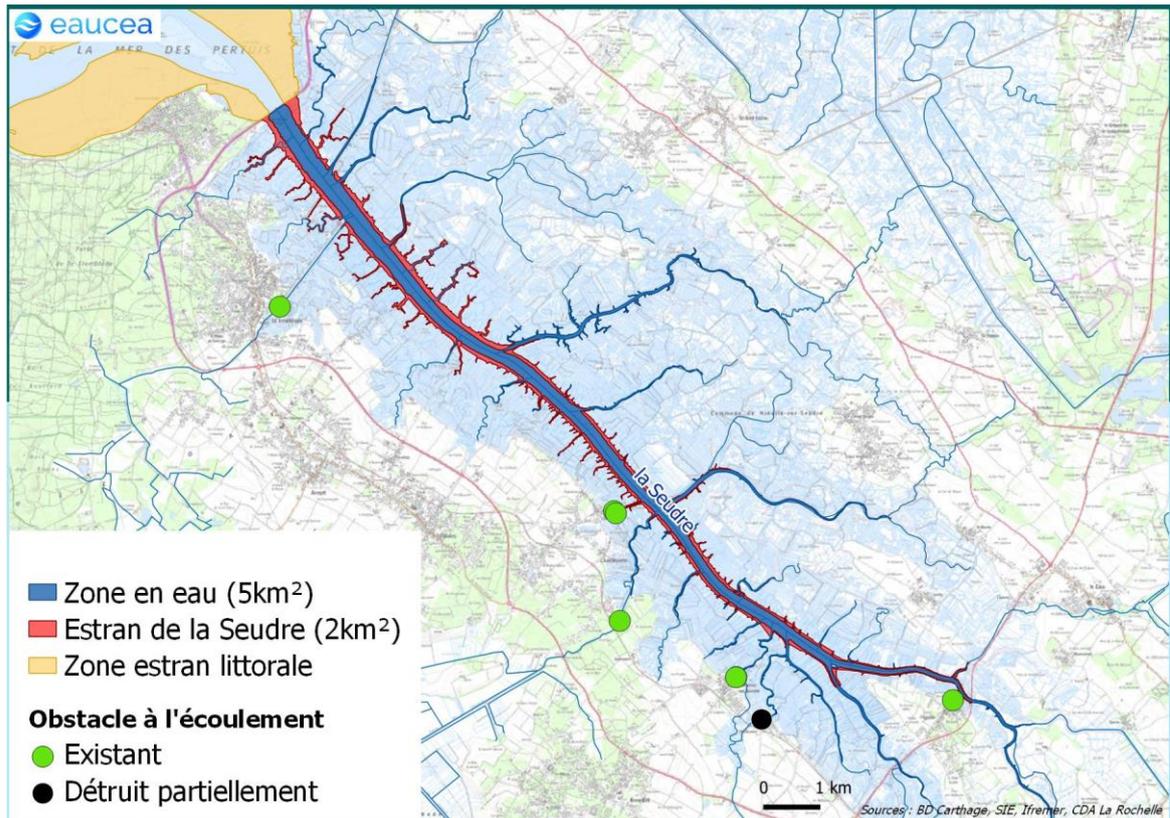


Figure 6 Le réseau des « taillées » de la Seudre. Source PAPI d'intention Seudre 2013

En revanche compte tenu des faibles apports hydrologiques de la Seudre, l'estuaire serait plutôt assimilable à une baie avec un domaine fluvio estuarien très court voir absent (de l'Eguille à Saujon ?). La remontée de la marée dynamique est aujourd'hui bloquée par l'écluse de Saujon ; naturellement elle atteindrait probablement Corme Ecluse.



L'embouchure de la Seudre est très large et se connecte en aval maritime au chenal de la Garrigue puis vers le pertuis de Maumusson.

2.2 Hydrologie

2.2.1 Les bassins versants estuariens

Même si les deux bassins versants présentent des similarités (climat et géologie dominante), et relativement proche en termes de longueur ils sont cependant très différents par la taille du bassin versant et donc des débits d'eau douce. Les gradients de salinités sur l'amont des estuaires traduisent bien cette différence majeure.

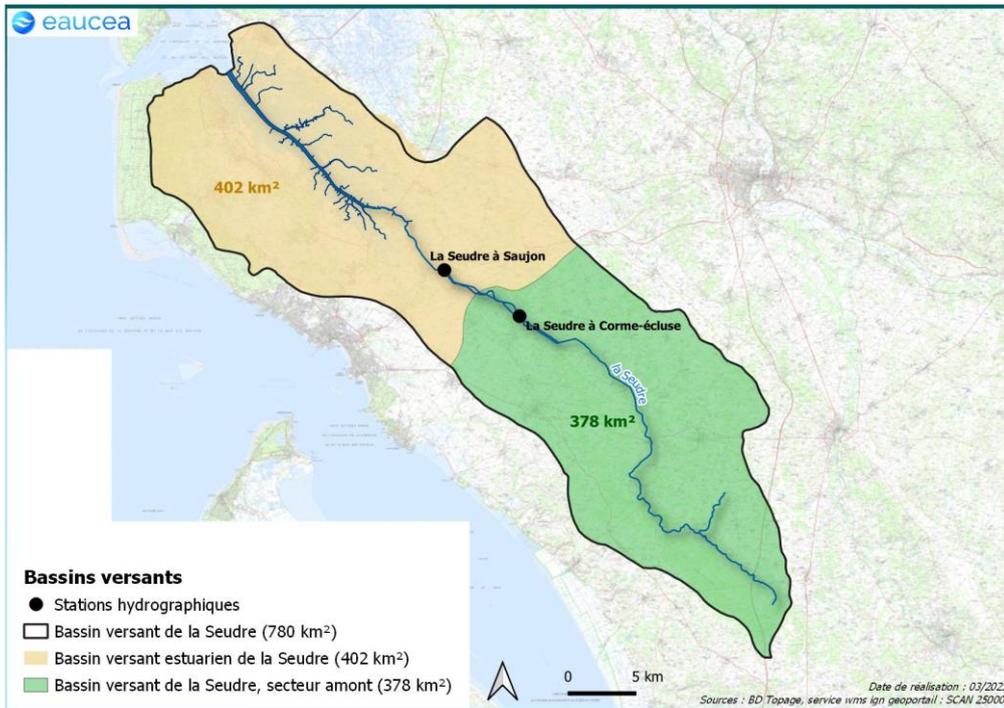
Sur la Charente, le régime hydrologique joue un rôle important sur l'évolution saisonnière des gradients de salinité amont aval avec le maintien d'une zone oligohaline y compris en période d'étiage normal. En période de crue, ce domaine peut s'étendre jusqu'à l'embouchure.

En comparaison, le fonctionnement de l'estuaire de la Seudre est plus proche d'une baie que d'un estuaire fluvial sauf en situation de crue. Le bassin versant direct estuarien (en aval de Saujon) représente environ la moitié du bassin versant total à l'embouchure. Pour de simples règles de proportionnalité, ce bassin versant majoritairement constitué de marais, joue donc un rôle hydrologique beaucoup plus déterminant sur la Seudre que sur la Charente.

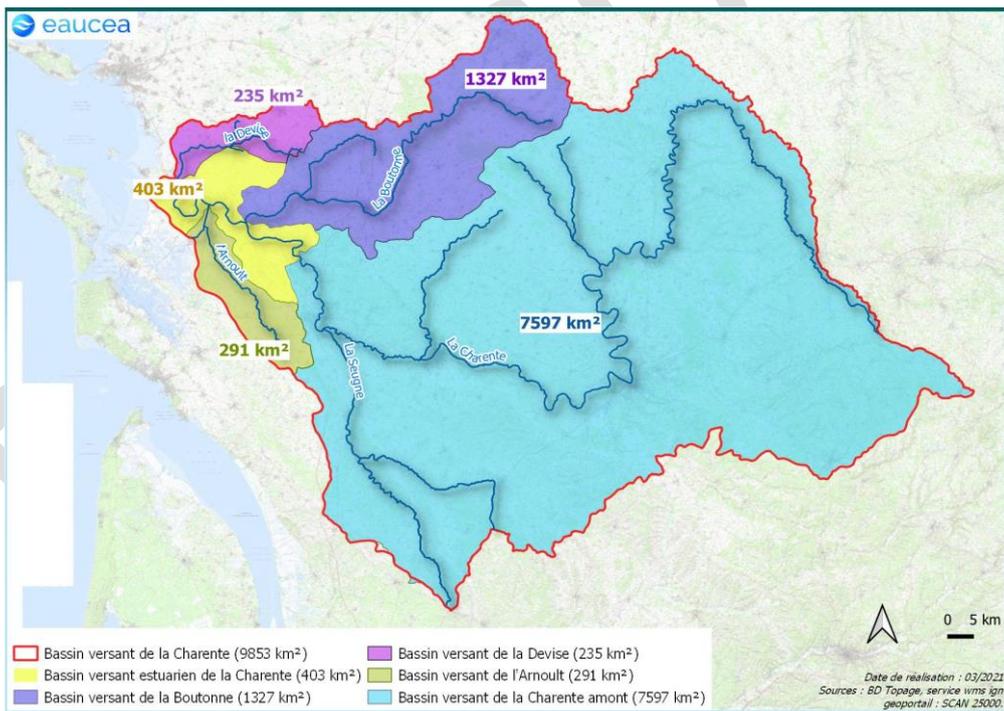
Sur l'estuaire de la Charente les principaux sous bassins versants fluviaux significatifs sont la Charente, la Boutonne, L'Arnoult et la Devise.

	Longueur de l'estuaire en 2021	Bassins versants directs estuariens	Bassins fluviaux
Charente	Aval barrage de Saint Savinien	4%	96% (90 m ³ /s module) Débits hautes eaux (10 % du temps) = 200 m ³ /s
Seudre	Aval Ecluse de Saujon	51%	49% (1,48 m ³ /s module) Débits hautes eaux (10 % du temps) = 3,8 m ³ /s

Tableau 1 Ordre de grandeurs hydrographiques et hydrologiques



Carte 3 Le bassin versant continental et estuarien de la Seudre

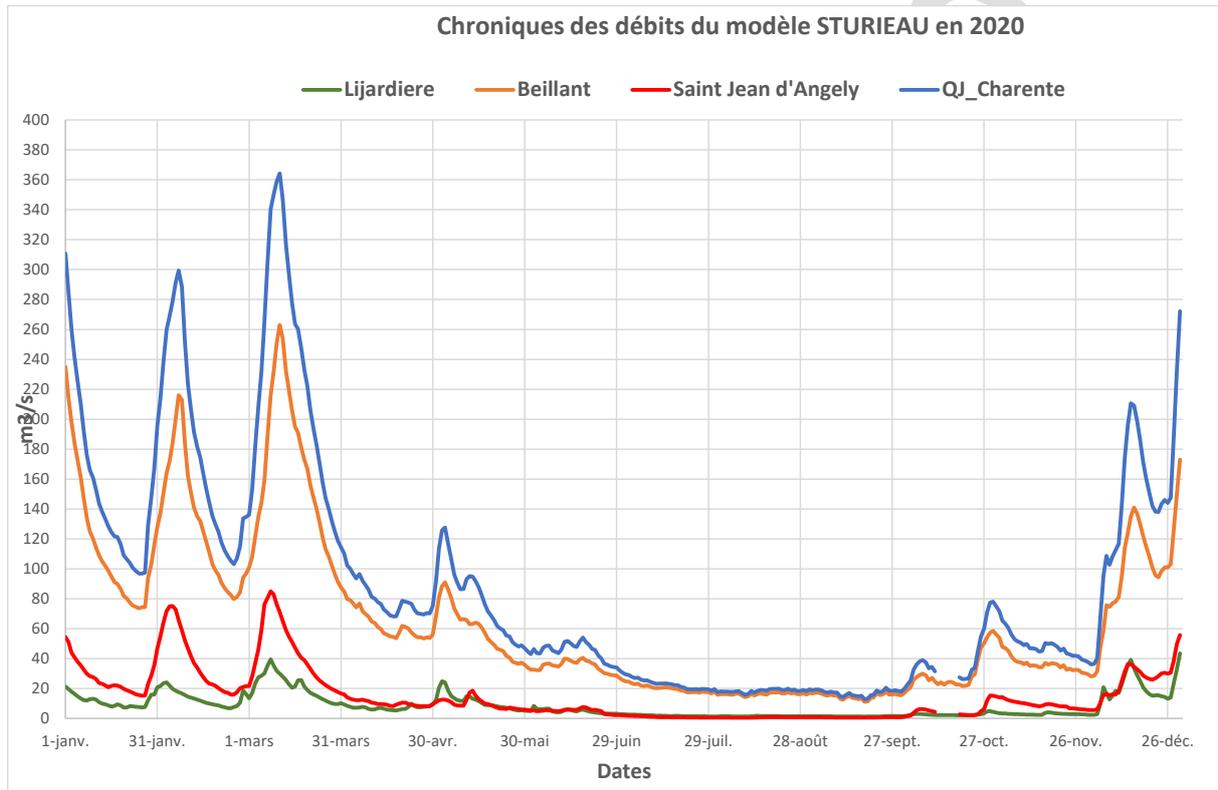


Carte 4 Les bassins versants continentaux et estuarien de la Charente

2.2.2 Régime des eaux douces

2.2.2.1 Régime annuel

Le régime des eaux peut être approché au travers des hydrogrammes soit issus de mesures (station de Corme Ecluse pour la Seudre) soit d'un cumul de stations (estuaire de la Charente = Seugne + Boutonne + Charente). Dans ce dernier cas les exports et entrées d'eau en aval des stations de mesures ne sont pas pris en compte (exemple canal de l'Unima, prise d'eau potable de Coulonges, prise du canal Charente Seudre, débit de l'Arnoult, de la Trézence, etc.). En conséquence les débits de très basses eaux sont peu fiables. La période disponible est limitée par la station la moins disponible, soit la période 2006 à 2020.



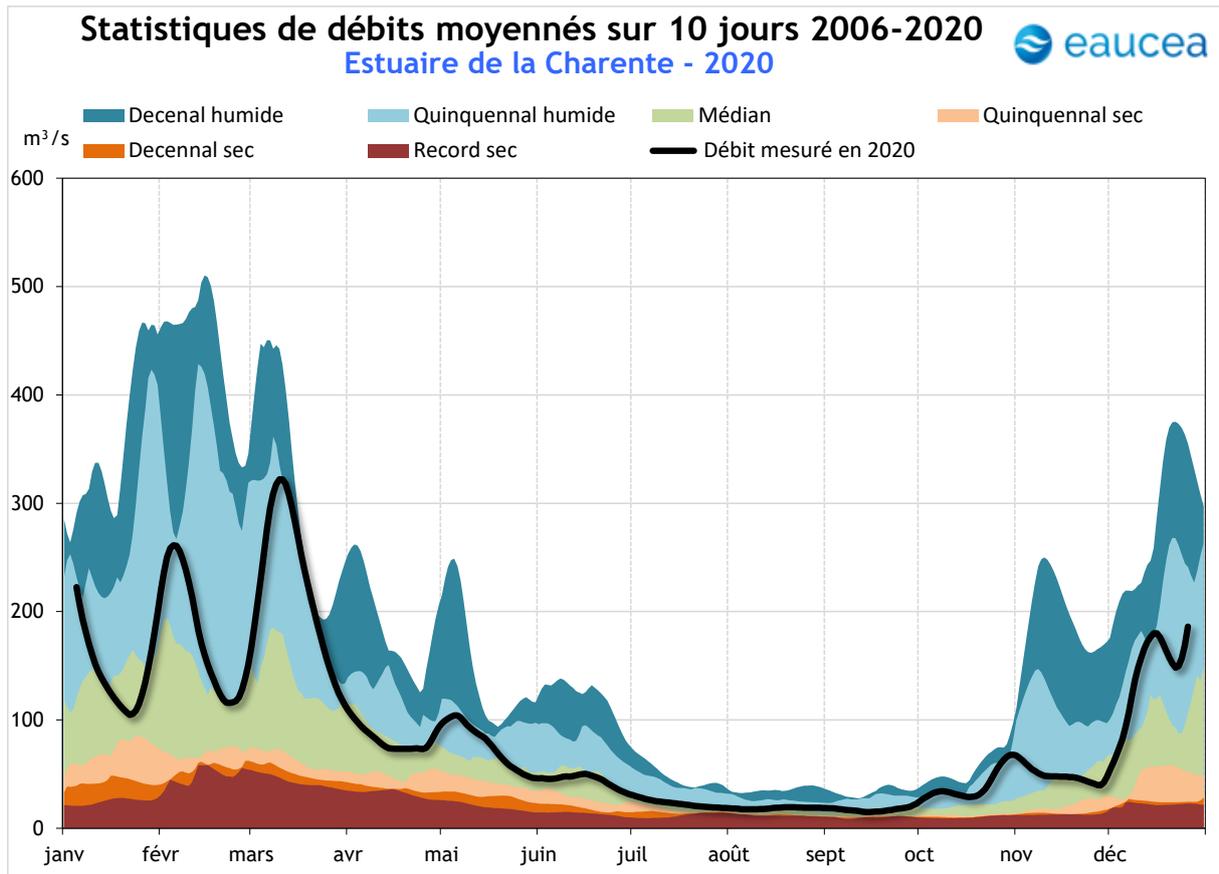


Figure 7 Hydrogramme statistique reconstitué et approximé des débits entrants dans l'estuaire de la Charente 2006/2020

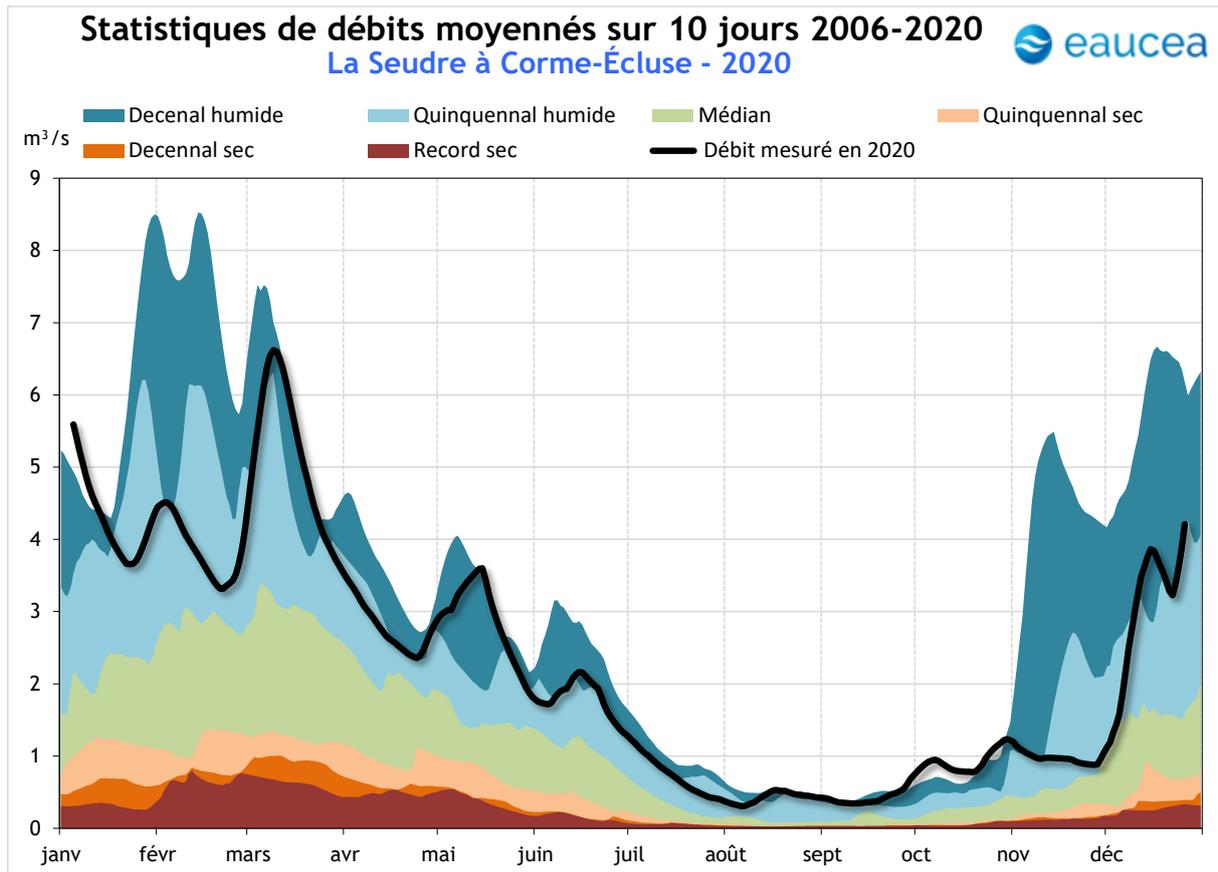


Figure 8 Hydrogramme statistique des débits de la Seudre à Corme Ecluse 2006/2020

Dans les deux estuaires, le régime hydrologique est clairement pluvial avec un maximum hivernal et un minimum estival. Pour les deux fleuves, le compartiment souterrain joue un rôle déterminant en amortissant les extrêmes. La pression hydrologique est cependant très significative notamment en étiage avec les prélèvements d'irrigation qui sont très importants relativement aux débits naturels minimaux. Sur la Seudre, le débit pompé d'irrigation est estimé à 2 m³/s en pointe mais majoritairement en nappe. L'impact est donc reporté sur l'ensemble du cycle hydrologique.

Sur la Charente le soutien d'étiage depuis les retenues de Lavaud et Mas-Chaban atténue en partie cet impact des prélèvements directs en rivière. Là encore, les prélèvements dans les aquifères sédimentaires très importants, comme le karst de la Rochefoucauld, favorisent un transfert de la pression estivale sur une période plus longue de l'année.

2.2.2.2 Valeurs d'étiage naturel

Dans les deux cas les étiages sont sévères à très sévères.

2.2.2.2.1 Charente

Sur la Charente, en s'appuyant sur les approximations précédentes, l'ordre de grandeur du débit moyen mensuel d'étiage quinquennal mesuré serait de 12 m³/s avant les prélèvements de l'UNIMA, de l'usine de Coulonge et de l'irrigation dans le plan d'eau soit entre -3 et -4 m³/s en pointe. Le débit d'étiage arrivant donc à l'estuaire en année quinquennale sèche peut être estimé à 8 m³/s. Parfois ce débit a pu descendre beaucoup plus bas.

Lors de l'étude d'impact du barrage de Saint Savinien les valeurs suivantes étaient proposées.

Débits reconstitués (m ³ /s) Période 1980 - 2007	Naturels		Historiques	
	VCN ₁₀ 1/5	VCN ₃₀ 1/5	VCN ₁₀ 1/5	VCN ₃₀ 1/5
Au barrage de Saint Savinien	14,5	15,5	7,7	9

Sur la Boutonne, les apports ont été réévalué dans le cadre de l'étude des Débits biologiques (Eaucéa – 2021). Les valeurs proposées pour les débits naturels seraient les suivantes :

La Boutonne [[total]] à Saint-Jean-d'Angély

Série GR4J 2001-2020	Galton		
m ³ /s	Médian	Quinquennal	Décennal
VCN10	0.580	0.460	0.407
VCN30	0.646	0.494	0.429
QMNA	0.685	0.508	0.434

La Trézence à Puyrolland [Tournay]

Série GR4J 2001-2020	Galton		
m ³ /s	Médian	Quinquennal	Décennal
VCN10	0.023	0.018	0.015
VCN30	0.026	0.019	0.016
QMNA	0.029	0.020	0.016

En valeur quinquennale, l'addition des trois stations naturalisées donnerait pour les étiages de type VCN30 quinquennaux un ordre de grandeur de 16 m³/s.

2.2.2.2.2 Seudre

L'histogramme des débits moyens mensuels montre un minimum atteint d'août à octobre avec environ 500 L/s sur cette période.

La reconstitution des débits naturels issus du modèle BRGM met en évidence sur l'axe Seudre un impact des prélèvements (tous usages confondus) variable au cours de l'année et qui peut atteindre près de 45 % du débit naturel du cours d'eau en période d'étiage à Saujon. Ce point considéré comme le plus en aval de la Seudre avant l'estuaire est donc particulièrement intéressant. Le régime estival dominant serait donc de l'ordre de 500L/s.

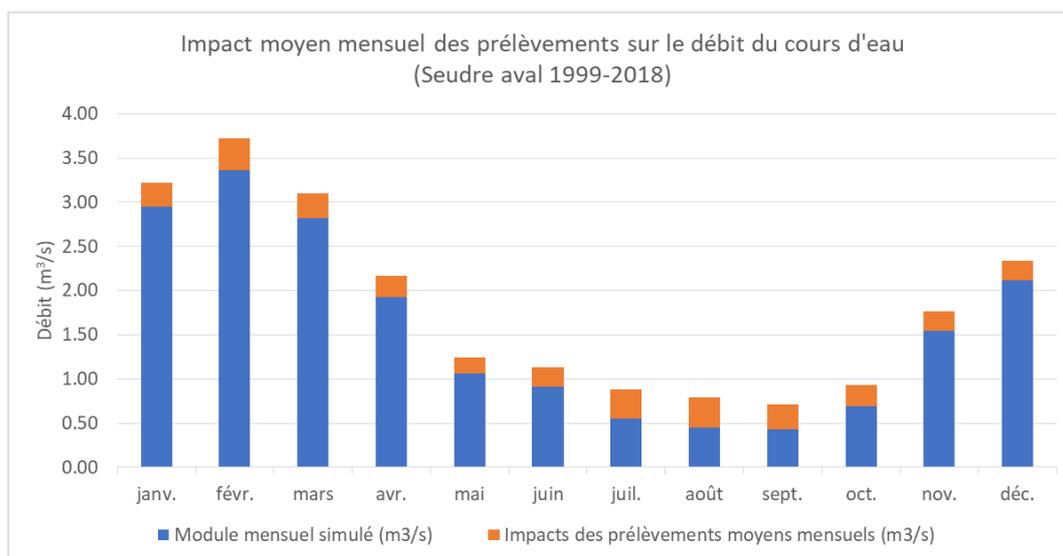


Figure 9 : Impact des prélèvements sur le débit de la Seudre aval au niveau de Saujon (données brutes BRGM)

Si l'on analyse les débits statistiques d'étiage, les valeurs observées à Corme écluse sur la période 1999-2021 sont pour le QMNA de l'ordre de 100 L/s en moyenne et de 50 L/s en période sèche.

Basses eaux (loi de Galton)

	Médiane		Quinquennal sec	
	m³/s	l/s/km²	m³/s	l/s/km²
VCN3				
VCN10	0.09	0.19	0.04	0.09
QMNA	0.11	0.26	0.05	0.12

2.3 Bathymétries et hydrauliques

2.3.1 Sources des données

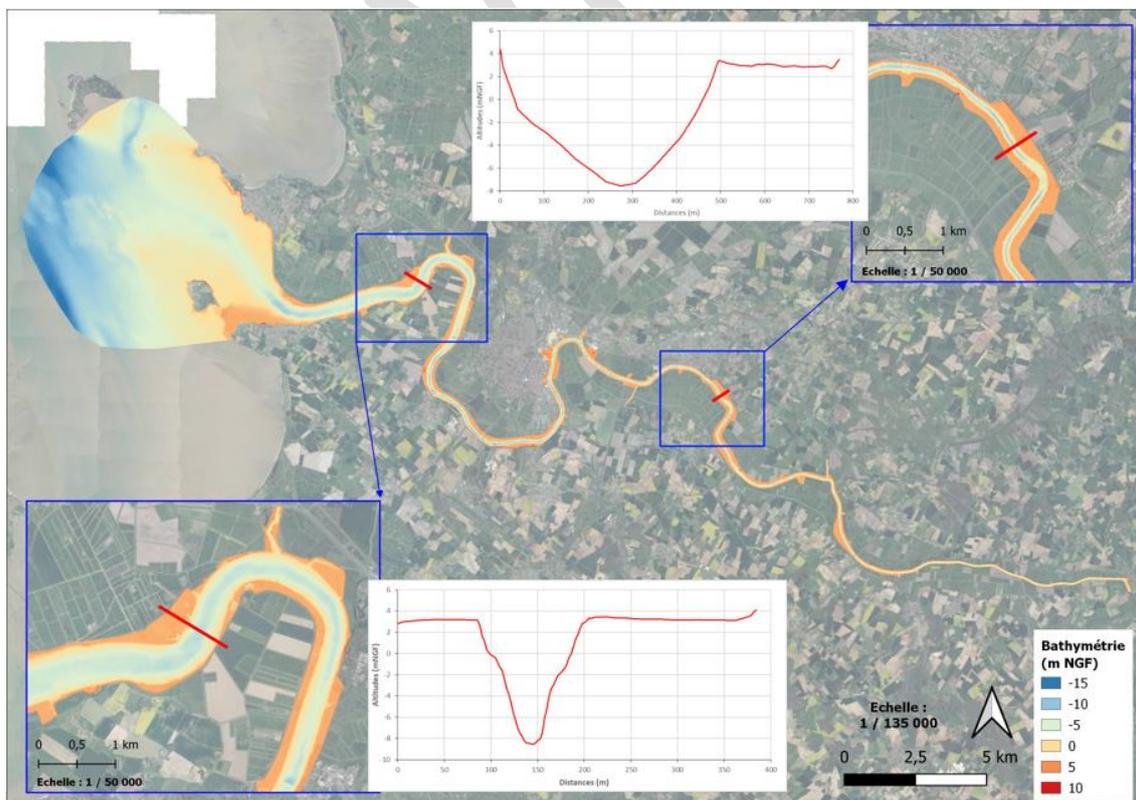
Les données initiales fournies ou mobilisées sont les suivantes :

Donnée	CHARENTE	SEUDRE
Topographie Bathymétrie	- Bathymétrie SHOM sur les Pertuis Charentais (2015, résolution 20 m) - Homonim	
	- Bathymétrie BMOL L2E Pertuis Charentais et Charente aval à St-Savinien (Résolution 10 m, inconnu)	- Bathymétrie Ifremer estuaire de la Seudre
	- Lidar EPTB bassin de la Charente (2006-2010)	
	- Des données de bathymétrie complémentaire et actualisée seront transmises ultérieurement par le	

	Département 17 pour le secteur amont de l'estuaire de la Charente	
Données modélisations	- Modèle Télémac 2D Artelia + rapport de modélisation - Thèse F. Toublanc : <i>Hydrodynamique et dynamique des sédiments fins dans l'estuaire de la Charente</i>	
		- Modèle 1D mascaret
Données marégraphiques	- Marégraphes SHOM : Rochefort (Ch), Il d'Aix, Bourcefranc, Pond de la Seudre (Se) - Publication F. Toublanc et al : <i>Inversion de l'asymétrie de la marée, sur un cycle morte-eau vive-eau, dans l'estuaire de la Charente (France)</i>	
Données hydrologiques	- Calage : Débits banque hydro - Exploitation : débits à définir	
Obstacles aux écoulements	- Position des obstacles aux écoulements Charente et Seudre - Position des obstacles connexions latérales et longitudinales	

2.3.2 Le chenal de la Charente

La profondeur du chenal est moins importante et dépasse rarement 10 m. Le chenal est beaucoup plus évasé que celui de la Seudre. Même si la surface régulièrement découverte est importante par rapport au chenal toujours en eaux, ce profil est plus favorable à l'existence d'un domaine de faible profondeur et donc plus diversifié en termes d'habitat que la Seudre.

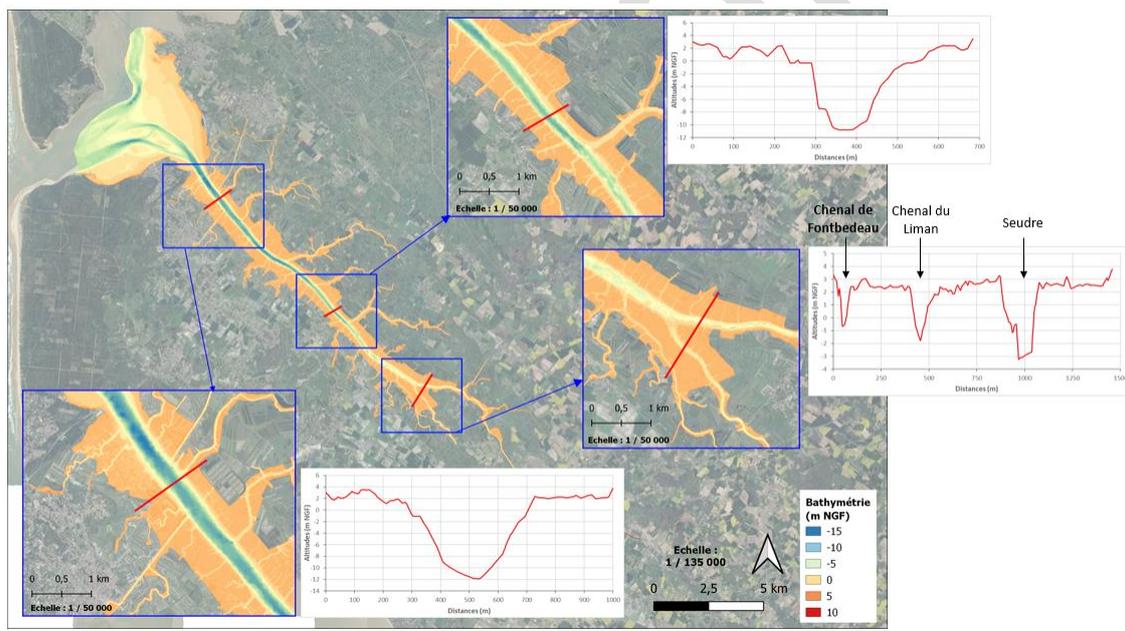


2.3.3 Le chenal de la Seudre

La profondeur du chenal est très importante et dépasse souvent 10 mètres. Cette configuration en « canyon » peut jouer un rôle important sur la disponibilité des habitats de faibles profondeurs dont le rôle écologique est important notamment vis-à-vis des stades jeunes de la faune piscicole et donc du recrutement. L'estuaire de la Seudre possède un profil bathymétrique limitant son potentiel d'accueil pour l'ichtyofaune : de chaque côté de l'estuaire, les bordures sont faiblement profondes sur les premiers mètres puis une cassure verticale apparaît. Au niveau de cette cassure, la profondeur passe instantanément à une dizaine voire une douzaine de mètres et le fond devient plat. Ce profil est peu favorable à l'ichtyofaune, les secteurs aussi profonds étant pauvres en densité de poissons (densité en poisson 10 à 15 fois moins fortes à ce type de profondeurs qu'à 3/4 m de fond, juvéniles présents dans les secteurs très faiblement profonds, ...).

L'estran apparaît donc très vaste par rapport au chenal permanent ce qui constituera une spécificité forte de cet estuaire.

Le second point est l'emprise importante des chenaux latéraux qui peuvent se prolonger loin à l'intérieur des marais. Cette dimension géographique qui s'explique par l'aménagement humain devra donc être prise en compte dans l'analyse du fonctionnement de cet estuaire.



2.4 Fonctionnement hydraulique et sédimentaire

2.4.1 Nécessité d'un modèle hydraulique

L'enjeu des modèles hydrauliques est de permettre le couplage débits et marées pour prédire en tout point des estuaires les conditions physiques qui prévalent :

- Prédiction des conditions géométriques : profondeurs, zones découvertes ;

- Prédiction des conditions d'écoulement : vitesse et hétérogénéité entre surface et fond, condition de mélange ;
- Prédiction de la salinité ;
- Prédiction des conditions sédimentaires, l'emprise du bouchon vaseux.

2.4.1.1 La modélisation MARS 3D de la Charente

La Charente, a été modélisée avec le modèle Mars 3D par le LIENSs entre 2010 et 2013 jusqu'à l'Houmée. Les incidences hydrauliques et sédimentaires ont été largement étudiées dans la thèse de F. Toublanc. Ce travail très important pour décrire des mécanismes hydrosédimentaires constitue un socle pour l'analyse du fonctionnement de la Charente en aval de l'Houmée. Nous en présentons les principales hypothèses hydrauliques sur lesquels s'appuieront les travaux à venir.

Néanmoins, le modèle Mars 3D n'étant plus disponible, il a été convenu (COSUI avril 2021) de la nécessité de disposer d'un outil de description des conditions hydrauliques actualisable et susceptible de répondre aux attentes concernant les débits biologiques jusqu'à Saint Savinien, donc en amont de l'Houmée. D'autre part, un tel modèle n'existant pas sur la Seudre il a été convenu de déployer aussi un modèle hydrodynamique sur la Seudre.

Pour le LIENSs de nouvelles modélisations s'appuieront sur le couplage de modèle Mustang (sédimentaire) et Croco (hydrodynamique).

ANALYSE THESE F. Toublanc – MODELE MARS3D

Données :

- 2 maillages :
 - o 1 « lâche » de résolution 100 m qui permet de fixer les conditions aux limites du second. Calcul en 2D
 - o 1 « fin » de résolution 30 m. Calcul en 3D
- Bathymétrie :
 - o Sondages 2003-2010
 - o Emprise stoppée au pont de l'Houmée. Complétée par canal de 2 mailles de large jusqu'à St Savinien
- Marée :
 - o Pour le maillage lâche : modèle CST-France du SHOM (115 constituants)
 - o Pour le maillage fin : niveaux d'eau calculés avec le maillage lâche
- Forçage atmosphérique
 - o Avant 2011 : ARPEGE
 - o A partir de 2011 : AROME
- Apports fluviaux :
 - o Débits journaliers issu des mesures du SPC
 - Seudre
 - Charente + Boutonne
 - o Apports en MES : 0,05 g/L sur la Charente

Calage du modèle :

- Hauteurs d'eau : marégraphes de l'île d'Aix et Rochefort + mesures ADCP à l'embouchure (port des barques) → friction variable
- Amplitude de marées par analyse harmonique. Analyse par ondelette non réalisée
- Vitesses de courant : comparaison mesures ADCP Port des barques. Sous-estimation des vitesses méridionales, bonne reproduction des vitesses longitudinales
- Salinité : comparaison aux mesures de l'embouchure et Rochefort

Sensibilité du modèle :

- Débit fluvial : reproduction des débits à St Savinien. Test de coef d'atténuation
- Longueur de rugosité :
 - o d'abord uniforme mais ne permettait pas d'obtenir les niveaux d'eau observés à Rochefort en basse mers notamment (constat confirmé dans la modélisation Eaucéa). Expliqué par les vases fluides non consolidées qui diminuent fortement la rugosité.
 - o Donc application d'une rugosité variable
- Sédimentaire : longueur de rugosité du sédiment fixée à 0,1 mm (différente de la longueur de rugosité hydrodynamique).

2.4.1.2 Modèle Telemac Estuaires Seudre et Charente

2.4.1.2.1 Intérêts et difficultés

Pour rappel la proposition initiale d'Eaucéa faisait l'hypothèse de la mise à disposition du modèle Mars 3D sur la Charente.

« Notre proposition méthodologique vise donc à organiser les données disponibles en s'appuyant au maximum sur les atouts offerts par les données déjà existantes. La modélisation estuarienne par Mars 3d constitue un atout majeur qu'il faut pouvoir exploiter. Un modèle hydrodynamique permet en effet de décrire les grands mécanismes en jeu dans le mélange des eaux et en particulier sur le plan de la dynamique sédimentaire. Nous considérons qu'il faut exploiter cet outil et les bases de données associées dans le cadre de cette étude. »

Malgré de nombreuses tentatives d'accéder à cet outil déjà calé, il est apparu que nous devrions y renoncer. IFREMER ayant confirmé que ce modèle était en fin de course, et qu'il ne semblait pas idéal de l'utiliser dans notre démarche qui a vocation à structurer les réflexions et actions sur le DB pour la décennie qui vient au moins.

C'est pourquoi Eaucéa a proposé de substituer ce modèle par la construction d'un autre modèle 3D (Télémac). La construction de cet outil est assez fastidieuse mais elle se justifie par les points suivants :

- Les deux estuaires ne peuvent se résumer à un seul point d'étude (l'écluse de Ribérou ou le barrage de Saint Savinien). Une analyse spatiale impose une modélisation au moins 2D.
- Les enjeux de salinité, essentiels dans cette étude, nécessite une prise en compte réaliste d'éventuels effets de densité (écoulement multiphasique). L'analyse 3D est la seule à pouvoir décrire ce type de mécanisme.
- L'avenir à moyen et long terme pour les deux maîtres d'ouvrage passera probablement par une meilleure maîtrise de l'hydraulique estuarienne. L'étude DB en est une première brique.

Un modèle Telemac 2D et 3D a donc été déployé dès cette étape sur chacun des 2 estuaires. Ils seront formellement calés et décrits dans leur détail dans un rapport spécifique dans le cadre de la tranche conditionnelle si elle est confirmée. Le travail d'ores et déjà réalisé est présenté ci-après.

La reconstitution des deux modèles hydrauliques est une opération plus lourde que prévu initialement puisque nous devons nous saisir d'au moins un modèle déjà calibré sur la Charente.

La complexité provient de la démultiplication des points d'injection des débits dans chacun des 2 estuaires et de la bathymétrie à actualiser éventuellement. Un premier document commenté le 12 mai 2021 par la maîtrise d'ouvrage² a permis de stabiliser l'hydrographie à prendre en compte et les éléments de topographie pertinents.

Le nombre de points de maillage horizontal et vertical est très important (cf. annexe) et induit des temps de calcul très long (plusieurs jours) même sur un serveur dédié à cette opération multiprocesseur en mode parallèle. Le maillage est finalisé au 28 mai 2021. Le modèle est globalement stabilisé en octobre 2021.

² 20210512_PJmailRQ_Note_Modélisation estuaires_SMBS_EPTB-1.pdf

Il reste donc à faire :

- 2 calages hydrauliques et salinité pour chaque estuaire.
- Simulations numériques selon scénario
- interprétations
- Recommandations pour des mesures complémentaires (Tranche optionnelle)

Pour la Charente et la question spécifique du DB Saint Savinien, le modèle proposé sera géographiquement déjà plus complet que le modèle Mars 3D qui s'arrête à l'Houmée, mais nous ne souhaitons pas traiter de la question sédimentaire (au-delà d'un éclairage hydrodynamique) qui nécessite des calages particuliers et qui ont été bien décrits dans la Thèse de F. Toubanc. Nous nous rapprocherons du LIENS le cas échéant, pour commenter les résultats sur la Charente et problèmes rencontrés (car il y en aura probablement compte tenu du sujet).

2.4.1.2.2 Collecte des données topographiques disponibles

- Collecte des données de bathymétrie et topographie
- Vérification de la cohérence des différentes sources de données (Lidar, RGE Alti, bathymétries diverses, SHOM ... (le MNT Seudre Brouage 50cm L95 présente en plusieurs endroits des différences d'altimétries parfois marquées par rapport à d'autres bases altimétriques dont nous disposons (RGE ALTI 1m 2019, MNT Bathy HOMONIM, Lidar sur la Charente)
- Mise en forme et correction pour l'exploitation (projections, décalages, ...)

2.4.1.2.3 Création du maillage de calcul

Définition de l'emprise du maillage de calcul :

Seudre	Charente
<ul style="list-style-type: none"> • Jusqu'ou en amont sur la Seudre, en amont sur les chenaux affluents, en aval à l'embouchure, latéralement sur les zones inondable / exondables par les marées. • Emprise : 51 km², Longueur : 32 km environ 	<ul style="list-style-type: none"> • Jusqu'à St Savinien sur la Charente et en aval jusqu'à l'île d'Aix • Emprise : 68 km², Longueur : 56 km environ

Exploitation des données pour la construction du maillage de calcul :

- Tracé des « lignes de contraintes » sur lesquelles appuyer les mailles de calcul (berges des chenaux, axes des ruisseaux / cours d'eau, points hauts, points bas, talwegs, éléments structuraux divers, ...)
- Délimitation des emprises de chenaux / affluents qui seront maillés spécifiquement

Lancement de la procédure de maillage :

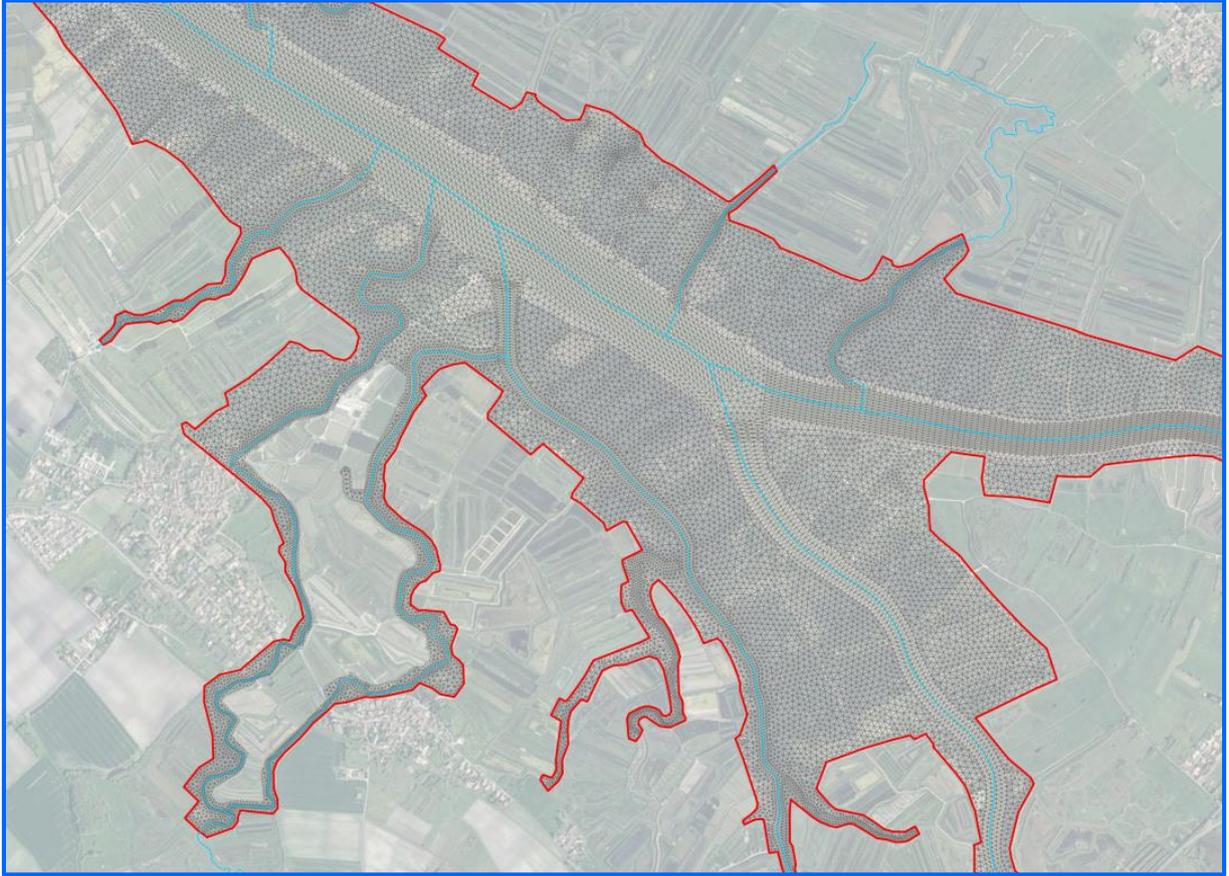
Seudre	Charente
<ul style="list-style-type: none"> • Maillage spécifique de plus de 60 chenaux affluents de la Seudre (densité de 4 mailles minimum en largeur et 10 mètres en longueur) • Maillage spécifique de la Seudre depuis Trois doux jusqu'à l'embouchure (densité de 15 m maximum) • Maillage des zones inondées / exondées par la marée (densité de 20 m maximum) • Zone marine maillée jusqu'au centre du « coureau » (densité de 50 m maximum) 	<ul style="list-style-type: none"> • Maillage spécifique des affluents principaux (Boutonne, Bruant, Devise, Canal de Seudre à Charente, ...) (densité de 4 mailles minimum en largeur et 10 mètres en longueur) • Maillage spécifique de la Charente de St Savinien à l'embouchure (densité de 15 m maximum) • Maillage des zones inondées / exondées par la marée (densité de 20 m maximum) • Zone marine maillée jusqu'à l'île d'Aix (densité de 50 m maximum)

- Agrégation de l'ensemble des maillages élaborés pour aboutir à un maillage global de l'estuaire sur l'emprise définie
- Reprises locales du maillage :
 - Corrections de l'orientation des mailles
 - Densifications de nœuds de calcul

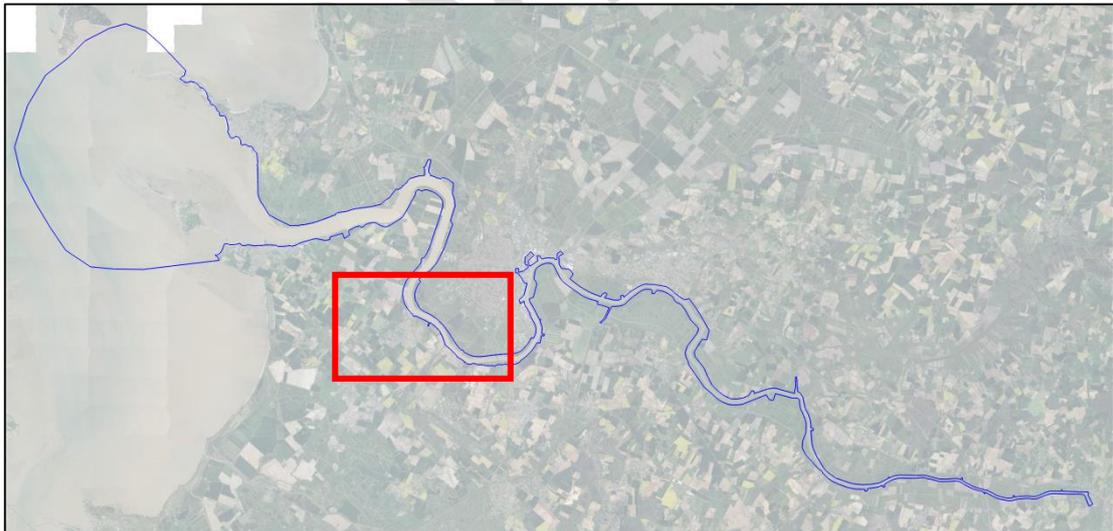
➔ **Aboutissement à un maillage final**

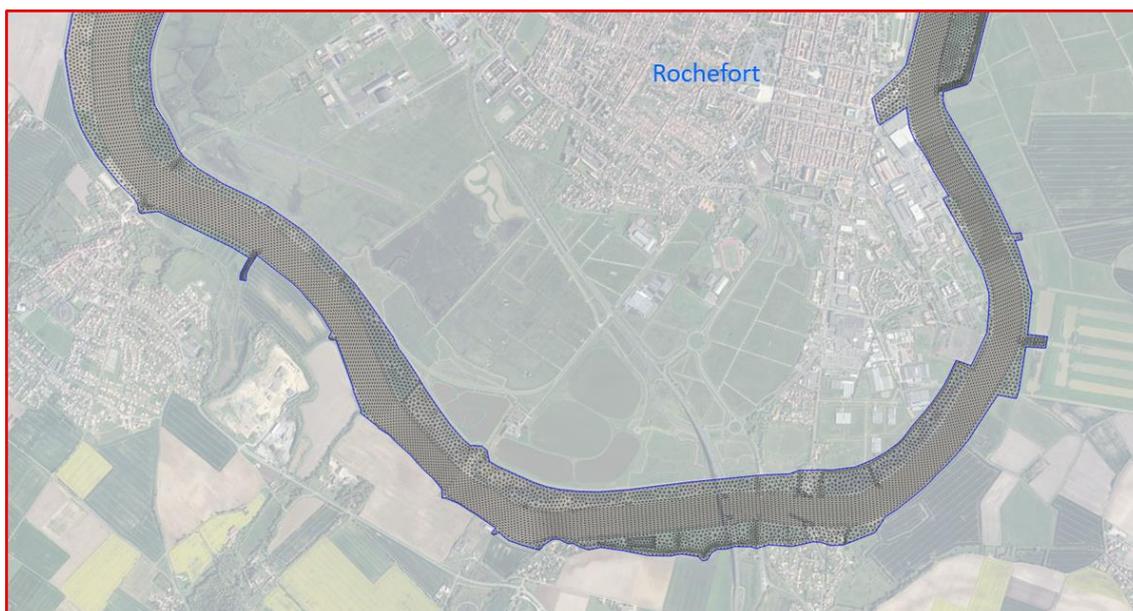
Seudre	Charente
<ul style="list-style-type: none"> • Plus de 170 000 nœuds de calcul • Près de 323 800 éléments de calcul triangulaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Près de 100 000 nœuds de calcul





Seudre





Charente

2.4.1.2.4 Application de la donnée altimétrique :

- Définition des zones sur lesquelles appliquer telle ou telle source de données fournie
- Interpolation si nécessaire sur les secteurs sans données

Sources de données appliquées :

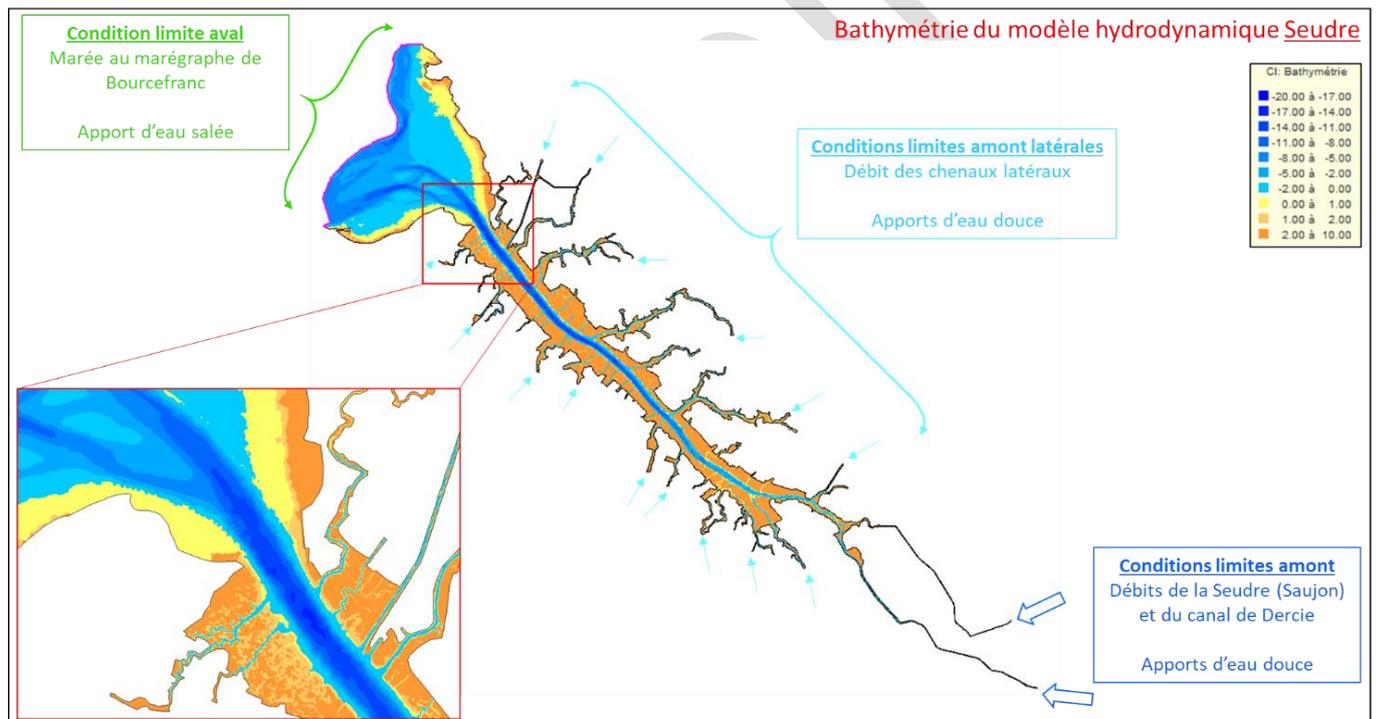
Seudre	Charente
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Zone maritime et estuarienne</u> : <ul style="list-style-type: none"> ○ Bathymétrie Moch, résolution 10 m (travail de recalage effectué) ○ Bathymétrie SHOM (MNT côtier pertuis HOMONIM, résolution 20 m) en complément ou remplacement sur des secteurs précis • <u>Chenaux et partie amont de l'estuaire</u> : <ul style="list-style-type: none"> ○ Bathymétrie Moch, résolution 10 m (travail de recalage effectué) ○ RGE Alti 2019, résolution 1 m. Sur les secteurs levés à marée basse ○ MNT Brouage Seudre, résolution 50 cm. Ponctuellement sur des secteurs levés à marée basse en vérifiant la cohérence avec les autres données altimétriques. ○ Modèle Artelia, pour la partie amont du canal de la Seudre et du canal de Darcie car les autres données ne sont pas suffisamment fines ou cohérentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Zone maritime et estuarienne</u> : <ul style="list-style-type: none"> ○ Bathymétrie Moch, résolution 10 m (travail de recalage effectué) ○ Bathymétrie SHOM (MNT côtier pertuis HOMONIM, résolution 20 m) en complément ou remplacement sur des secteurs précis • <u>Chenaux et partie amont de l'estuaire</u> : <ul style="list-style-type: none"> ○ Bathymétrie Moch, résolution 10 m (travail de recalage effectué) ○ Lidar Charente, résolution 0,5 m ○ RGE Alti 2019, résolution 1 m. Sur les secteurs levés à marée basse ○ Bathymétrie 2009 jusqu'à St-Savinien ○ Bathymétrie HOMONIM • <u>Secteurs hors d'eau (marais, plages, ...)</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ RGE Alti 2019, résolution 1 m ○ Lidar Charente, résolution 0,5 m

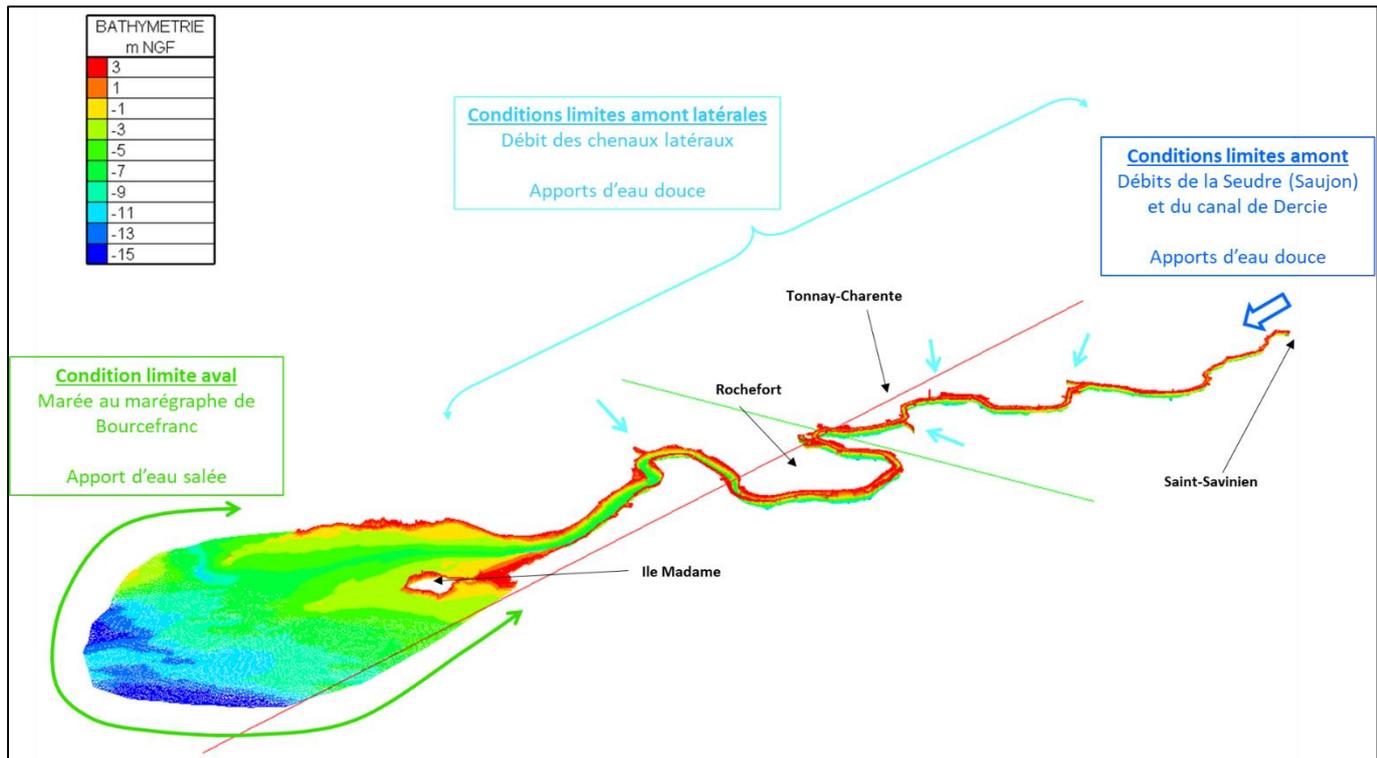
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Secteurs hors d'eau (marais, plages, ...)</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ RGE Alti 2019, résolution 1 m ○ MNT côtier Pertuis HOMONIM, résolution 20 m en complément sur des secteurs précis. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ MNT côtier Pertuis HOMONIM, résolution 20 m en complément sur des secteurs précis.
---	--

2.4.1.2.5 Conditions hydrologiques intégrées dans le maillage Eaucéa

L'exploitation du modèle devrait permettre de tester des scénarios de débits et de gestion qui participeront à la définition d'un débit écosystémique. Il est notamment anticipé la possibilité de jouer sur les débits entrants des principaux affluents pour la Charente ou exutoires de marais pour la Seudre.

Pour la Charente la prise de d'eau de Biard est considérée comme une entrée car elle correspond à l'exutoire de l'Arnoult. En période de prise d'eau, le modèle pourra le cas échéant prendre en charge un débit négatif.





D'autre part, le blocage actuel de l'onde de marée vers l'amont a des conséquences sur la submersion des prés riverains doux ou salés et donc le maintien d'un environnement spécifique.

- Dans le cas de la Seudre et l'écluse de Ribérou, des études hydrauliques spécifiques sont nécessaires pour évaluer ce rôle et la zone d'influence.
- Dans le cas de la Charente, l'extension géographique de ce domaine est beaucoup plus importante. Ce risque est pris en compte dans la gestion des vannes de Saint Savinien.

2.4.1.2.6 Marées de référence

Les deux estuaires sont intégrés à la zone de marée associée au port de référence de La-Rochelle-La-Palisse. Le marnage moyen détermine un domaine macrotidal (supérieur à 5 m de marnage).

Sur la Charente, « l'amplitude de la marée peut atteindre 6,5 m en embouchure, avec un niveau d'eau moyen proche de 5 m. Selon les différents acteurs et usagers de la Charente, la marée dynamique est ressentie à plus de 80 km de l'embouchure ». Source F Toublanc et al³

Elle s'observe en effet sous certaines conditions de gestion du barrage de Saint Savinien dans les enregistrements hydrométriques de la station de pont de Beillant (variation de cote) ainsi que jusqu'à l'Houmée sur la Boutonne.

Des marégraphes plus rapprochés des deux estuaires peuvent être mobilisés (cf. carte ci-dessous)

³ Inversion de l'asymétrie de la marée, sur un cycle morte-eau vive-eau, dans l'estuaire de la Charente (France) XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Cherbourg, 12-14 juin 2012 DOI:10.5150/jngcgc.2012.016-T © Editions Paralia CFL

The screenshot displays the DATA.SHOM.FR web application interface. The top header features the SHOM logo and the text "L'océan en référence" and "DATA.SHOM.FR Information géographique maritime et littorale de référence".

The left sidebar contains navigation icons for "Affichage", "Données", "Prévisions", "Services", "Dessin", "Informaut", and "Abonné".

The main content area is titled "Ma sélection de données" and includes a search bar "Rechercher une donnée". Below the search bar are four data layer selection panels, each with a settings icon, a close icon, and a visibility slider:

- Marégraphes RONIM**: Slider set to 100%.
- Types de marée**: Slider set to 0%.
- Marégraphes partenaires**: Slider set to 100%.
- Bathymétrie (GEBCO)**: Slider set to 100%.

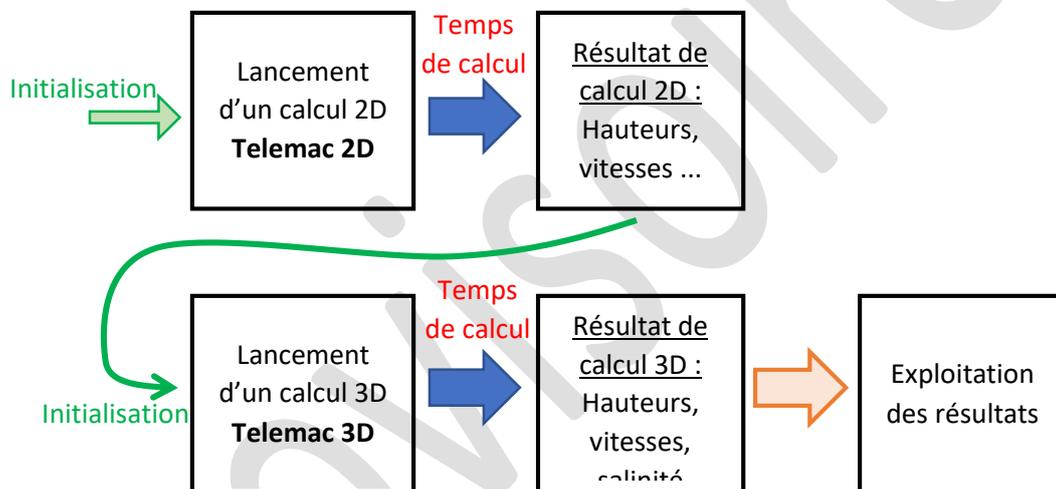
At the bottom of the sidebar are two buttons: "Accéder au catalogue du Shom" and "Ajouter des données externes".

The map on the right shows the coastline of the Charente and Seudre estuaries. Several locations are marked with colored dots and labels: ILE_D_AIX (red), VERGEROUX and ROCHEFORT (orange), COTINIÈRE (purple), BOURGEFRANC and LE_CHAPUS (purple), and PONT_SEUDRE (orange).

2.4.1.2.7 Montage du modèle de calcul

- Définition des « frontières liquides », nœuds de bord sur lesquels seront appliquées les conditions aux limites (débits et marée)
- Initialisation du modèle de calcul (conditions initiales de hauteurs d'eau, de vitesses et de salinité)
- Définition des coefficients de frottement selon les secteurs du modèle (lits mineurs, embouchure, zones de marnage, ...)
- Définition des paramètres de calcul en 2 dimensions
- Définition des paramètres de calcul en 3 dimensions :
 - Quelle définition verticale (nombre de plans horizontaux)
 - Quel modèle numérique de turbulence horizontale et verticale retenir
 - Autres paramètres spécifiques

Principe de la modélisation 3D :



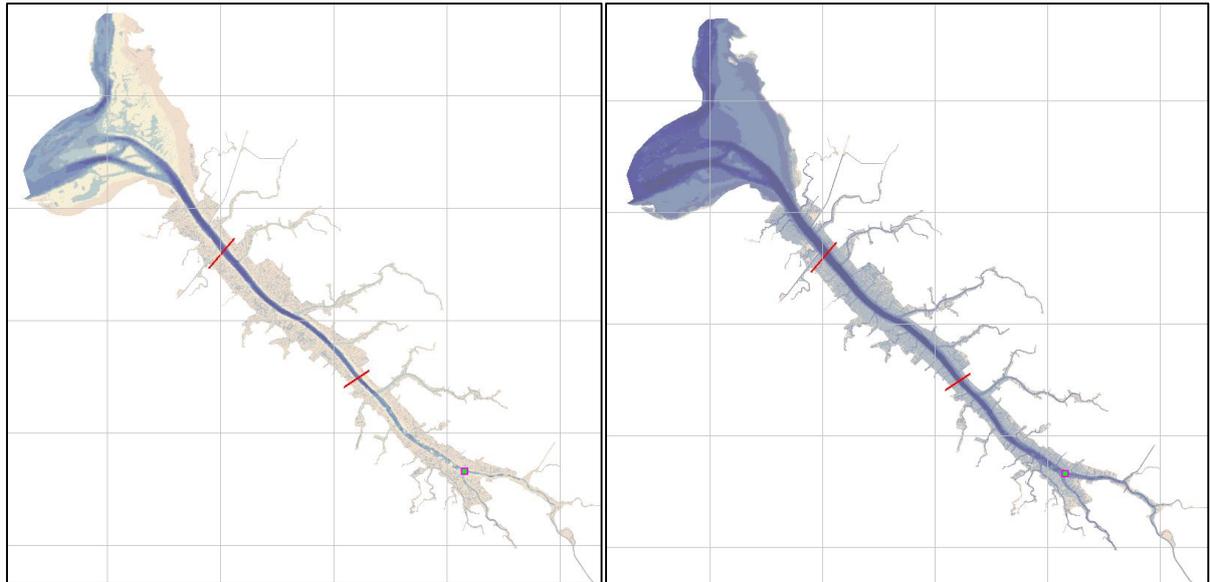
2.4.1.2.8 Calage du modèle

- Calage des paramètres 2D sur la base des observations de marées (Ks, Conditions initiales, paramètres numériques)
- Calage des paramètres 3D sur la base des mesures de salinité et des observations de marée (modèles de turbulence, mode de diffusion, prise en compte de la densité de l'eau, ...)

2.4.1.2.9 Quelques illustrations de résultats provisoires

Les premiers résultats permettent d'appréhender quelques ordres de grandeur essentiels à l'avancement de la compréhension des conditions hydrauliques et à la préparation de scénario de débit fluviaux :

- Evolution des surfaces mouillées et donc les surfaces de l'estran dont une grande part est située en milieu littoral. Dans l'exemple ci-dessous, l'estuaire de la Seudre a été modélisé pour un évènement de coefficient 100.



(m ²)	Charente				(m ²)	Seudre			
Plage de coef	min	max	diff	%	Plage de coef	min	max	diff (mx-mn)	%
30-40	56 974 446	68 636 917	11 662 471	17%					
70	55 721 533	69 813 599	14 092 066	20%	65-75	20 965 649	48 232 088	27 266 439	57%
100	51 125 059	70 062 052	18 936 993	27%	100	19 119 898	50 442 175	31 322 277	62%

Figure 10 Evolution des surfaces mouillées et découvertes

- Débits caractéristiques en différents point des estuaires :

Dans l'exemple ci-dessous, les débits ont été calculés sur la Seudre au niveau des sections repérées ci-avant sur plusieurs cycles de marées. On notera que les ordres de grandeur atteignent respectivement 2500 m³/s et 1250 m³/s ce qui relativise immédiatement le poids des apports fluviaux de quelques m³/s.

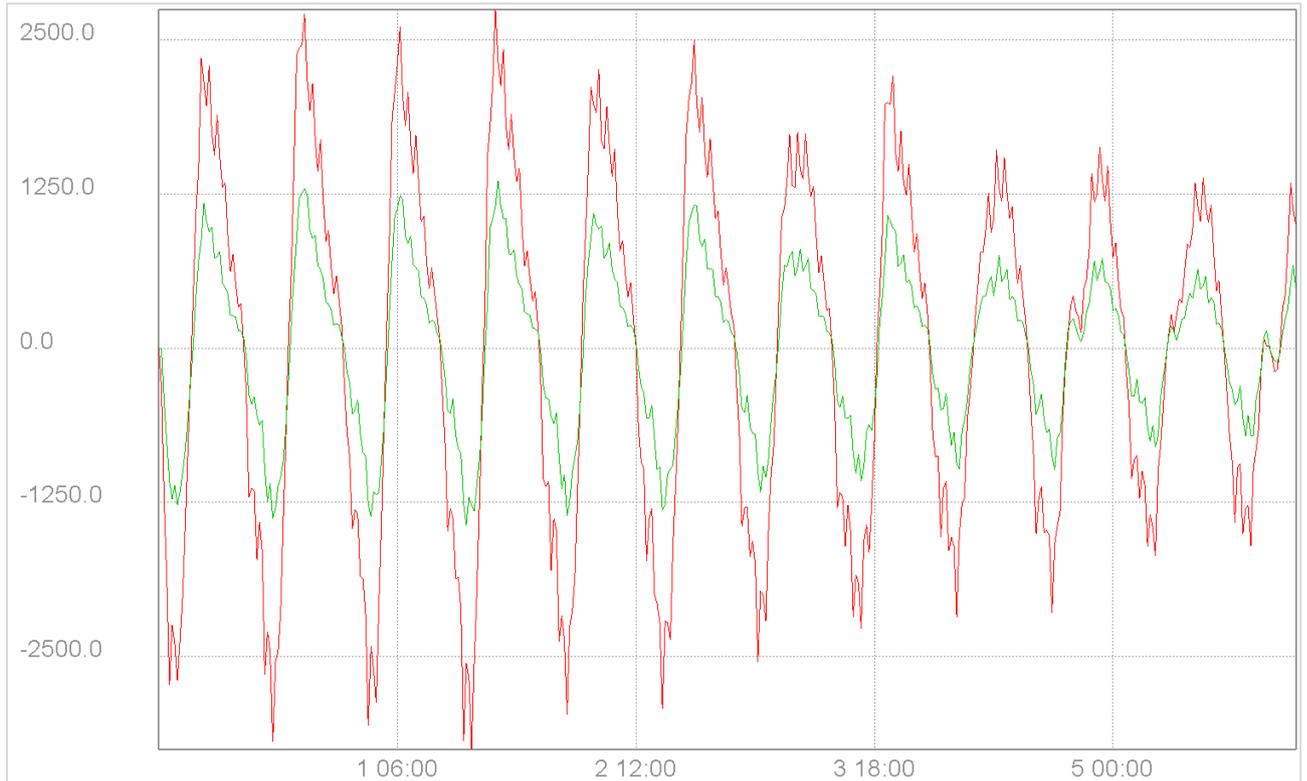


Figure 11 Evaluation des débits dans l'estuaire de la Seudre : exemple sur deux sections

- Les vitesses locales permettant de décrire la dynamique physique et les contraintes écologiques. Ces informations sont particulièrement utiles pour interpréter les données mesurées sur les sondes en continu. Dans l'exemple ci-dessous, un premier rapprochement des conditions hydrodynamiques et des enregistrements de la sonde Magest de l'Eguille.

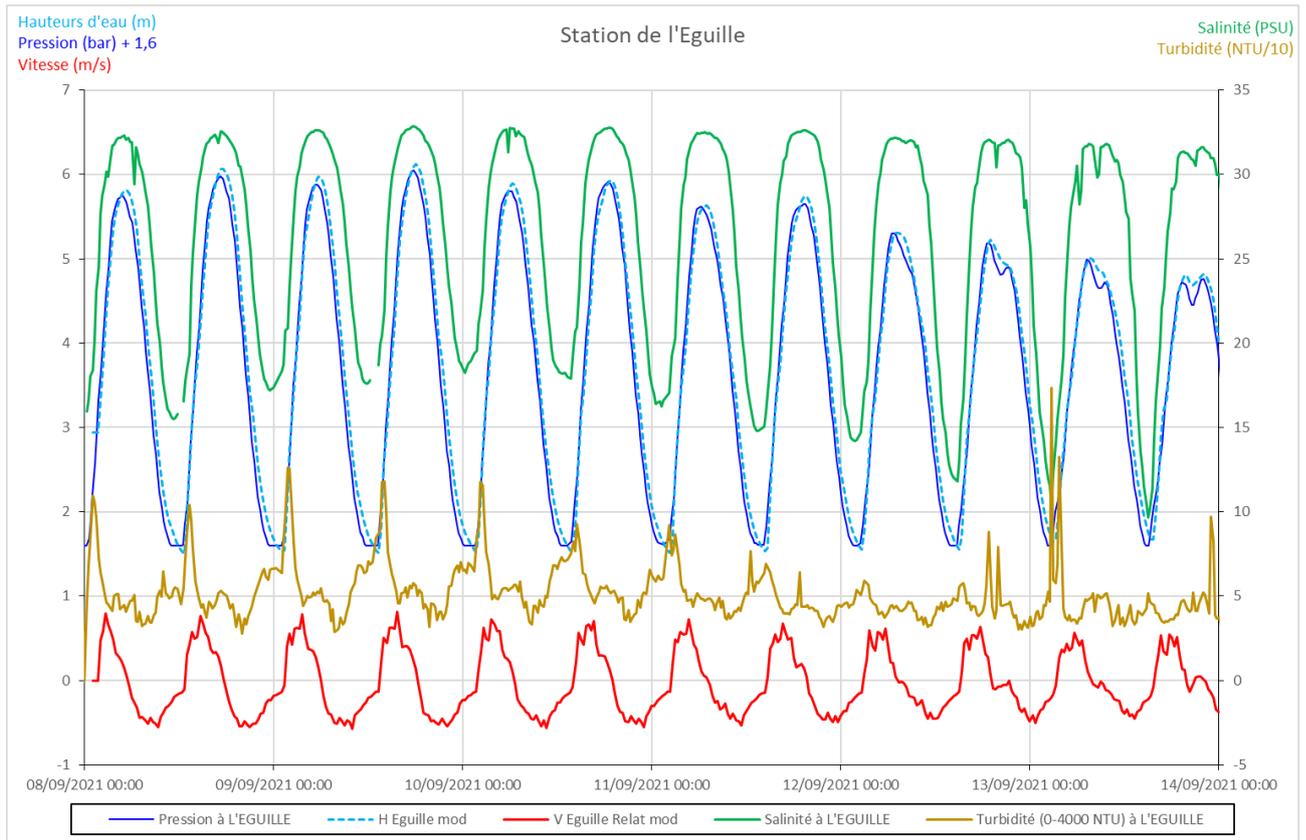


Figure 12 Variation des vitesses moyennes au droit d'une station de suivi qualité Magest

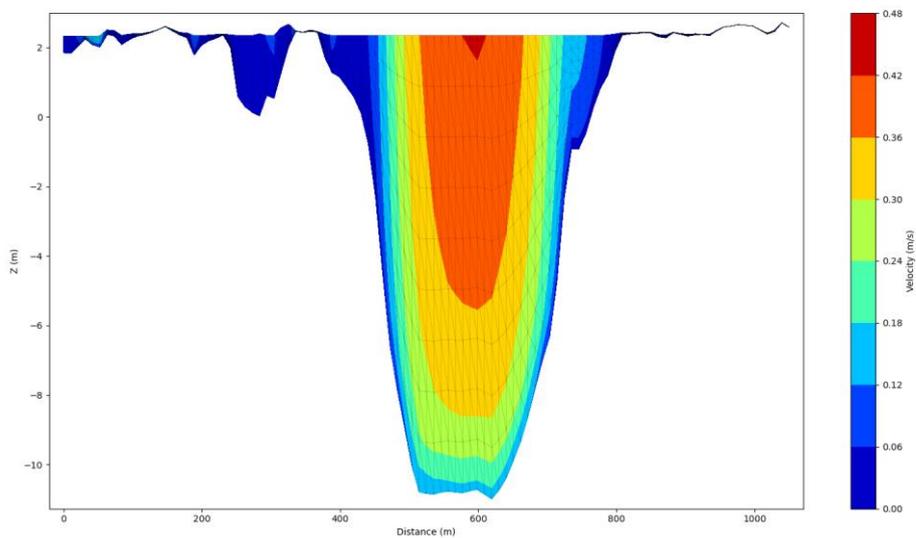
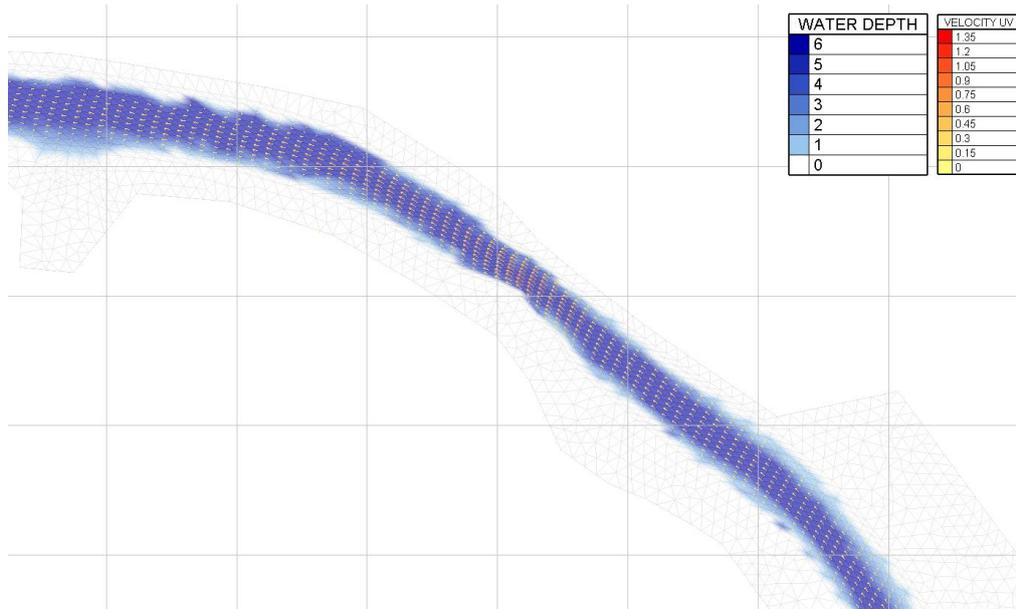


Figure 13 Evaluation des vitesses estuariennes : on en comprend l'intérêt écologique pour qualifier les habitats pélagiques et benthiques

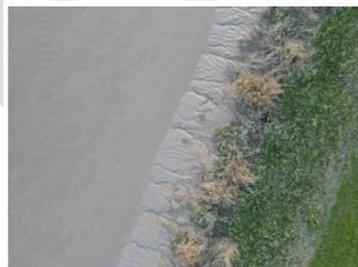


Exemple de sortie « vitesse » du modèle Telemac 2D Charente

2.4.2 Contexte hydro-sédimentaire

2.4.2.1 Cartographie sédimentaire

La typologie sédimentaire en baie de Marennes-Oléron (selon carte 7405G SHOM) montre une certaine diversité sur l'embouchure de la Seudre (présence de faciès sableux) contrairement à la Charente dont « l'estuaire est caractérisée par la présence quasi exclusive de sédiments fins cohésifs » (source F. Toublanc).



La Charente à l'Houmée : vase



La Seudre à l'Eguille: vase



L'embouchure de la Charente : vase



L'embouchure de la Seudre : sable

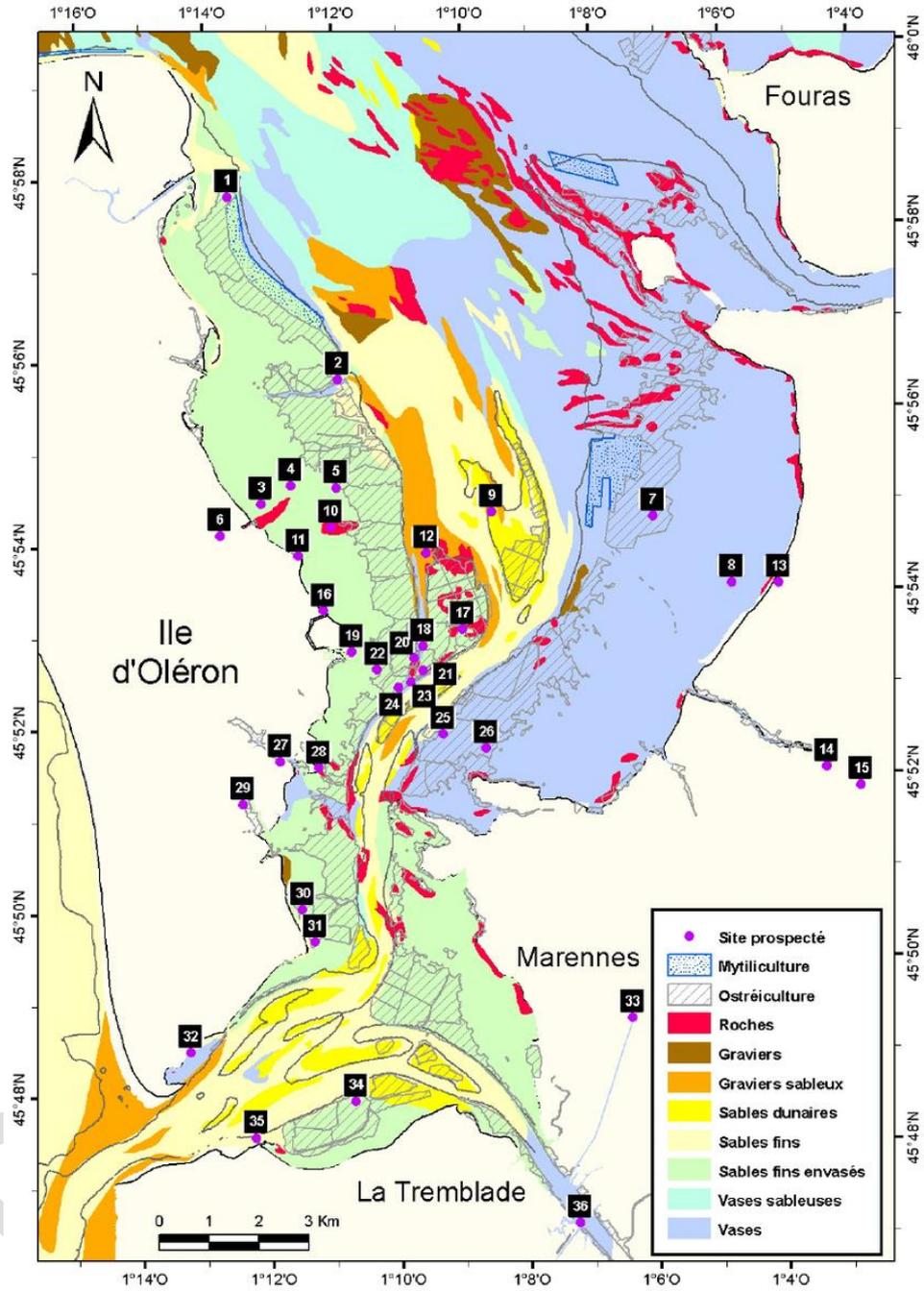


Figure 14 Cartographie sédimentaire 7405G SHOM

2.4.2.2 Les mécanismes estuariens

Des bilans de flux sédimentaires établis par Aymeric Dabrin (2009) sur les estuaires Gironde, Charente et Seudre suggèrent que 50% à 75% de la masse totale de Matière en Suspension (MES) véhiculée annuellement dans la baie de Marennes Oléron proviennent de la Gironde et transitent majoritairement par le Pertuis de Maumusson. Dans sa thèse, l'auteur propose un bilan des apports sédimentaires de la baie de Marennes Oléron de l'ordre de 165 000 à 298 000 t/an, dont 76 000 t/an apportés par la Charente⁴ et 680 t/an par la Seudre (89 000 à 220 000 t/an par la Gironde !)

Outre l'impact sur le caractère vaseux des fonds de l'ensemble des deux périmètres d'études, le transport sédimentaire en suspension joue un rôle majeur pour l'écosystème notamment vis-à-vis de la faible transparence de l'eau. Le « bouchon vaseux » qui correspond à une masse sédimentaire en suspension très dense (plusieurs g/L) est un enjeu de description (position, intensité, extension) car il est aussi le siège de phénomènes physico-chimiques importants (consommation d'oxygène particulièrement cruciale en étiage) mais aussi constitue sans doute une « frontière écologique » pour le plancton.

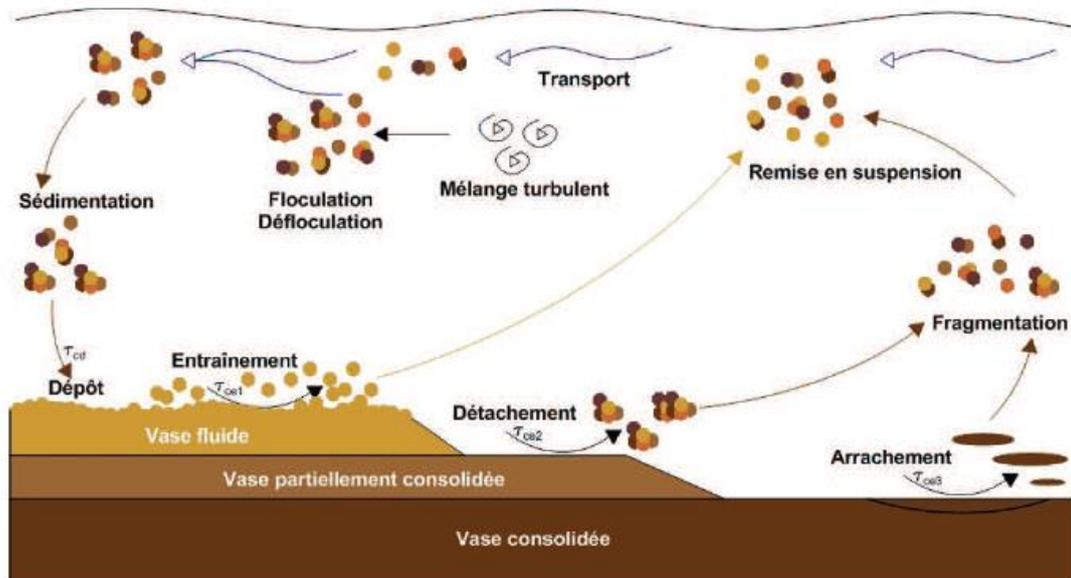


FIGURE 1.11 – Cycle des sédiments fins en estuaire, d'après Maggi [2005] et Verney [2006]

τ_{cd} : Contrainte critique de dépôt

τ_{ce} : Contrainte critique d'érosion ($\tau_{ce1} < \tau_{ce2} < \tau_{ce3}$)

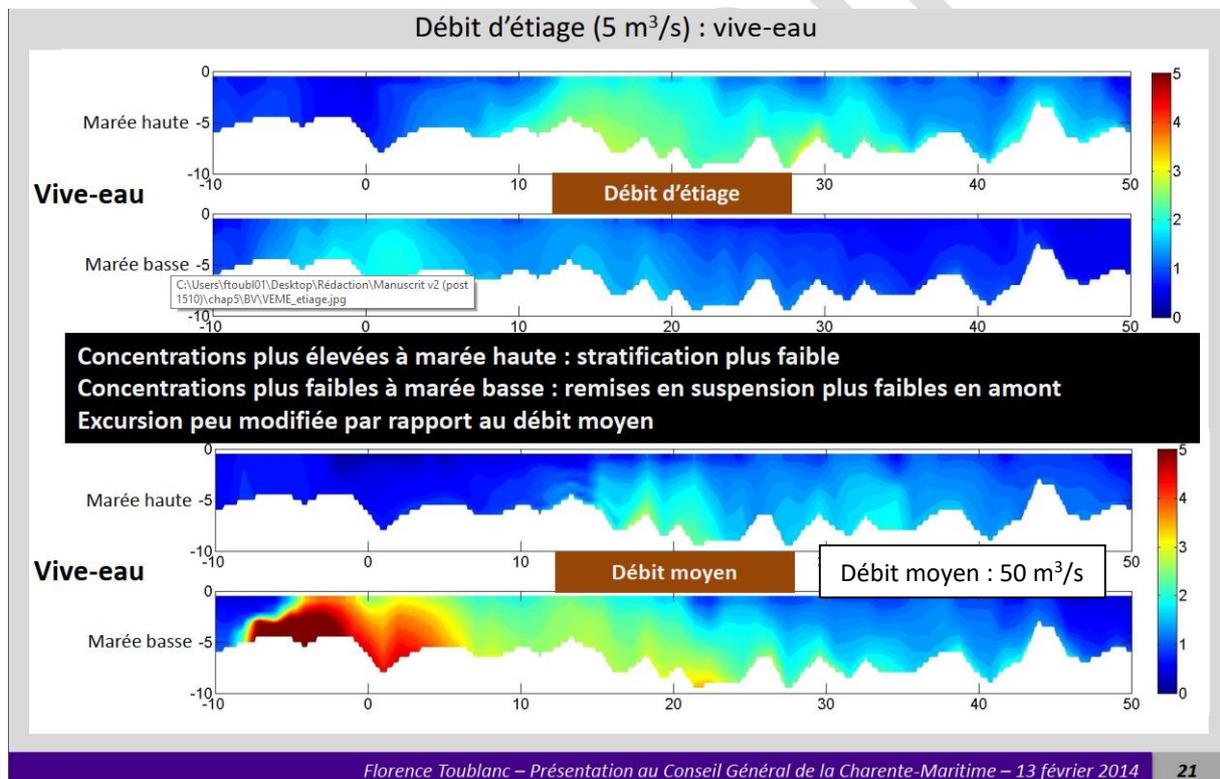
Figure 15 mécanisme sédimentaire en estuaire (source F.Toublanc) in F.Toublanc.

Le flux sédimentaire est alimenté par les apports fluviaux en sédiments en suspension qui sont partiellement interceptés par les ouvrages de Saint Savinien et Carillon qui favorisent la sédimentation mais aussi et surtout par les remontées de vases marines. Le rôle du barrage de Saint Savinien sur les bilans sédimentaires avec l'accumulation de vase en amont est un enjeu majeur disposant de nombreuses études et actions de gestion spécifiques. Le phénomène est moins bien connu sur le bief de Carillon sur la Boutonne.

⁴ Estimation de 0,05g/l de débit liquide fluvial (Modéran et al., 2012; Toublanc, 2013)

Les extractions de vase (dragage et clapage ou export vers sols agricoles) pour le chenal de navigation ou pour l'entretien des biefs des deux barrages participent localement à ce bilan. Ces opérations sont suivies par le Comité Départemental d'Information et de Suivi des Opérations de Dragages (DDTM 17). Pour Isabelle Brenon (LIENSs) le port de Rochefort pourrait constituer une importante zone de piégeage des vases (ouverture du port au flot avec le bouchon vaseux).

A notre connaissance la seule (?) modélisation hydro sédimentaire disponible est celle effectuée sur l'estuaire de la Charente en aval par Florence Toublanc dans le cadre de sa thèse. L'objectif de ce travail était d'étudier le comportement de l'estuaire en fonction de ces forçages, et de déterminer leur impact sur les distributions horizontale et verticale de la salinité et des sédiments fins cohésifs (bouchons vaseux). Les modélisations et les observations faites sur le terrain suggèrent que les sédiments sont importés dans l'estuaire en régime fluvial moyen ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) et d'étiage ($5 \text{ m}^3/\text{s}$), et qu'un ensablement se produit. En étiage, la tendance est donc à une augmentation du stock sédimentaire déposé en amont de Rochefort. En crue, le bouchon vaseux est maintenu à 10 km en aval de l'embouchure et un export de sédiments vers la baie de Marennes-Oléron est obtenu. Dans la zone de l'embouchure, les mécanismes sédimentaires sont dominés par la marée même en cas de crue.



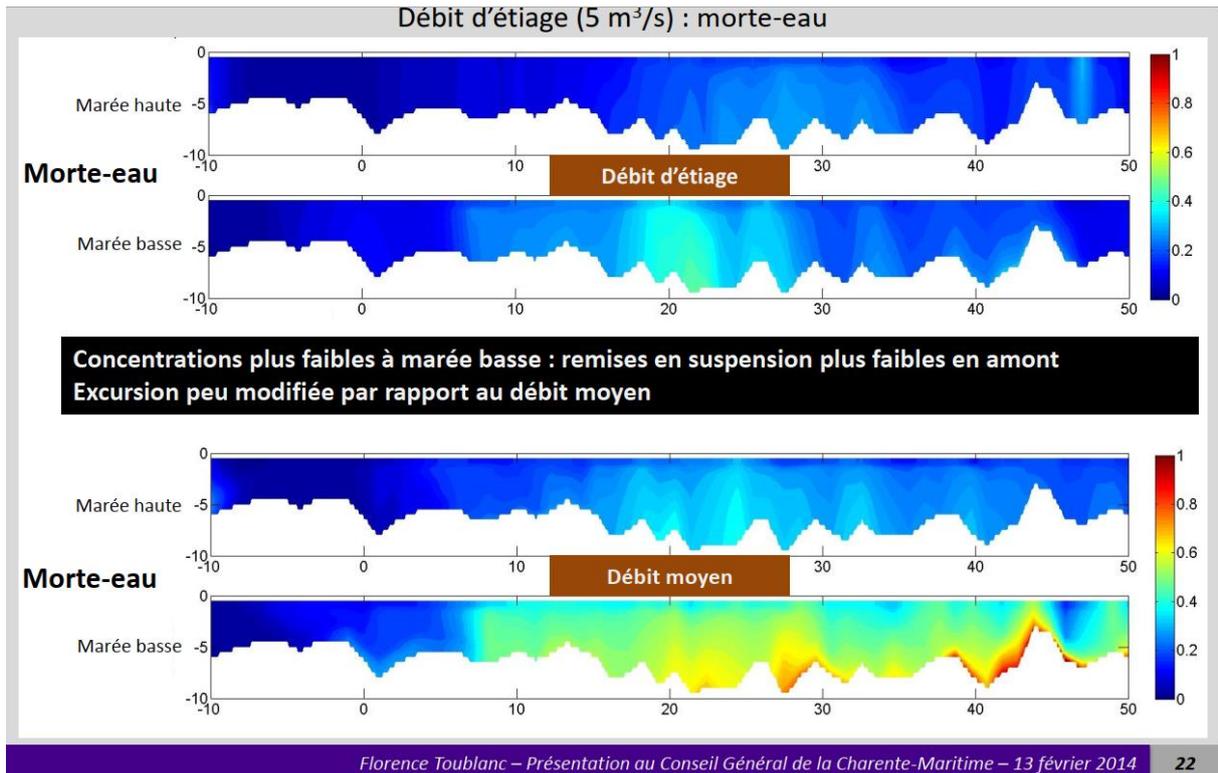


Figure 16 Schéma du cycle sédimentaire en en étiage (5 m³/s) et eaux moyennes (50 m³/s) F. Toublanc 2014

Pour l'estuaire de la Seudre, il n'existerait pas de modélisation spécifique du transport sédimentaire à ce jour, sachant que le rôle de l'occupation du lit majeur par l'activité ostréicole constitue sans doute le principal impact anthropique sur la dynamique sédimentaire historique.

2.5 Qualité des eaux

2.5.1 Les objectifs de la DCE

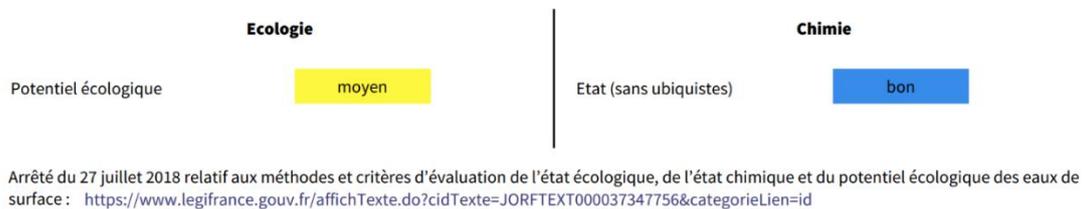
Les estuaires de la Charente et de la Seudre sont des masses d'eau dites de transition.

Seudre

SDAGE 2022-2027
 SDAGE 2022-2027 - Etat des lieux - Masse d'eau de transition FRFT02
 A.E.A.G.
<http://adour-garonne.eaufrance.fr/upload/DOC/FICHES/ME/EDL2019/FRFT02>
 mars 2020

Etat de la masse d'eau : évaluation état des lieux 2019 sur la base des données 2012 à 2016

L'évaluation de l'état à l'échelle de la masse d'eau a pris en compte les données 2015 à 2017 pour l'écologie. Le dire d'experts a permis de compléter l'évaluation et d'interpréter certains compartiments biologiques en l'absence d'outils existants. La synthèse des méthodes et critères servant à l'élaboration de l'état des lieux 2019 est décrite dans la note diffusées avec l'ensemble des données : <http://adour-garonne.eaufrance.fr/catalogue/10ff23eb-2079-4afe-bbca-f0a470a2c3bf>



Objectif d'état de la masse d'eau (SDAGE 2016-2021)

SDAGE
Objectif de l'état écologique : Bon potentiel 2021
Type de dérogation : Conditions naturelles, Raisons techniques
Paramètre(s) à l'origine de l'exemption : Ichtyofaune

SDAGE
Objectif de l'état chimique (Sans molécules ubiquistes) : Bon état 2015

Charente

SDAGE 2022-2027
 SDAGE 2022-2027 - Etat des lieux - Masse d'eau de transition FRFT01
 A.E.A.G.
<http://adour-garonne.eaufrance.fr/upload/DOC/FICHES/ME/EDL2019/FRFT01>
 mars 2020

Etat de la masse d'eau : évaluation état des lieux 2019 sur la base des données 2012 à 2016

L'évaluation de l'état à l'échelle de la masse d'eau a pris en compte les données 2015 à 2017 pour l'écologie. Le dire d'experts a permis de compléter l'évaluation et d'interpréter certains compartiments biologiques en l'absence d'outils existants. La synthèse des méthodes et critères servant à l'élaboration de l'état des lieux 2019 est décrite dans la note diffusées avec l'ensemble des données : <http://adour-garonne.eaufrance.fr/catalogue/10ff23eb-2079-4afe-bbca-f0a470a2c3bf>



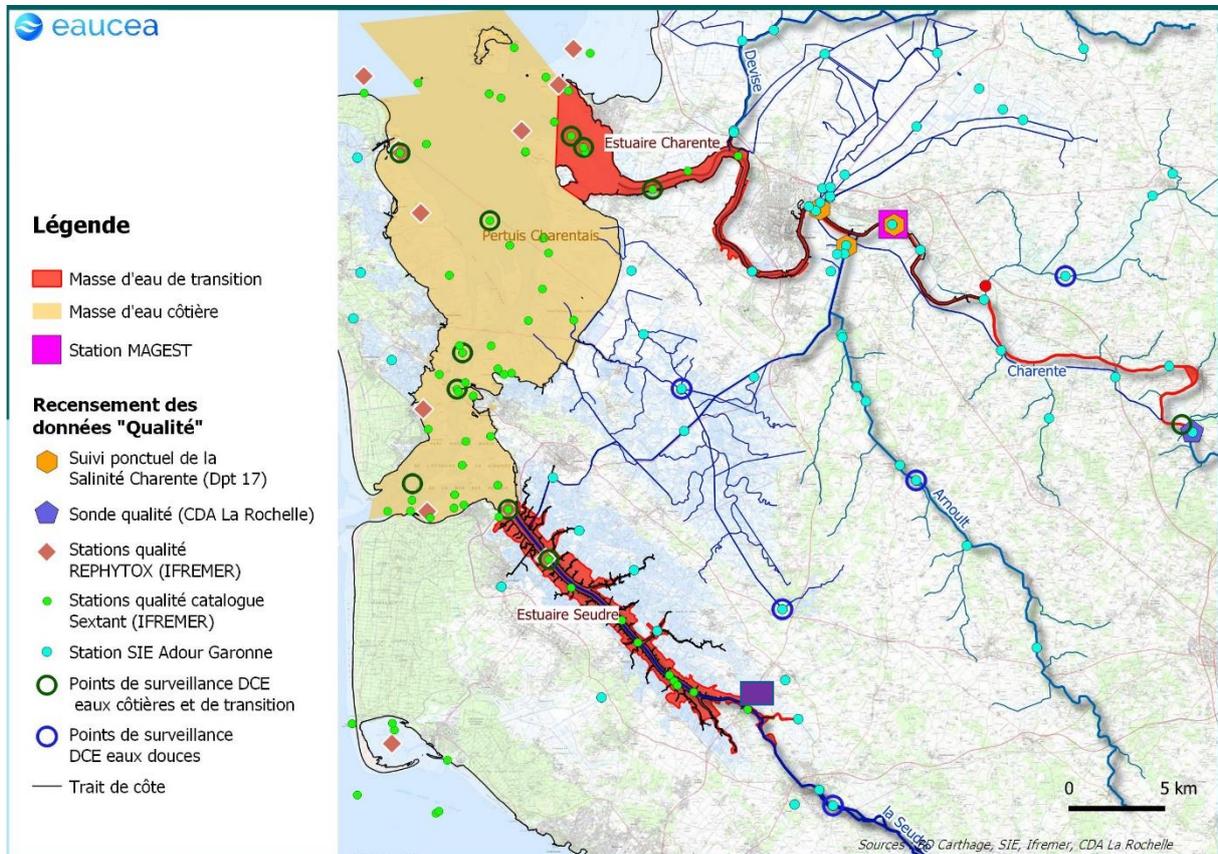
Objectif d'état de la masse d'eau (SDAGE 2016-2021)

SDAGE
Objectif de l'état écologique : Bon état 2015

SDAGE
Objectif de l'état chimique (Sans molécules ubiquistes) : Bon état 2015

2.5.2 Réseaux de mesures

Le réseau de mesure est assez développé en mer comme sur le continent. Des stations ponctuelles permettent de décrire beaucoup de paramètres du milieu.



Carte 5 Réseaux de suivis de la qualité des eaux

Récemment des stations d'enregistrement en continu ont été déployées en milieu strictement estuarien. On peut citer en particulier la sonde PNM/CRC dans l'embouchure de la Charente en regard de l'île d'Aix. Cette sonde a cependant arrêté de transmettre des données depuis juin 2021.

- MAGEST / puis EPTB Charente à Tonnay Charente > 2019
- MAGEST / SMBS sur la Seudre > 2021

CD 17 : Campagne expérimentale d'Etiage 2017/2018/2019 de St Savinien puis suivi continu à L'Houmée sur la commune des Bords > 2021

Ces suivis permettent une meilleure compréhension du fonctionnement au sein du cycle de marée comme l'illustre le suivi de l'oxygène à l'Houmée et Tonnay-Charente en 2021.

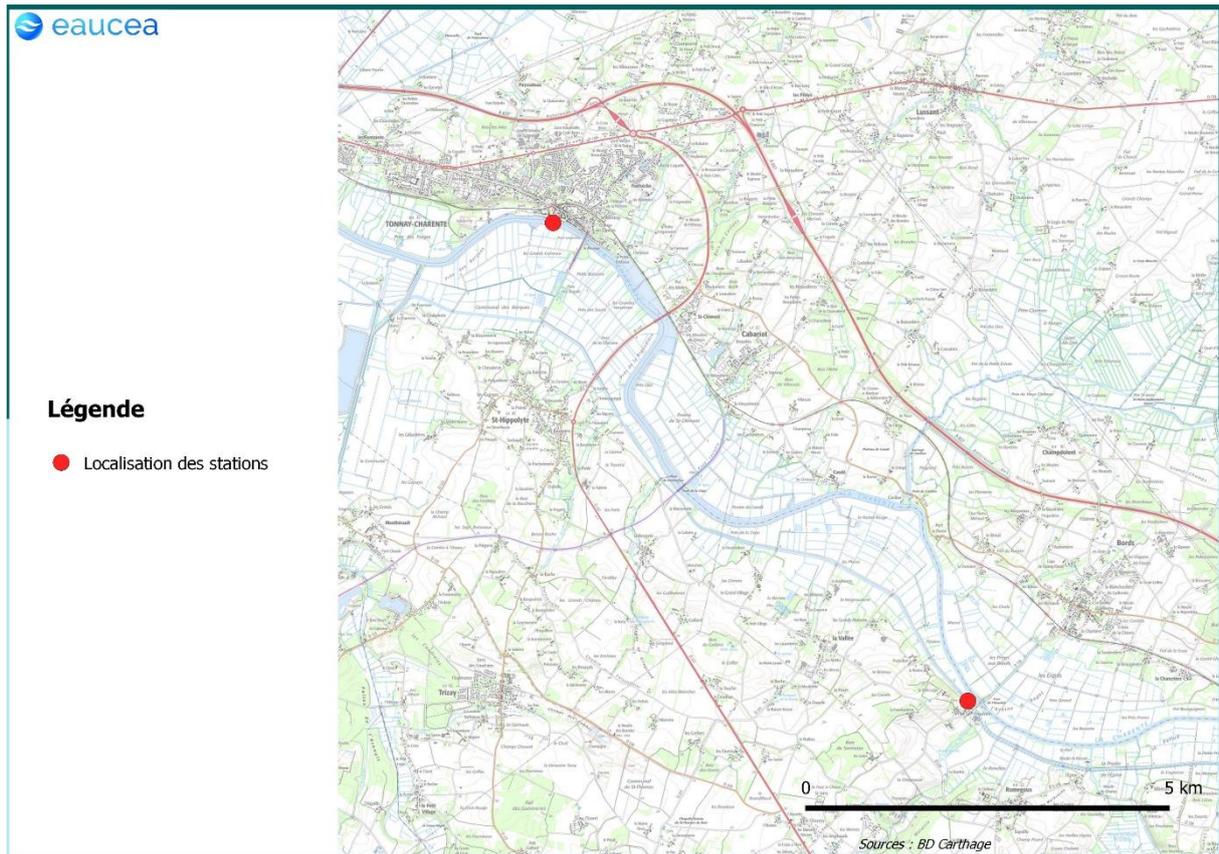


Figure 17 : localisation des sondes à Tonnay Charente et au lieu-dit l'Houmée

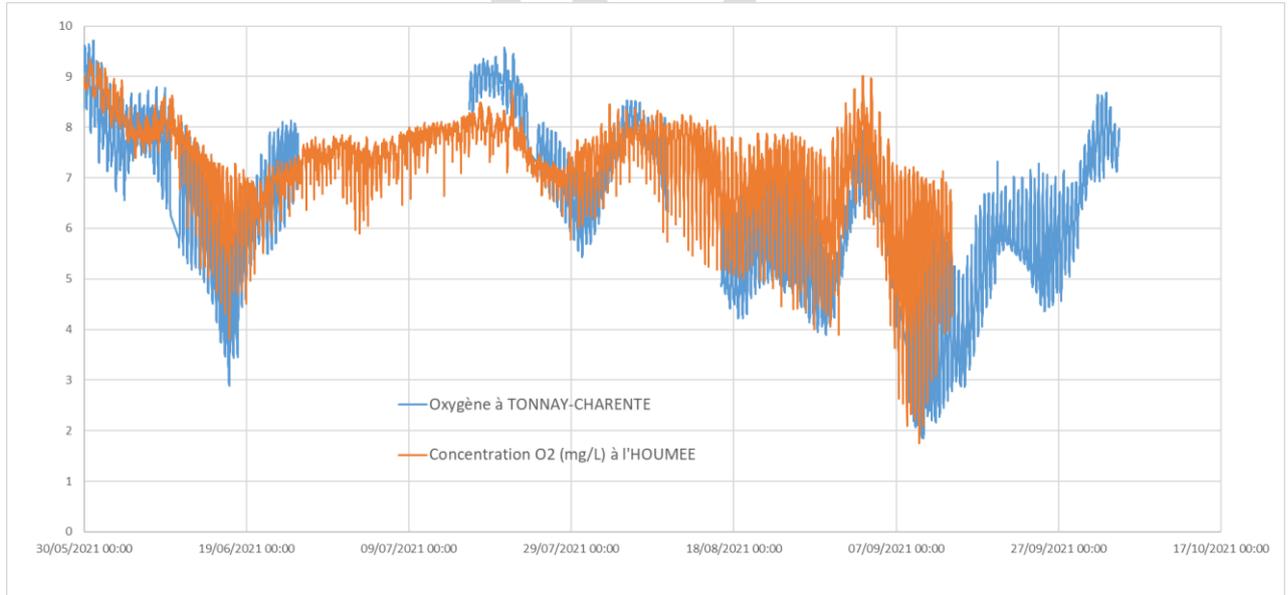


Figure 18 Suivi en continu de l'oxygène sur deux stations de l'estuaire de la Charente (été 2021)

Un des enjeux envisagés initialement était l'incidence des estuaires, sur la mer des pertuis et le littoral, des flux hydrologiques, sédimentaires et nutritifs issus des bassins versant de la Charente et de la Seudre. C'est un objectif largement partagé avec le PNM qui engage un travail de synthèse sur ce continuum.

Cette incidence est certaine mais Ifremer a rappelé que la situation était d'une extrême complexité hydrographique avec un régime d'écoulement en partie seulement influencé par ces deux fleuves. En particulier, les apports de la Gironde sont probablement dominants dans la plupart des phénomènes évoqués.

Ifremer dispose de données de qualité des eaux avec des séries d'enregistrement en continu sur des périodes pluriannuelles et en particulier sur la période 2005 à 2014 sur 8 points de mesures. Les données peuvent être mises à disposition par Ifremer et il est noté que ce cycle comprend des périodes hydrologiques contrastées (sec en 2011 et humide en 2014). Il y a donc une information exploitable en théorie.

Les principaux enseignements sont que le milieu n'est pas limitant du point de vue des nutriments pour la production primaire, la turbidité serait en augmentation tendancielle et la production primaire des vasières est très importante. La biodiversité algale est très importante et joue un rôle majeur dans la productivité tout au long du cycle saisonnier. Le milieu est cependant peu eutrophisé sans doute en raison de l'importance du filtrage conchylicole.

Le retour d'expérience, confirmé par les difficultés actuelles du CRC/PNM sur leurs propres sondes suivis par un bureau d'études, est que la métrologie marine est très délicate en raison des obligations d'entretien régulier des capteurs couplés à une difficulté d'accès.

L'utilisation de sonde en mer des pertuis pour gérer en temps réel des événements hydrologiques est donc envisageable mais au prix de grosses difficultés et donc de coûts. D'autre part l'interprétation des conséquences écologiques (en lien avec la question des débits écologiques) est encore largement méconnue.

En conséquence, il a été considéré que la qualité de l'eau de la mer des pertuis ne pouvait pas être reliée aux seuls débits fluviaux Charente-Seudre mais que cette qualité pouvait être considérée comme une condition aval qui s'impose aux estuaires. Cette qualité est déterminante pour le développement des stades larvaires notamment et le maintien de l'activité ostréicole.

2.5.3 Températures estuariennes

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.

Un premier essai de 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.

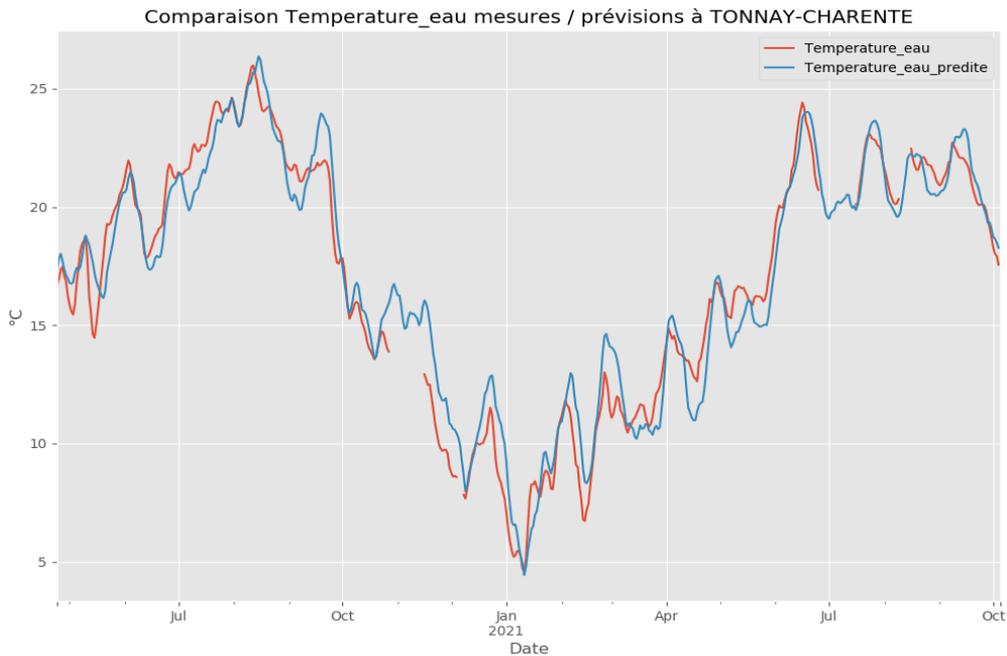


Figure 19 Calage du modèle thermique de l'estuaire de la Charente à Tonnay Charente (T° en moyenne journalière)

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 2006).

Cet usage des modèles est intéressant pour analyser statistiquement des risques. Dans le graphe ci-dessous on semble discerner 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.

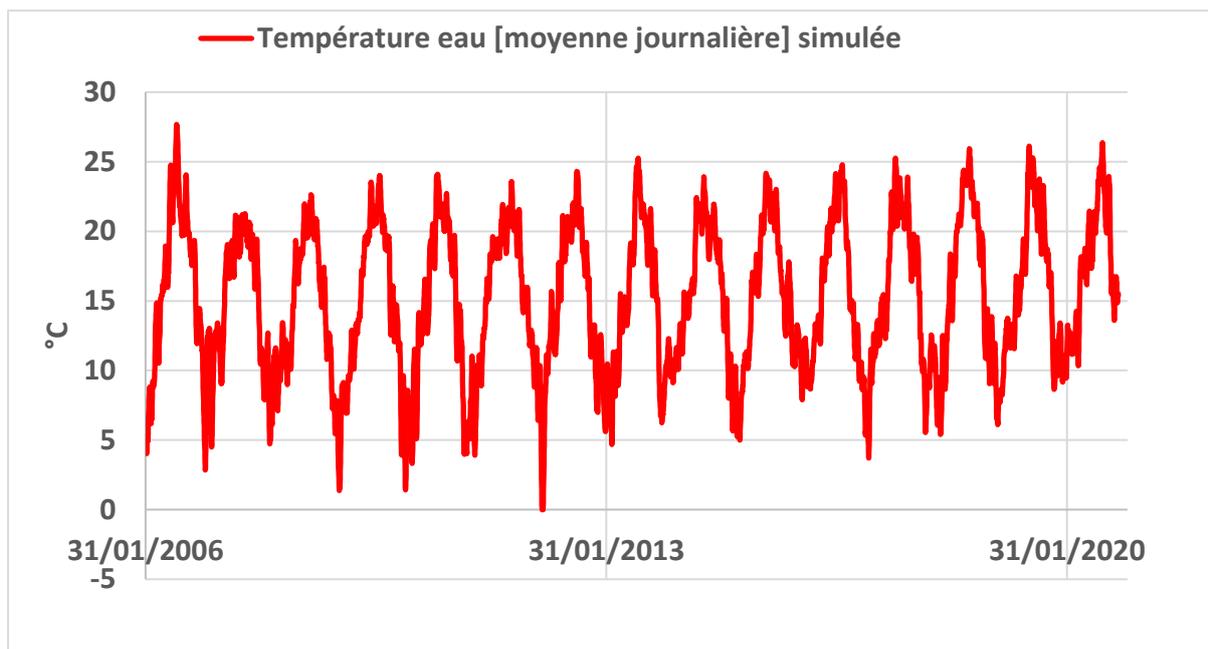


Figure 20: Simulation pluriannuelle (2006-2020) de la température [moyenne journalière] de l'eau à Tonny-Charente

Plus en aval l'influence océanique et son inertie devront être appréhendées si l'on souhaite décrire le fonctionnement estuarien dans sa globalité.

2.5.4 Salinité

Les deux estuaires sont assez dissemblables sur le plan bathymétrique et hydrologique.

La circulation de l'eau et le mélange entre eaux de mer et eaux douces est piloté par les forces de la marée, les apports fluviaux et la géométrie des estuaires.

2.5.4.1 Concentrations de référence

Le Sandre 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	Mnémonique 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]
O	Inconnu	Inconnu	Validé	

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. Son emprise géographique est très directement liée au rapport entre le débit fluvial et le volume oscillant mobilisé à chaque marée.

2.5.4.2 Charente

Pour la Charente, le sujet est traité dans la thèse de F. Toublanc.

Le gradient de salinité amont/aval est très dépendant des conditions hydrologiques et de marée. On peut globalement décrire la situation de l'estuaire au travers de la figure suivante.

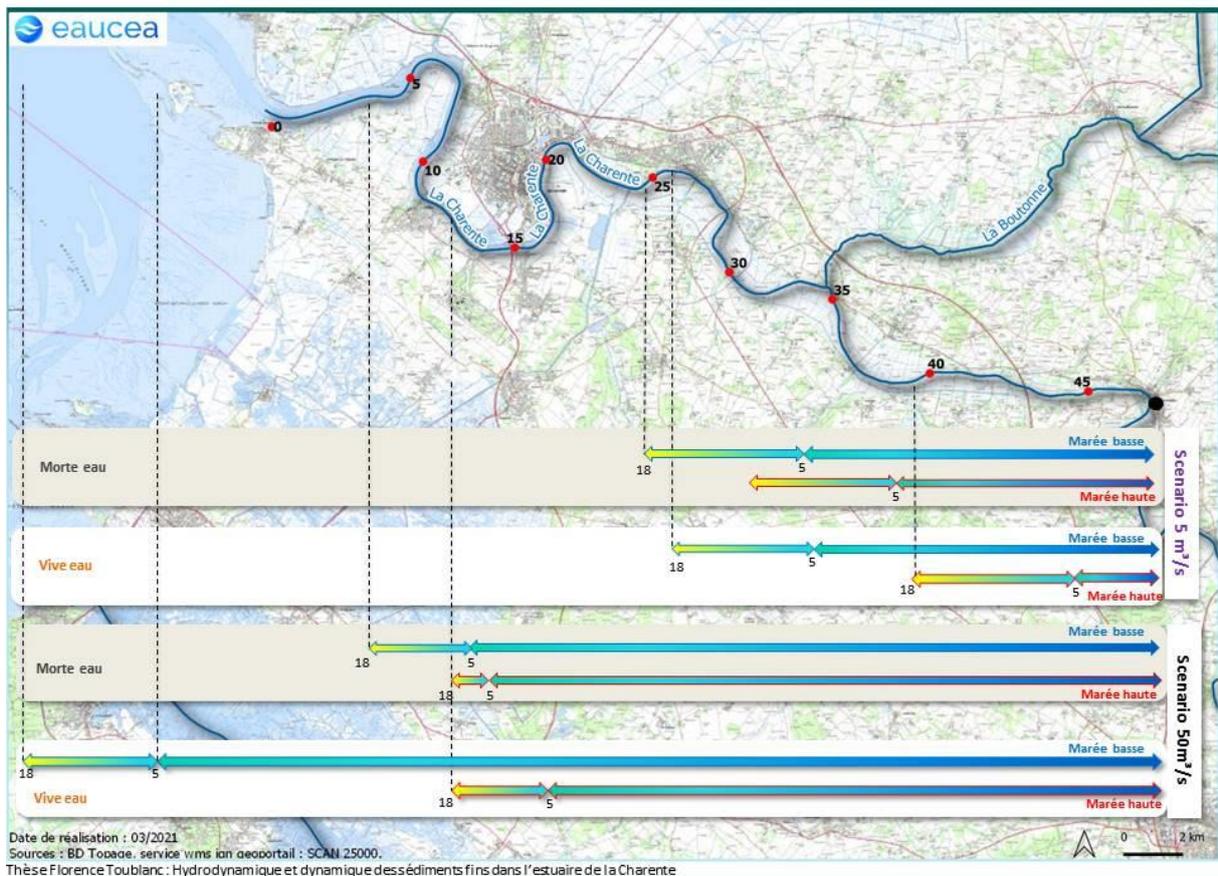
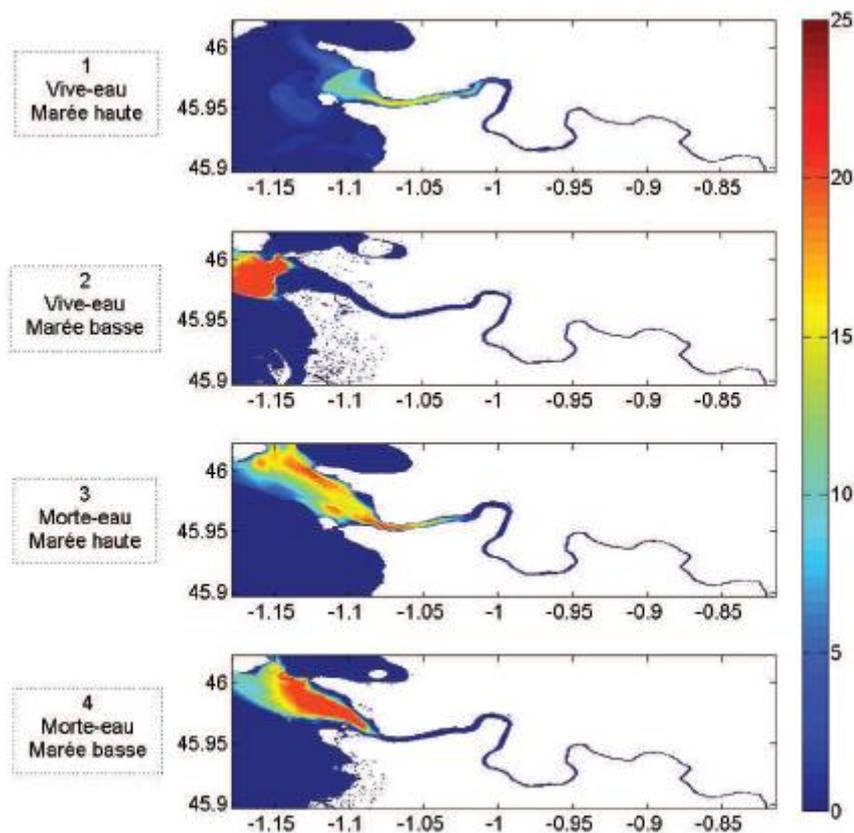


Figure 21 Position des différentes limites de salinités dans l'estuaire de la Charente en étiage et eaux moyenne.

Rappelons qu'officiallement la limite de salure des eaux (réglementant la pêche) est fixée au confluent Charente-Boutonne. Le risque de remontée saline est attentivement suivi bien que non avéré à ce jour en amont du barrage de Saint Savinien, siège de prélèvements stratégiques pour l'eau potable. Des campagnes de mesures récentes sous maîtrise d'ouvrage du Conseil Départemental 17 (2016 à 2019) ont été réalisées par Thibault Coulombier (LIENSs). Il s'agit d'un suivi de la turbidité (NTU et g/l) et de la salinité (PSU) en 3 points : Tonnay-Charente, aval barrage et amont barrage. Cet important jeu de données, montre que le risque de remontée saline jusqu'au plan d'eau de Saint-Savinien est faible et correspond à la conjonction d'étiage sévère (débit inférieur à 16 m³/s) et de coefficient de marée élevé (> 4 m à Rochefort). La concentration mesurée en pied d'ouvrage reste cependant faible (inférieure à 0,5 PSU).

La stratification verticale ne semble réellement significative qu'au niveau de l'embouchure et en période de hautes eaux et crues. Ce critère peut donc être simplifié dans les analyses de débit biologique en considérant globalement la salinité comme homogène.



(b) Crue

Figure 22 Simulation du gradient vertical de salinité de l'estuaire de la Charente (Source Thèse F Toublanc p 143)

2.5.4.3 Seudre

Il n'existe pas à notre connaissance d'approche systématique au travers d'une modélisation.

Cet estuaire est un estuaire salé (poly-halin) au moins jusqu'à Ribérou en raison du moindre apport d'eau douce par le bassin versant. En 1727, l'inspecteur général des pêches François Le Masson du Parc évoque « *la baie de Seudre, jusqu'au haut vers le pont de Ribérou* ». Le même auteur écrit ⁵ « *la Seudre ne pouvant être regardée que comme une rivière au-dessus du pont de Ribérou, ce qui est du port au pertuis étant incontestablement les eaux de la mer ... et dans lesquelles eaux on ne pêche jamais que du poisson de mer, celui de rivière n'y pouvant vivre* ».

Selon certains experts l'estuaire de la Seudre serait même un estuaire « inverse » où la salinité la plus forte peut être observée en étiage et en période de forte chaleur en amont de l'estuaire en raison d'un bilan hydrique plus favorable à l'évaporation qu'aux apports fluviaux de la Seudre.

A la station MAGEST de l'Eguille, récemment installée par le SMBS, les variations journalières de salinité très fortes montrent que si l'impact des hautes eaux hivernales (crue) ne peut être ignoré dans la partie haute de l'estuaire, le poids des flux océaniques reste dominant avec des salinités fortes à marée haute.

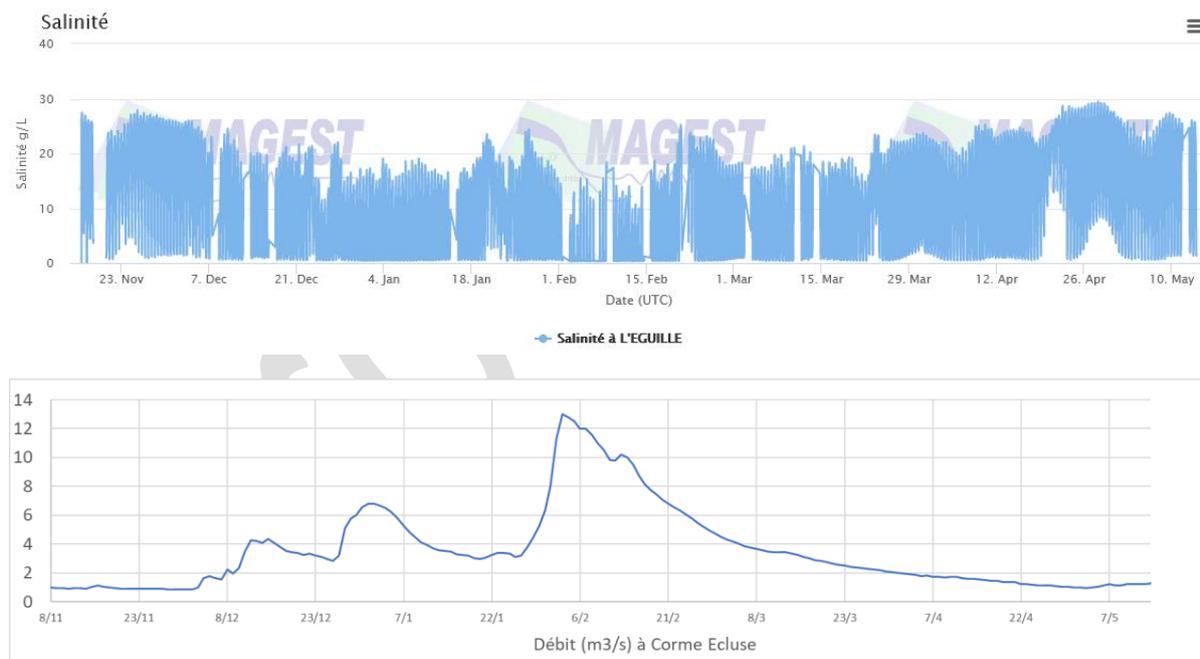


Figure 23 Rapprochement débit salinité à Eguille

⁵ in « Pêche et pêcheurs par François Mason du Parc (édition entre deux mers 2009 p 27)

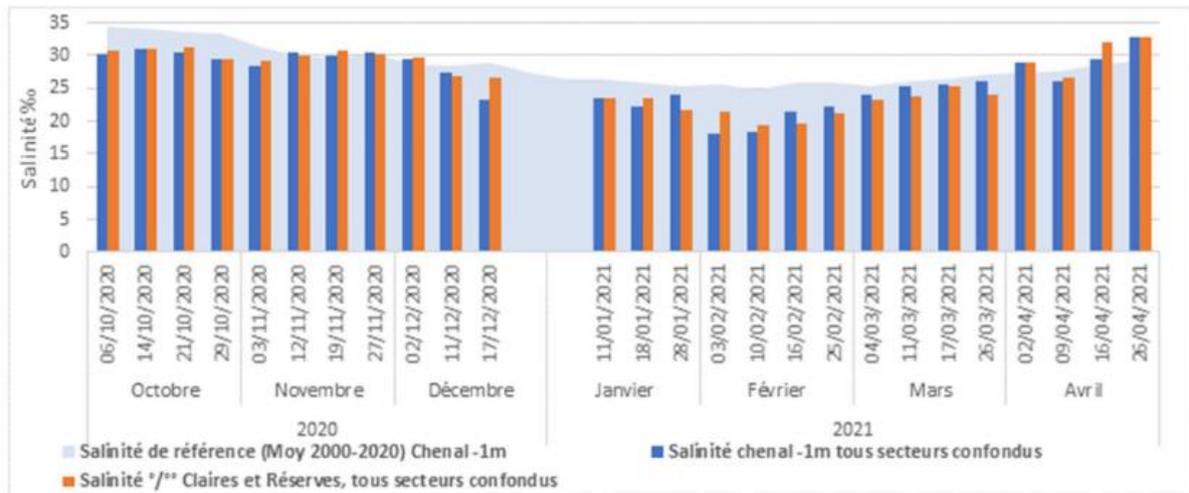
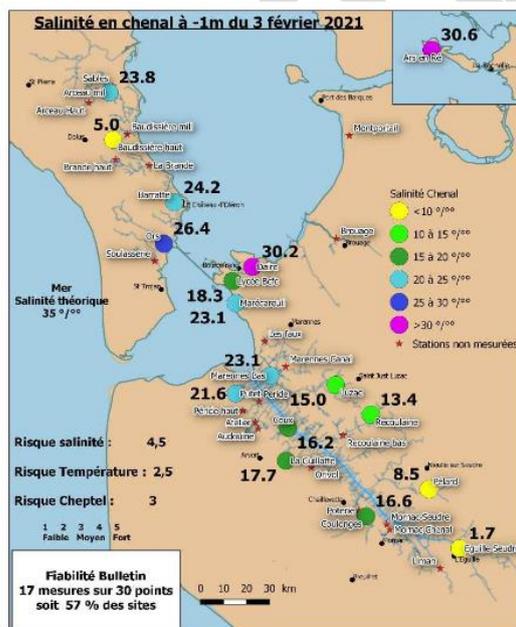


Figure 4 : Évolution de la salinité moyenne hebdomadaire en 2019-2020 comparée aux moyennes de 2000 à 2019, en chenal à -1m de la surface et en bassins (claires et réserves de référence).

Figure 24 Suivi de la salinité 2020/2021 dans les chenaux et les marais (source CAPENA Bilan saison 2020-2021)

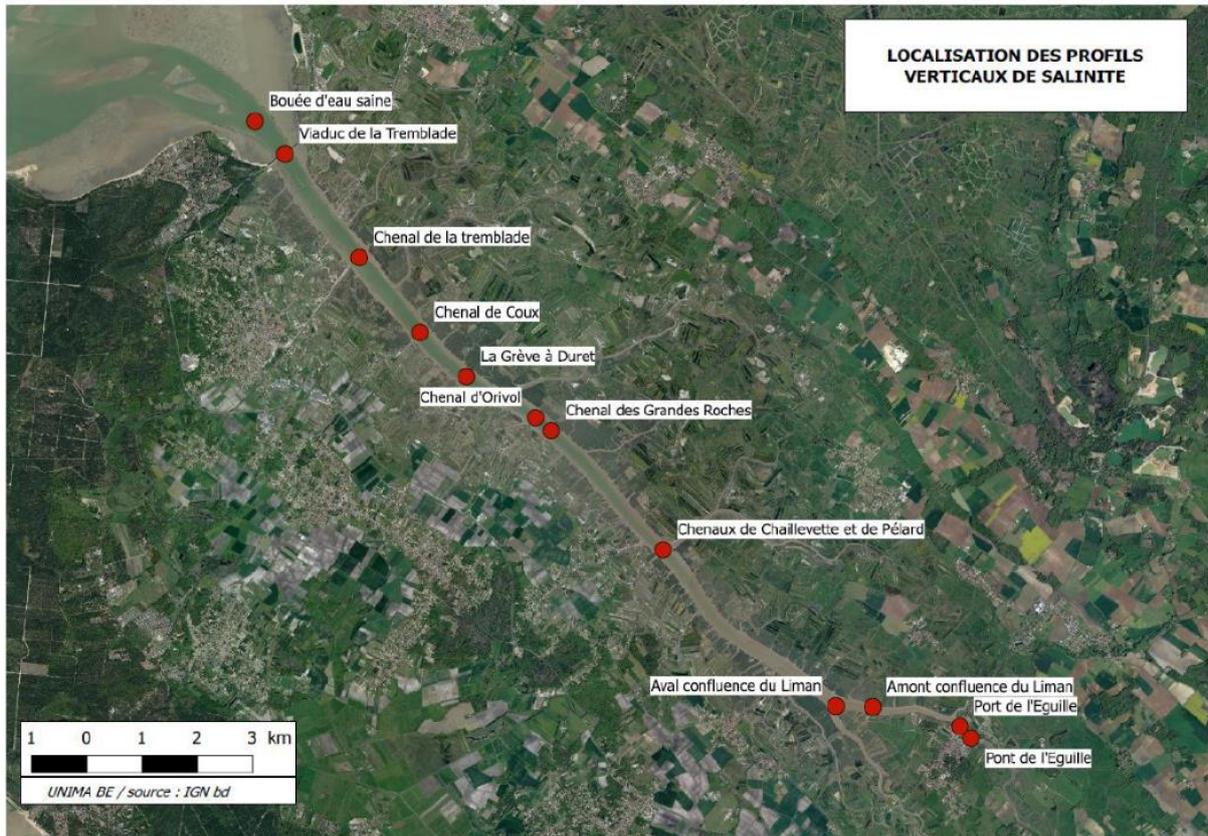
Les relevés du CREEA, devenu CAPENA suite à sa fusion avec l'IMA au 01/01/2021, et effectués pour le CRC offrent cependant des références importantes mais seulement sur la période à enjeu ostréicole. Le système d'alerte compte environ 30 points de mesures, majoritairement dans les marais et chenaux. Les mesures sont réalisées chaque semaine pour des coefficients de 70 à 80 et + pour les paramètres Température salinité et O₂. La période de suivi va d'octobre à avril (période à enjeu dans les claires). Le critère salinité est suivi de très près car les variations de salinité de +/- 0,5 % sont un fort facteur de stress pour les cheptels conchylicoles. Un traitement statistique de ces données pourra être réalisé pour confirmer l'existence d'un gradient longitudinal de salinité même s'il est peu marqué.



Stations	pk à partir de l'exutoire
Putet	200
Canal Marennes bas	1300
Péride bas (Route Neuve)	1900
Péride (haut)	1900
Atelier	2100
Audouine	2100
Recolaine Bas	5700
Orivol	6500
Pélard	9700
Poterie Haut	9800
Coulonges	11100
Mornac Chenal	12600
Mornac Seudre	12600
L'Eguille Seudre	16800

Figure 25 Position des points d'observations et salinité enregistré le 3 février 2021 avec un fort gradient géographique

Il n'existe pas de modélisation du gradient vertical de salinité. Cependant, contrairement à la Charente, la salinité peut présenter des différences significatives entre la surface et le fond comme l'ont montré les campagnes de mesures ponctuelles de l'UNIMA en 2018. Ces données de gradient seront d'ailleurs exploitées pour tester le modèle salinité « Telemac 3D Seudre ».



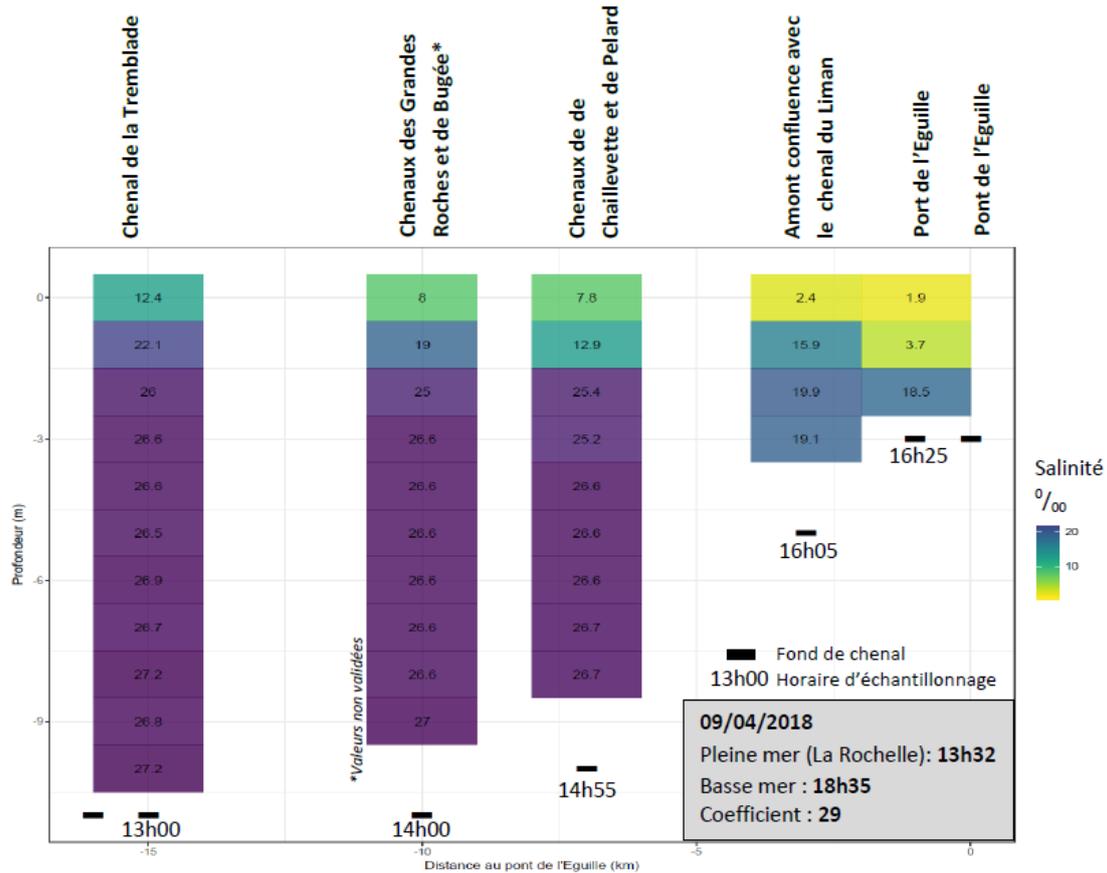


Figure 26 Données UNIMA campagne du 09/04/2018

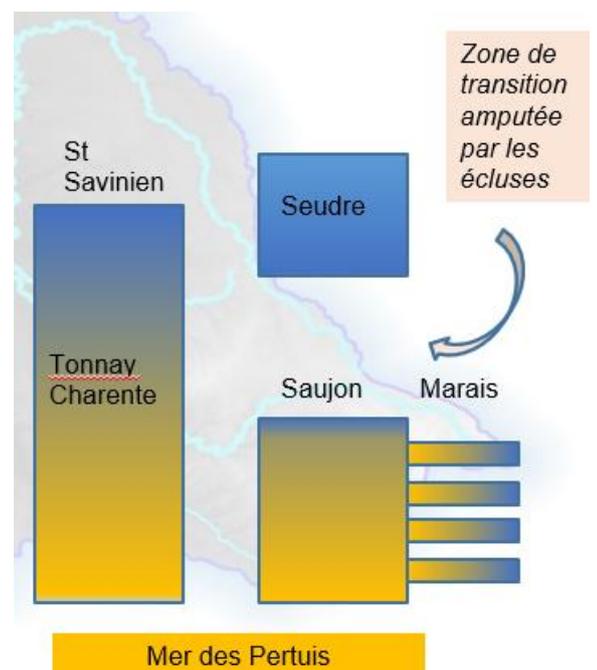
2.5.4.4 En résumé

Les deux estuaires sont très dissemblables avec des apports très faibles pour la Seudre et significatifs pour la Charente en moyenne annuelle même si les étiages peuvent y être très sévères.

Ainsi en étiage, sur la Charente le gradient de salinité de l'amont (fleuve) vers l'aval (océan) est toujours positif (effet dominant des apports en eau douce) alors qu'il peut être négatif sur la Seudre (effet dominant de l'évaporation).

La prise en compte de la salinité comme facteur de sectorisation de l'estuaire en lien avec les débits est donc plus pertinente sur la Charente que pour la Seudre.

Sur la Seudre les incidences liées à des crues fluviales ou des vidanges de marais restent pourtant un sujet très sensible en raison de l'exploitation conchylicole de cet estuaire.



2.5.5 Oxygène

2.5.5.1 Valeurs seuils de la DCE

L'oxygène est un paramètre majeur du bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Les estuaires présentent de fortes spécificités comparées aux rivières. Les mesures réalisées notamment au travers des sondes de suivi en continu confirment pour les deux estuaires des périodes d'hypoxie.

L'annexe 6 de l'arrêté du 27 juillet 201 en application de la DCE propose des seuils pour l'oxygène dissous dans les masses d'eau de transition.

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

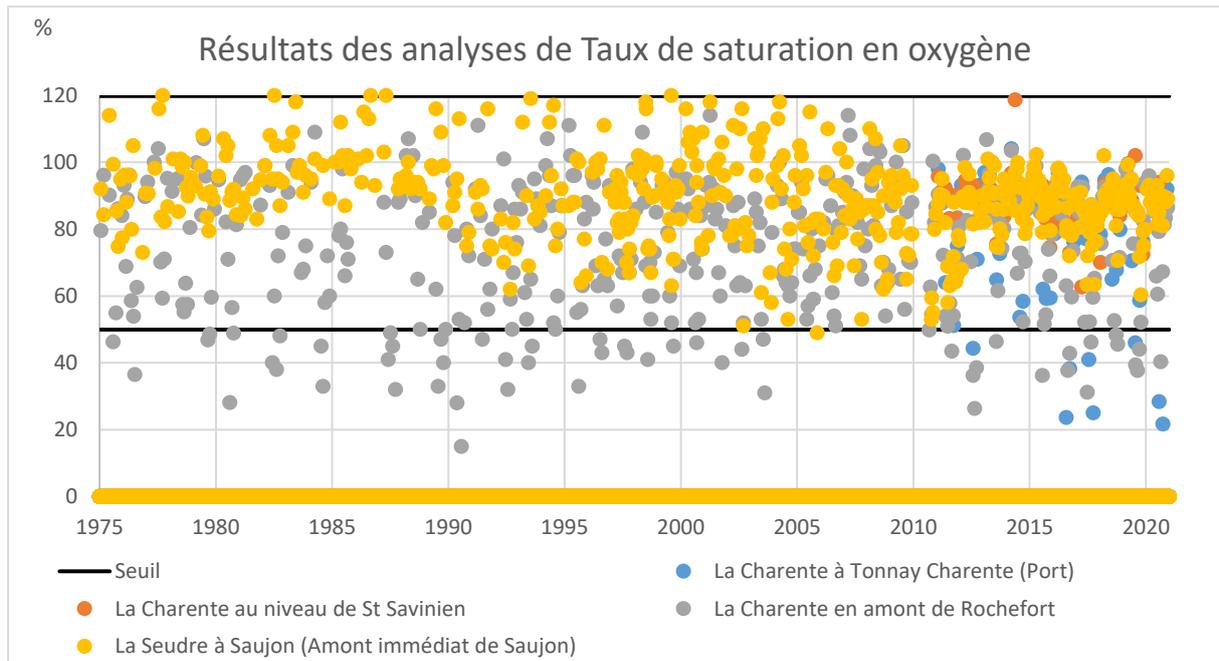
TYPE européen	TYPES français concernés	MASSES D'EAU françaises concernées	GRILLE Oxygène dissous (mg/ L)
Sans objet	Tous types	Toutes masses d'eau côtières	Très Bon : > 5 Bon : 5-3 Inférieur à Bon : ≤ 3

Les questions à résoudre au-delà de ce constat factuel sont liées à :

- L'extension dans le temps et dans l'espace de ces zones très contraignantes pour la biologie.
- Les causes bios géochimiques de ce phénomène
- Le rôle aggravant ou minorant du débit fluvial.

2.5.5.2 Données issues du Système d'Information sur l'Eau (SIE)

Certaines séries historiques longue période (1975/2020) établies par l'AEAG montrent une « dégradation » de la qualité de l'eau sur le paramètre oxygène en contexte estuarien ce qui s'explique par la dynamique propre au bouchon vaseux sur le secteur de Tonnay-Charente et Rochefort.



2.5.5.3 Réseau MAGEST



Cette interface permet la visualisation des données (température, salinité, turbidité, oxygène dissous) acquises par le réseau MAGEST depuis 2017 (données acquises de 2004 à 2016 disponibles ici). Le téléchargement nécessite de disposer d'un compte.



Figure 27 Positions des deux sondes Magest

Deux stations de suivi en continu de l’oxygène à Tonnay-Charente sur la Charente et à L’Eguille sur la Seudre ont récemment intégré le réseau MAGEST. Les deux derniers étiages de la Charente ont pu être suivis en continu grâce à l’installation de sonde provisoire à Tonnay-Charente pour les paramètres températures, salinités, turbidité et O₂. Les premières données en cours d’analyse et transmises par Sabine SCHMIDT, Directrice de Recherche CNRS UMR5805 EPOC (B18) sont particulièrement intéressantes car elles confirment une période de très faible oxygénation en étiage sur les deux stations.

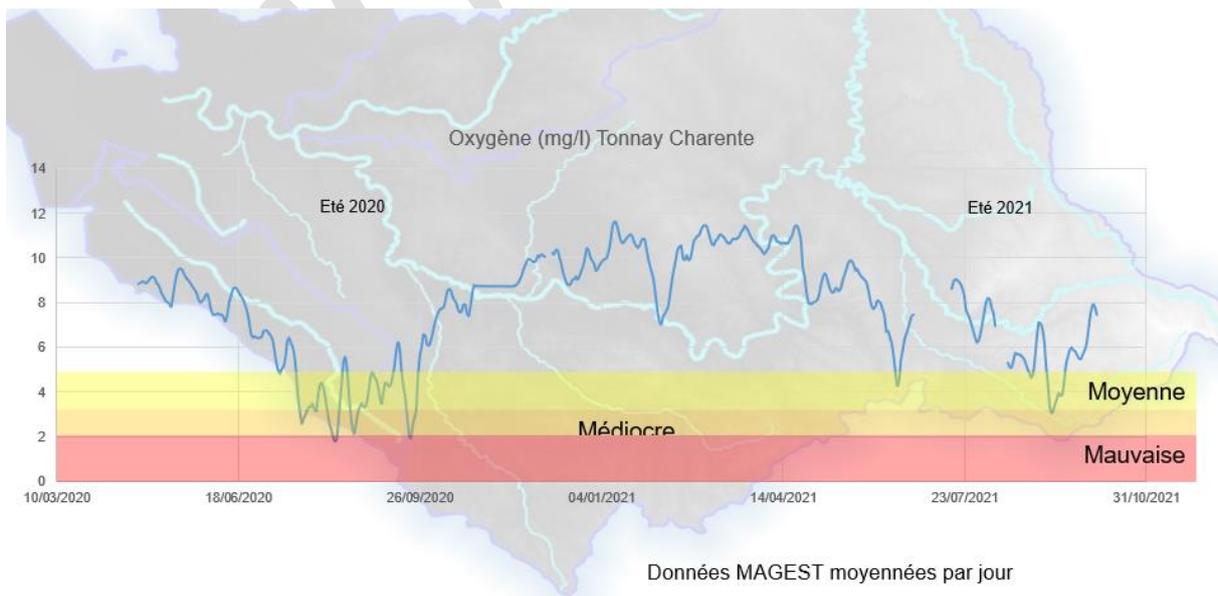


Figure 28 Moyenne journalière du taux d’oxygène à la station MAGEST de Tonnay-Charente (provisoire).

Un enregistrement très semblable a pu être effectué à l'Houmée (Station du CD 17). Son interprétation est en cours.

Les enregistrements bruts réalisés sur la sonde Magest de l'Eguille font apparaître aussi des périodes d'hypoxie sévère. La confirmation de ces résultats constituera donc un point très important de la compréhension des mécanismes propres à la période d'étiage et de l'enjeu pour la continuité écologique. Yann Davitoglu du SMBS confirme des mortalités piscicoles récurrentes au pied de l'écluse de Ribérou (obstacle à l'échappement en relation avec la thématique continuité écologique) et qui trouveraient vraisemblablement une explication dans le problème d'hypoxie confirmé en 2021 par les enregistrements MAGEST.

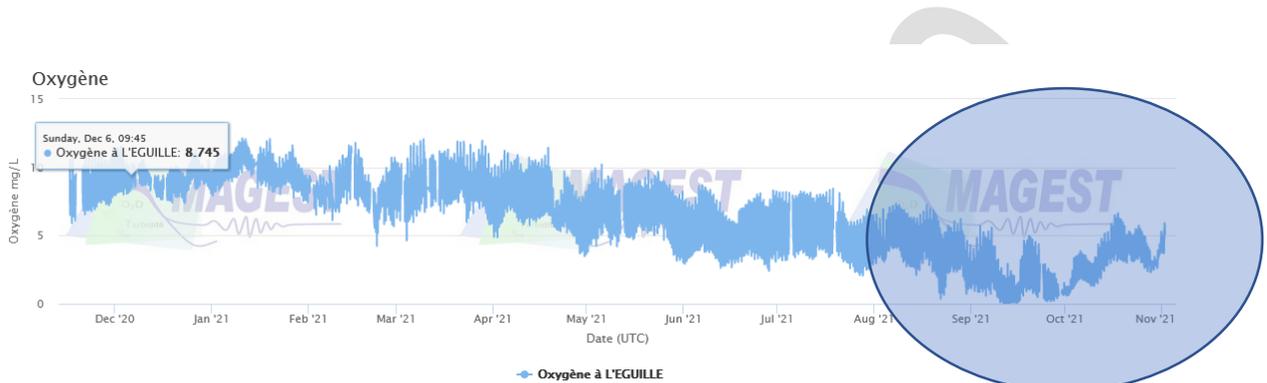


Figure 29 Enregistrement brut du taux d'oxygène à la station MAGEST de l'Eguille (provisoire). Quasi anoxie en fin d'étiage.

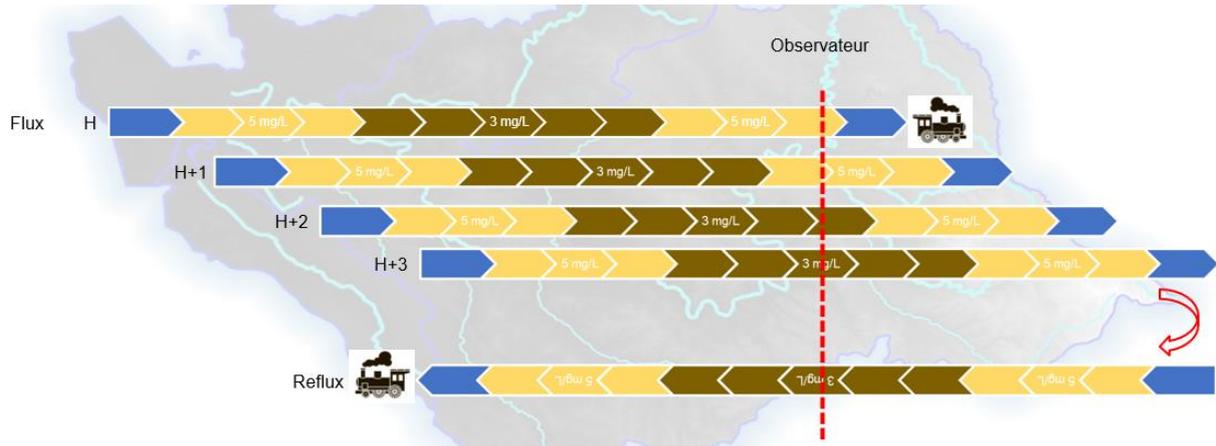
2.5.5.4 Evaluation expérimentale de l'extension de la zone hypoxique : exemple de l'année 2021 sur la Charente

Le croisement des données hydrauliques (modélisation Eaucéa Telemac 2D) et des enregistrements Magest à Tonnay-Charente a permis de quantifier la distance minimale sur laquelle la colonne d'eau mesurée présente une concentration en inférieure à deux seuils caractéristiques : 5 mg/L et 3 mg/L. Avec des classes comme suit :

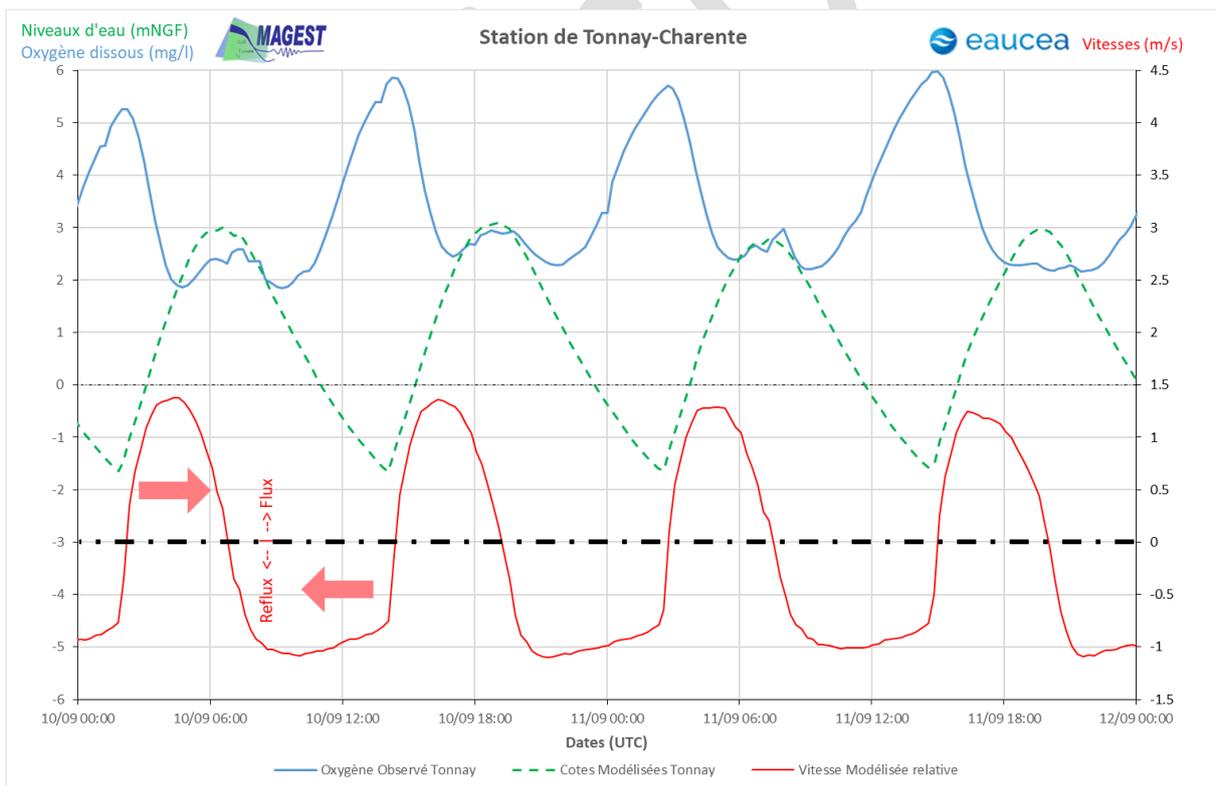
- < 1 mg/l : anoxie avec des mortalités de 1 à 2 mg/l et de 2 à 3 mg/l, une survie incertaine des juvéniles, une migration impossible pour les amphihalins et la mortalité des salmonidés ;
- 1 à 3 mg/l : hypoxie avec un seuil critique de 3 à 5 mg/l.

Le principe est de considérer la station Magest⁶ comme un point fixe qui voit défiler la masse d'eau à la montée puis à la descente.

⁶ Le même calcul a été conduit sur la station de l'Houmée avec des résultats encore provisoires.



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'étal 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.

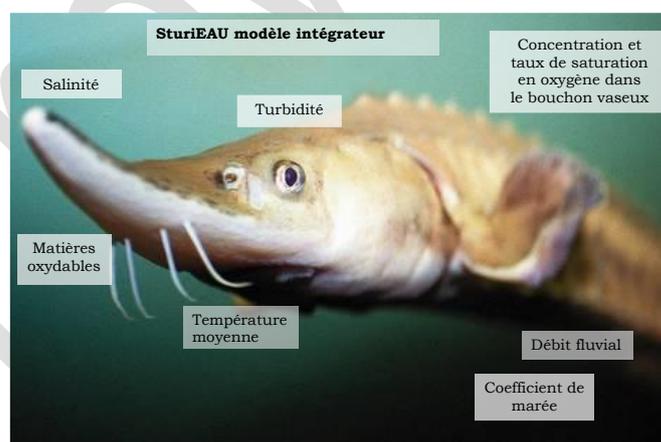


Un premier résultat à confirmer indique une longueur de la zone d'oxygénation inférieure à 3 mg/l de l'ordre de la dizaine de km observée en septembre 2021. Cette longueur est donc susceptible de jouer un rôle significatif sur l'écosystème estuarien.

		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

2.5.5.5 Approche du mécanisme par un modèle « boîte noire » Sturi'eau

Le modèle Sturi'Eau (eaucea) a pour fonction de calculer et prédire des paramètres physico chimiques estuariens en s'appuyant sur l'interprétation de données enregistrées en continu. L'analyse des données du réseau MAGEST, a permis de construire d'abord sur la Gironde un modèle d'interprétation, prédictif du risque sur l'oxygène. Ce modèle expérimental s'appuie aussi sur différents constats établis par l'université et permet de décrire l'évolution quotidienne en moyenne journalière des conditions du bouchon vaseux en s'appuyant sur quelques paramètres faciles à mobiliser (débit, marée, température).



L'objectif n'est pas de comprendre les mécanismes intimes qui contrôlent les cinétiques biologiques ou la dynamique sédimentaire mais plutôt de :

- favoriser l'analyse des liens entre débit, température et conditions écologiques estuariennes au point de mesure ; cette analyse s'effectue au travers d'équations dont les coefficients sont calés sur les mesures. Ce dispositif simplifie donc les mécanismes les plus complexes et ne les explicite pas dans leur détail. Il est donc qualifié de boîte noire.

- favoriser une analyse rétroactive des situations du passé, ce qui permet d'étendre significativement les séries temporelles et permet une approche statistique de certaines situations (par exemple nombre de jour où la température dépasse une valeur).
- proposer un outil prédictif des principaux paramètres utiles aux gestionnaires dès lors que toutes les autres conditions du milieu sont équivalentes.

Les paramètres suivants sont simulés et regroupés :

- La salinité
- La turbidité
- La température de l'eau
- La concentration en oxygène

Ces paramètres sont simulés à partir des données initiales présentées dans le tableau ci-dessous à savoir :

- Le débit à la Charente (somme des débits des stations de Beillant, Lijardière et Saint Jean d'Angely)
- Les coefficients de marée moyens
- La température de l'air à Saintes
- Les matières oxydables (hypothèses importantes pour la suite des travaux)
- L'apport amont par les rivières (suivi SIE) et rejets locaux (STEP)

Les données de salinité, turbidité, température de l'eau et concentration en oxygène sont relativement bien renseignées par la mesure via le réseau MAGEST (et aussi l'EPTB pour des données de 2019 et les données du CD17 de 2021) notamment mais, elles sont limitées car plusieurs données sont manquantes et ne permettent pas un calage précis du modèle, cependant :

- Le modèle a vocation à proposer une structure de l'information (points de restitution des simulations, type d'indicateur, etc.) pour contribuer à orienter les travaux de recherche (modélisation) en cours.
- Il permet également d'ores et déjà de définir des ordres de grandeur du fonctionnement des principaux paramètres de l'écosystème estuarien.

Le modèle a été défini pour la Charente à Tonnay-Charente. Des marges de progrès restent possibles, la précision des simulations dégage des ordres de grandeurs qui nous semblent pertinents eu égard aux conditions de mesures malgré le faible recul pour le calage du modèle.

Le schéma ci-dessous (cf. Figure 30) présente les étapes de la modélisation de la concentration en oxygène dans le bouchon vaseux à Tonnay-Charente. Ce schéma montre qu'en plus des données initiales présentées précédemment (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), les données dites de premier (Température de l'eau, Turbidité et Salinité) sont obtenues par simulation à partir des données initiales et les données de second ordre (Taux de Saturation en Oxygène et Concentration en Oxygène dans le Bouchon Vaseux) sont obtenues à partir des données de premier ordre par simulation.

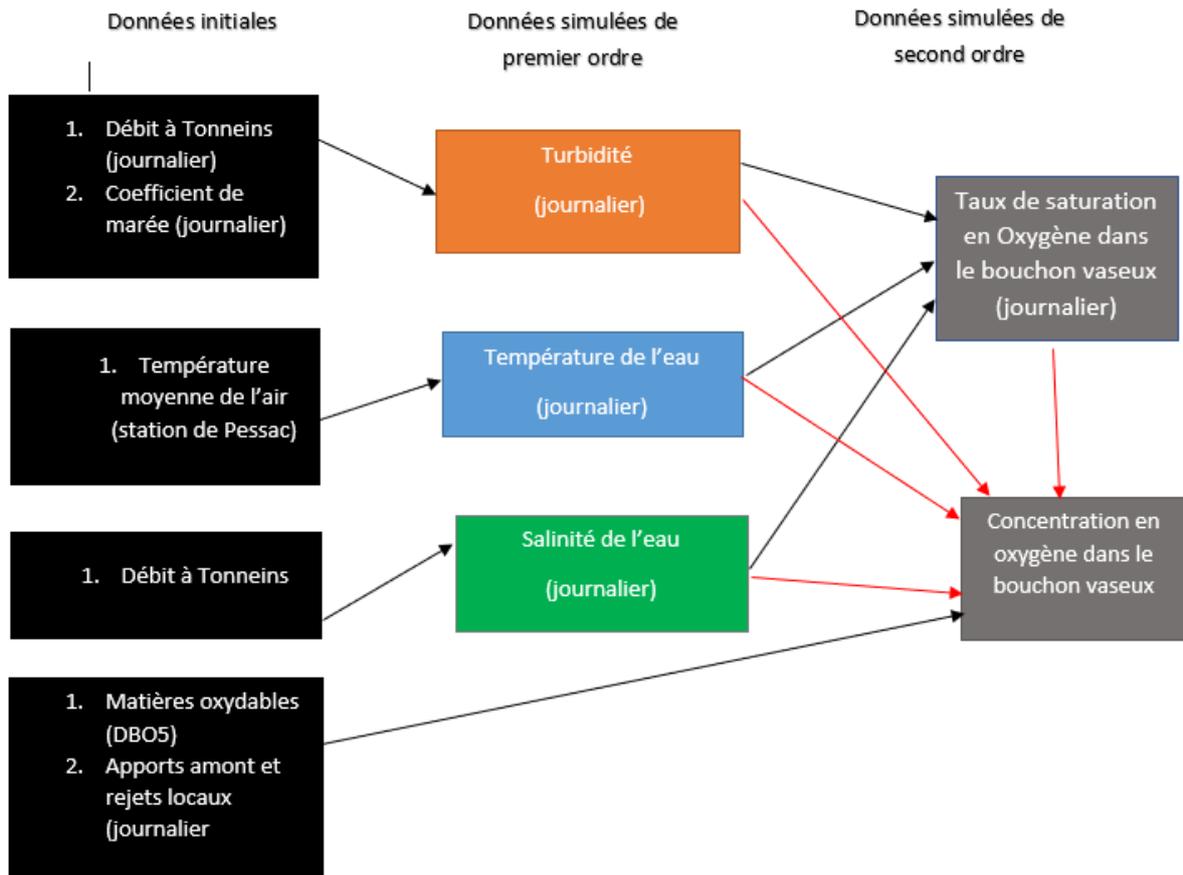


Figure 30: Schéma de la modélisation de la concentration en oxygène dans le bouchon vaseux.

Les différentes hypothèses et résultats de modélisation des variables de premier ordre (Température de l'eau, Salinité et Turbidité) et de second ordre (Taux de Saturation en Oxygène et Concentration en Oxygène) sont présentés ci-après.

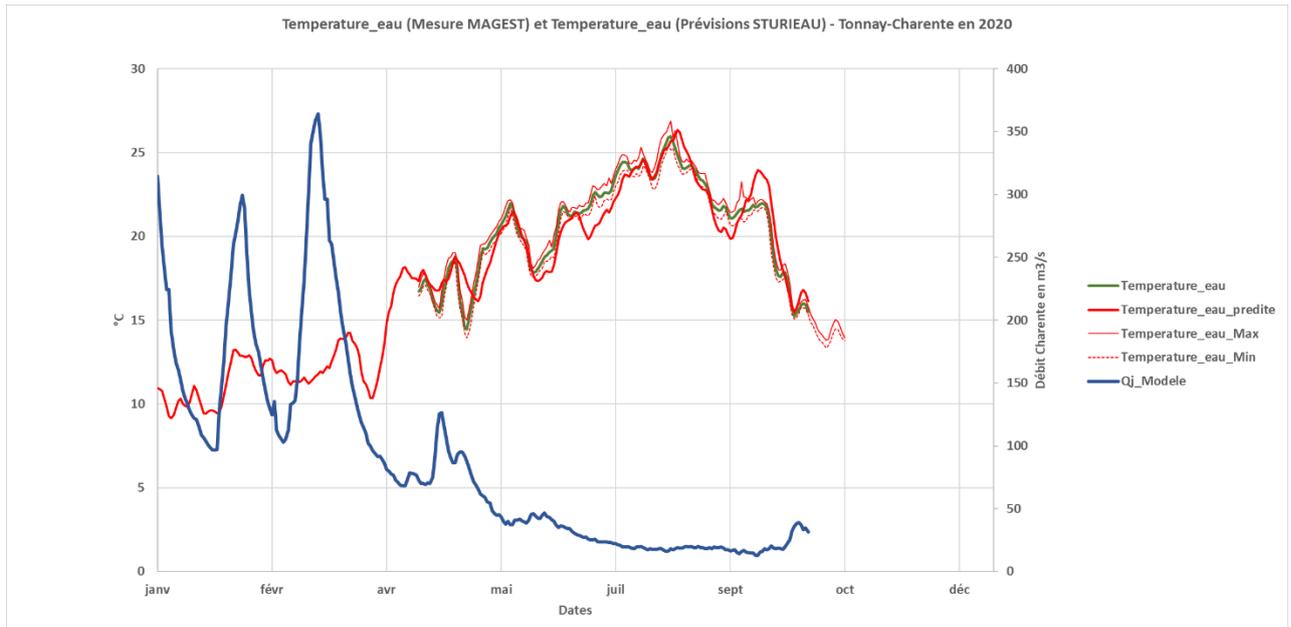
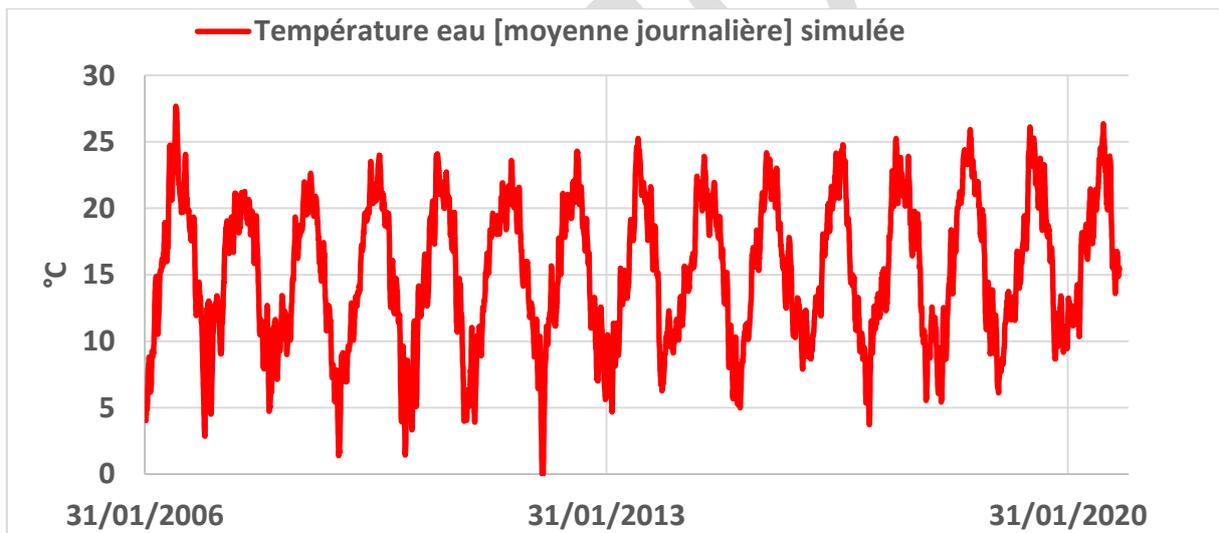


Figure 31: Résultat de simulation de la Température de l'eau (STURIEAU) à Tonnay-Charente à partir de la température de l'air à Sainte (Météo-France) pour l'année 2020

La simulation a pu ainsi être étendue sur une quinzaine d'années (depuis 2006).



Le second paramètre est la turbidité mais où sont apparus des difficultés de prévision entre 2020 et 2021.

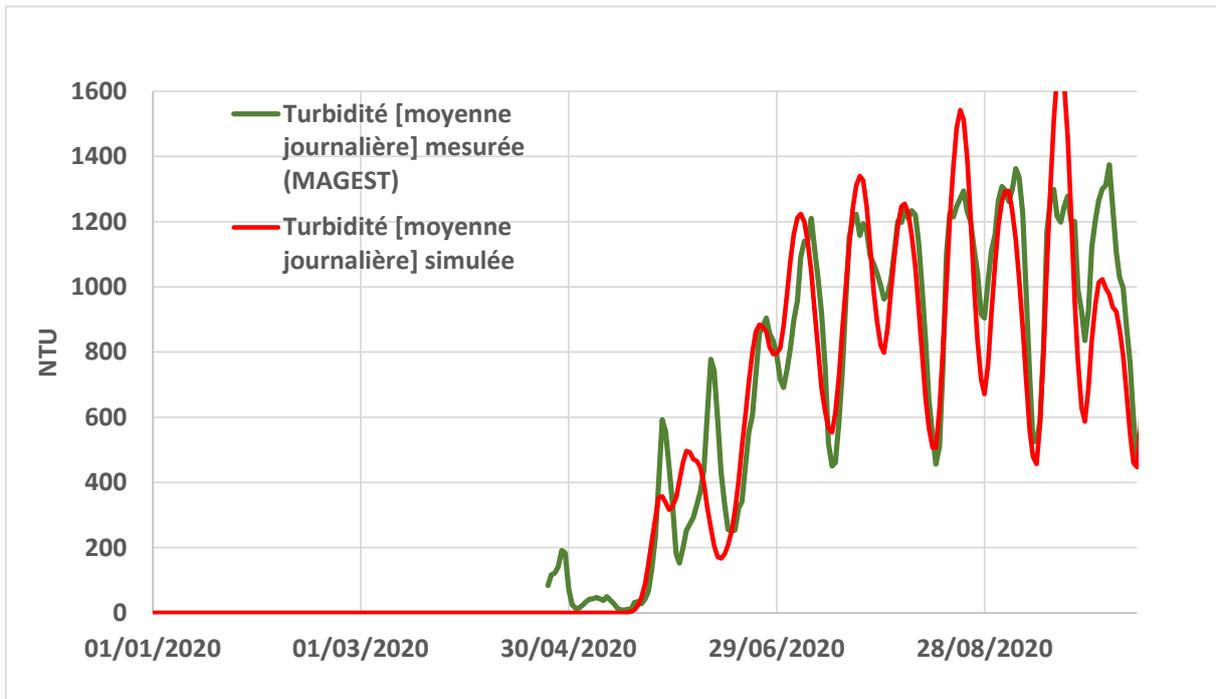


Figure 32: Comparaison entre Turbidité [moyenne journalière] simulée et Turbidité [moyenne journalière] mesurée (MAGEST) à Tonnay en 2020

La prévision de l'Oxygène dissous, objectif principal de cette modélisation conduit à des résultats prometteurs mais qui devront être affinés en seconde phase de travaux (tranche conditionnelles) notamment en raison des fortes incertitudes sur les flux de MO.

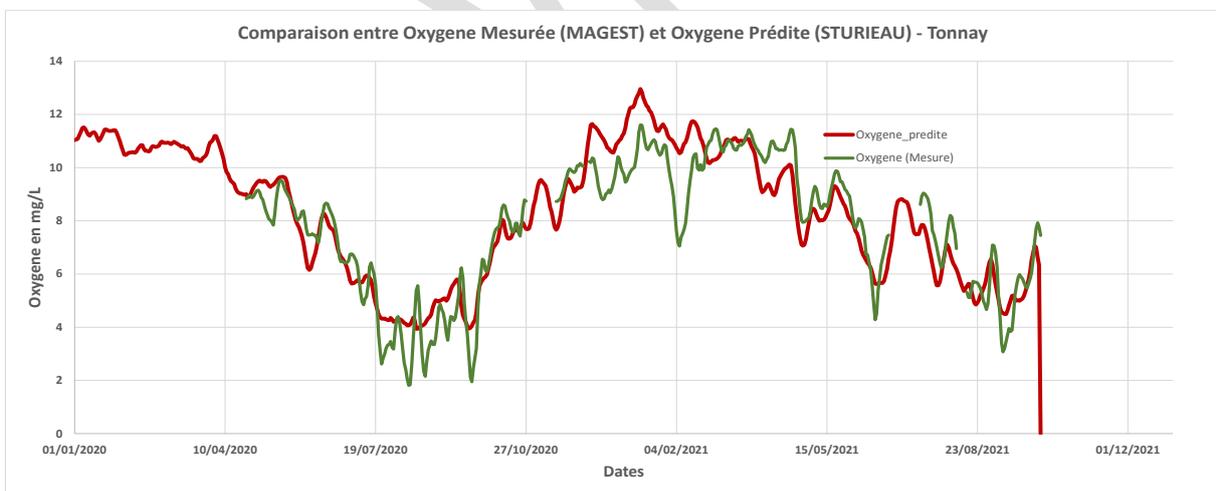


Figure 33: Comparaison entre O₂ [moyenne journalière] simulée et O₂ [moyenne journalière] mesurée (MAGEST) à Tonnay en 2020 et 2021.

2.5.6 La matière organique

La matière organique particulaire (MOP) est une source trophique importante favorable à la productivité biologique mais peut aussi être à l'origine de processus de biodégradation avec des incidences sur la qualité oxygène de l'eau.

2.5.6.1 Les données du SIE

Plusieurs stations de suivi des eaux permettent de poser un diagnostic « longue période » sur des éléments clés de la qualité estuarienne vis-à-vis des fractions biodégradables. A Rochefort et Saujon des valeurs très élevées de DBO5 (> 25 mg/L) mais aussi d' NH_4 fortement biodégradable (> 5 mg/L) ont pu être observées dans le passé sans doute en lien avec des pollutions urbaines et industrielles locales.

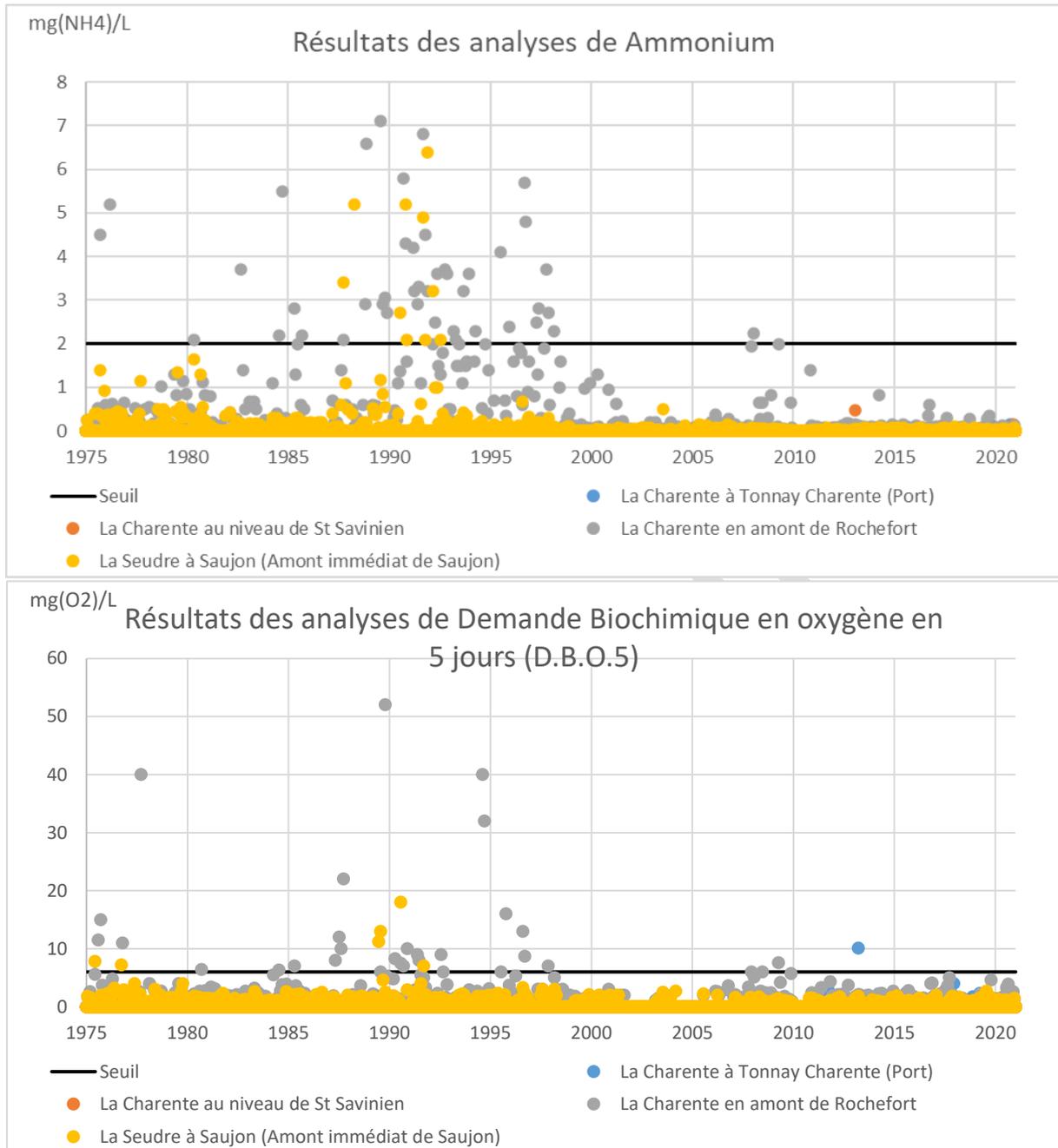


Figure 34 Graphes longue période de la concentration en NH₄ et DBO5

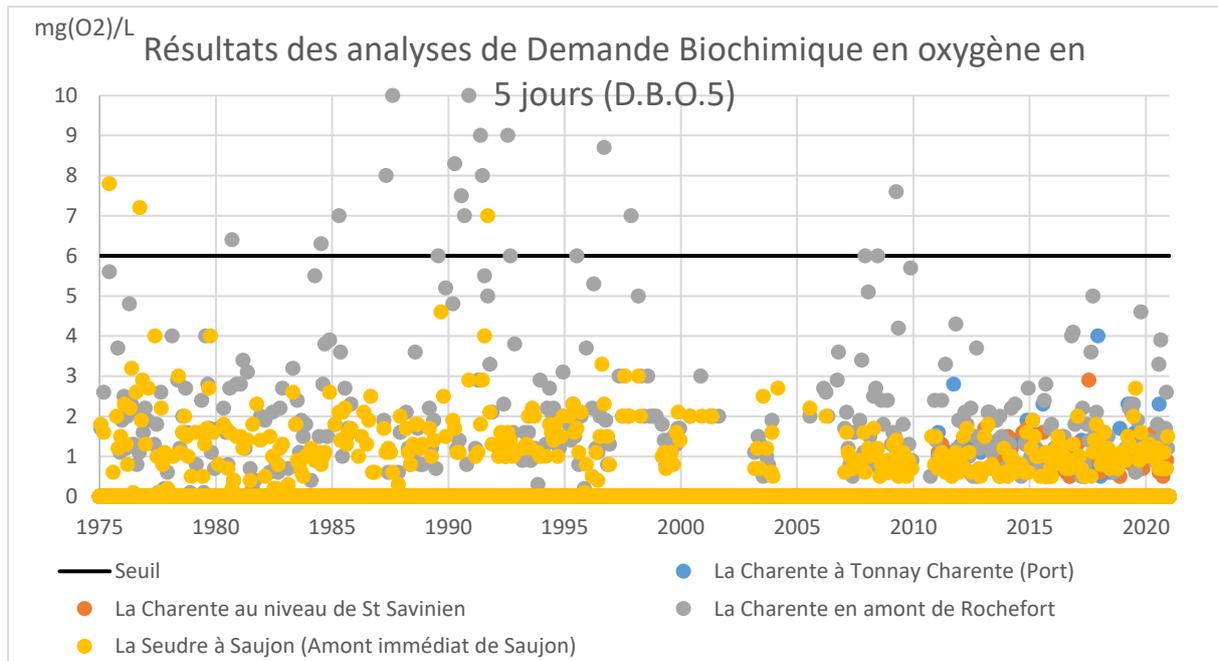


Figure 35 Zoom : Graphes longue période de la concentration en DBO5

En resserrant l'échelle des concentrations nous observons cependant le maintien de valeurs qui sont élevées pour des milieux naturels. La question de l'origine de cette matière organique biodégradable et donc probablement la cause des situations d'anoxie est donc très importante.

2.5.6.2 Flux de matière organique de l'estuaire de la Charente.

La thèse de Julien Modéran⁷ est considérée comme la meilleure synthèse disponible sur les flux de matière organique de l'estuaire de la Charente.

Deux points extraits de ce travail sont à mettre en exergue :

Selon Middleburg et Herman (2007), l'estuaire de la Charente peut être classé entre les estuaires très turbides avec des % faibles et constants de la matière organique particulaire (MOP) (comme l'estuaire de la Gironde) et les estuaires moins turbides avec un % de MOP plus élevé et variable comme l'estuaire de l'Escaut. La teneur en carbone de MES (% PS) plus variable et en moyenne deux fois plus importante qu'en Gironde. De même, la concentration en chlorophylle a, issue de la production phytoplanktonique, est assez élevée en moyenne notamment dans le bouchon vaseux et bien supérieure à celle de la Gironde. Modéran et al.(2010) ont suggéré que, dans l'estuaire de la Charente, les distributions pigmentaires le long du gradient de la salinité sont caractérisées par (i) une efflorescence estuarienne autochtone au-dessus de la salinité 15 en juin (comme dans l'Elbe et la Gironde ; Lemaire et al., 2002), et (ii) une concentration maximale de pigment dans la zone du maximum de turbidité en automne et en hiver malgré une turbidité très élevée (comme dans la Tamise ou l'Escaut ; Lemaire et al., 2002).

⁷ 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.

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. Modéran, explique que « La concentration élevée de Chl *a* mesurée dans la zone de turbidité pourrait donc être due à la remise en suspension des diatomées épipéliques⁸ benthiques produites sur les larges vasières s'étendant le long de l'estuaire de la Charente (jusqu'au barrage de St-Savinien). Dans un estuaire macrotidal petit et étroit, les zones intertidales doivent avoir une plus grande importance liée au volume d'eau que dans grands estuaires comme la Gironde. Les phaeopigment (Fig. 4.3) se comportent de manière similaire au MES. La zone d'eau douce affiche les concentrations les plus faibles (de 0,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en période d'étiage à 2,7 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en période de crue). L'accumulation de matière organique dans la ZMT est également caractérisée par une fraction accrue de matériel d'algues détritiques tel que révélé par des concentrations élevées de phaeopigment à 0,5 et 5 (jusqu'à 55 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en novembre). »

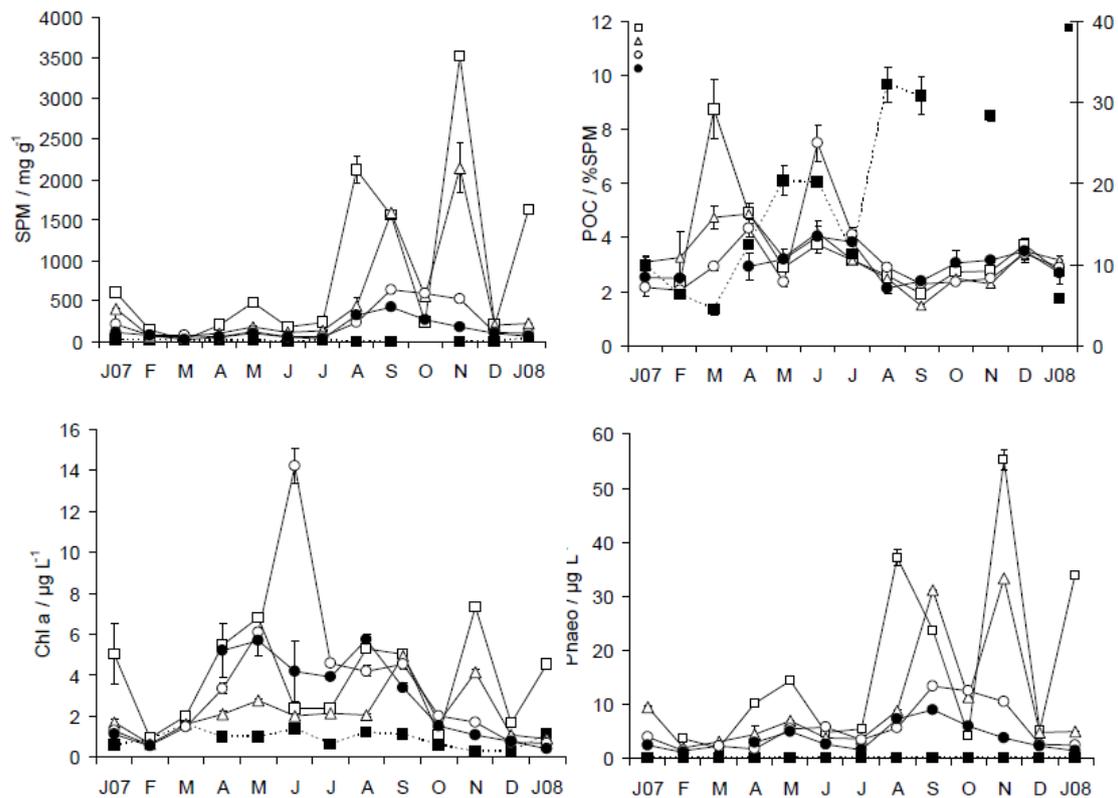


Fig. 4.3 Monthly evolution (mean \pm standard deviation) of the suspended particulate matter concentration (SPM, mg.l^{-1}), chlorophyll a concentration (Chl a, $\mu\text{g.l}^{-1}$), phaeopigments concentration (Phaeo, $\mu\text{g.l}^{-1}$) and particulate organic carbon content (POC, %SPM) for each of the salinity-defined stations: FW (■), 0.5 (□), 5 (△), 15 (○) and 25 (●). POC: left axis (stations 0.5, 5, 15, 25), right axis (FW).

Source Modéran Variations mensuelles des paramètres selon le gradient de salinité (et donc la position dans l'estuaire)

⁸ Se dit d'un organisme qui vit à la surface des sédiments meubles ou à l'interface eau-sédiments.

La variation de surface de la zone intertidale (30 % de la surface estuarienne), en lien partiel avec l'hydrologie au moins dans la partie amont de l'estuaire, est un des éléments de contexte déterminant de la productivité estuarienne. La biodégradabilité de ce flux de matière organique particulaire constitue un enjeu important au côté des sources continentales.

Une partie de la vulnérabilité en termes de conséquence de la biodégradation en période de forte chaleur et de faible débit fluvial.

2.5.6.3 Flux de matière organique de l'estuaire de la Seudre

A notre connaissance il n'y a pas de synthèse disponible équivalente à celle de la Charente sur la production primaire, mais à confirmer.

2.5.6.4 La production primaire estuarienne, un enjeu majeur

Le rôle de la matière organique et du cycle du Carbone a été largement évoqué en conseil scientifique notamment en considérant la productivité primaire des vasières. La cartographie de la production primaire présentée par le Parc marin nous rappelle que les écosystèmes des vasières et des embouchures sont parmi les principaux puits de Carbone de la planète en termes d'intensité de piégeage par unité de surface.

Les travaux de **Christine Dupuy** de l'université de La Rochelle (LIENSs) constituent une première source d'information à mobiliser.

Le littoral et les marais : un enjeu "carbone"



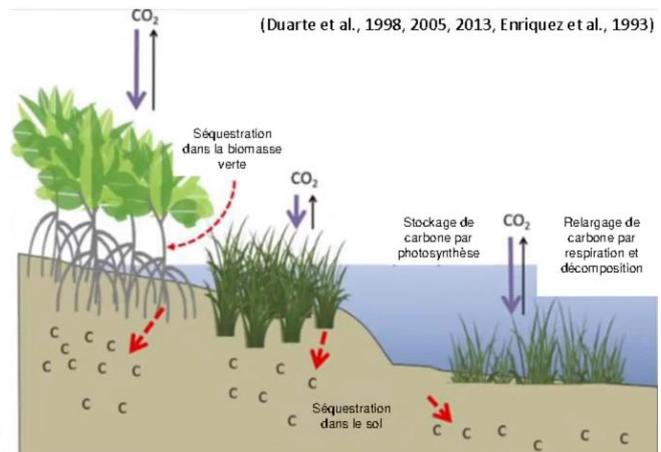
Large variation de la séquestration/stockage du carbone

	D'après la bibliographie
• Océan	0,06 tCO ₂ eq/ha/an
• Marais doux	1 tCO ₂ eq/ha/an
• Marais salés	6 tCO ₂ eq/ha/an
• Herbiers marins	6 tCO ₂ eq/ha/an
• Vasières intertidales	0,06 jusqu'à 44 tCO ₂ eq/ha/an

Où les écosystèmes végétalisés côtiers stockent le carbone ?

Où sont les écosystèmes végétalisés côtiers en question ?

- **Stockage du CO₂**
 - biomasse (vivante et morte)
 - > *décennies*
 - sédiments
 - > *milliers d'années*
- **Interface terre-mer**
 - marais plutôt salé
 - mangrove
 - dans la zone de balancement des marées (ex: herbiers)
- **En mer : jusqu'à 40 m de profondeur**



Le littoral et les marais : des écosystèmes clés dans le carbone bleu - Christine Dupuy

Figure 36 Le littoral et les marais : des écosystèmes clés dans le carbone bleu - Christine Dupuy

Une seconde hypothèse quant au puit à oxygène serait liée au cycle du phosphore sédimentaire et donc liée à l'hydraulique. La réactivité des particules stockées serait suffisamment importante pour générer une baisse significative de la quantité d'oxygène dans la colonne d'eau lors de la mise en suspension des sédiments (projet Oxymore Université d'Angers Edouard Metzger / Grégoire Maillet / Sabine Schmidt action du LIFE Intégré REVERS'EAU).

2.6 Hydrobiologie des estuaires Charente Seudre

2.6.1 4 fonctions écologiques majeures à prendre en compte pour les espèces piscicoles

4 fonctions majeures sont identifiées dans la bibliographie scientifique des estuaires (Jean Paul Ducroy)

- Reproduction et nurserie => cartographie x exigence x espèces ;
- Zone d'alimentation=> cartographie x exigence x espèces ;
- Refuge=> cartographie x exigence x espèces ;
- Voie de migration => caractérisation des obstacles x espèces.

Ces éléments relèvent pour beaucoup d'une expertise des milieux physiques (habitat) ou intégrant les relations trophiques (alimentation) ; Dans le continuum fleuve littoral et sous l'influence conjointe de la marée et des débits, la notion d'habitat ne peut être réduite comme on le pratique pour les rivières à une juxtaposition d'habitats permanents et statiques. La réalité, est plus une mosaïque sans cesse recomposée sur le plan spatial mais qui doit cependant offrir à l'échelle du macrohabitat des conditions favorables à l'ensemble des espèces.

La continuité hydraulique et piscicole (cf. cartographie des obstacles) reste sans doute un point clé du bon fonctionnement estuarien en offrant une possibilité de colonisation et d'échappement dès que les conditions sont favorables ou défavorables.

Le débit fluvial est un facteur souvent peu déterminant sur la géométrie des habitats estuariens surtout pilotée par la marée. En revanche, le débit fluvial peut jouer un grand rôle aux interfaces. C'est une condition nécessaire à la connexion hydraulique des milieux, y compris l'alimentation en eau des passes à poissons ou le maintien d'un flux au travers des vannes (pertuis pour les anguilles par exemple). Ces débits peuvent représenter des volumes d'eau douce cumulés importants et parfois limitants en situation de sécheresse (exemple des marais réalimentés).

2.6.2 Conditions physico chimie de l'habitat aquatique estuarien

Indépendamment de toute pression humaine, la diversité des situations naturelles peut être importante, et l'étude croisée des estuaires de la Seudre et de la Charente en est un bon exemple. Il n'y aura donc pas de résultats facilement transposables d'un estuaire à l'autre si ce n'est sur le plan méthodologique.

Le premier critère d'analyse sera celui du contexte halin, en relation avec les débits, la position dans l'estuaire et les coefficients de marée. Les modèles hydrodynamiques et l'analyse hydrologique servent cet objectif.

Plusieurs paramètres apparaissent déterminants dans la sélection de l'habitat par des espèces estuariennes : l'hydromorphologie (granulométrie, forme des berges, connexion, etc.) et la salinité.

Un habitat ne peut être favorable à une espèce/stade ontogénique de poissons ou communauté d'invertébré que si la salinité à cet endroit est compatible avec ses besoins. Les espèces estuariennes sont représentées en moyenne par environ 65 % d'espèces d'origine marine, 10 % d'espèces dulcicoles et 25 % d'espèces sédentaires.

Le second critère est lié à la physiologie et aux comportements des poissons. Les espèces ou stades ontogéniques se caractérisent aussi par leur capacité plus ou moins grande à se déplacer pour accompagner ou non le mouvement des masses d'eau. Il faut donc éviter une vision trop « statique » de la notion d'habitat dans l'analyse des milieux estuariens.

Les variations de salinité du milieu constituent une contrainte forte ; les poissons peuplant un estuaire sont principalement des espèces euryhalines (60 %). Quelques espèces sténohalines peuvent vivre dans ce type de milieu mais uniquement dans les secteurs les plus à l'amont. Des poissons faiblement euryhalins comme le sandre peuvent survivre à des salinités de l'ordre de 8-10 ‰ pendant un certain temps variant de quelques heures à quelques jours.

Cette tolérance à des conditions limitantes est influencée par d'autres paramètres notamment la température : cette dernière joue sur l'activité métabolique et donc indirectement sur la résistance du poisson à une perturbation (forte salinité, hypoxie, ...).

Globalement, l'importance d'une perturbation est fonction de trois paramètres : son intensité (concentration en oxygène, en polluant, température, ...), le temps d'exposition des individus à la perturbation (heure, jours, années) et l'emprise géographique de cette perturbation. Les individus les moins mobiles sont souvent désavantagés car ils ne peuvent « fuir » des conditions ponctuellement pénalisantes. C'est notamment vis-à-vis de ce type de comportement d'échappement que la connexion à des zones « refuges » (amont ou aval ou latéral) peut devenir essentielle. L'enjeu spatial est donc du niveau macro habitat (exemple de l'extension longitudinale du bouchon de turbidité).

Les petites espèces et jeunes stades ontogéniques, possédant des capacités de nage plus faibles sont les plus exposées, d'autant que les jeunes stades possèdent des besoins physiologiques plus importants que les stades adultes, accroissant encore cette vulnérabilité.

Pour l'analyse, il est proposé de prendre en compte un cortège d'espèces indicatrices (à déterminer) : espèces dont les besoins intègrent ceux de tout un cortège d'espèces. Il ne s'agit pas de chercher une relation binaire espèce par espèce (par exemple la sole) mais bien de prendre en compte au mieux plusieurs éléments d'écologie. C'est d'ailleurs le sens des indicateurs DCE.

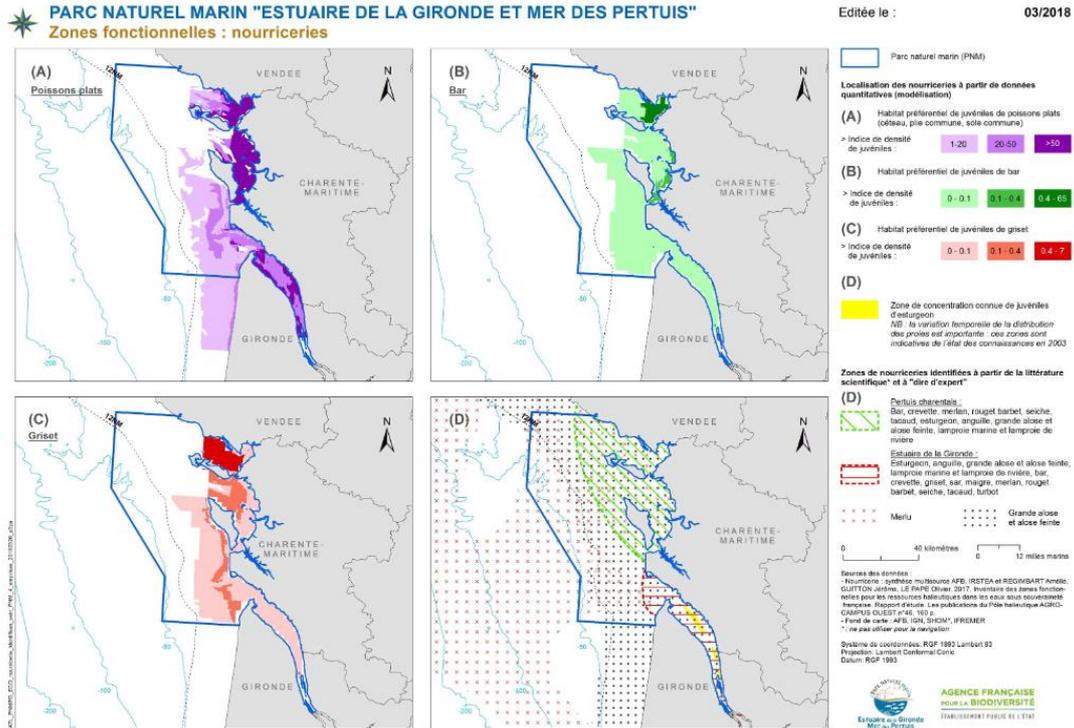
La notion de débit d'attrait pour les grands migrateurs sera à explorer (lien avec les données de comptage ?).

Le troisième type de critère est celui des conditions physico-chimiques limitantes. L'oxygénation de l'eau est pour les raisons évoquées précédemment, un critère majeur de résilience des populations piscicoles ou benthiques face à des situations de crises souvent multifactorielles (températures, turbidités, salinité, pollutions chimiques).

2.6.3 Cartographie des habitats benthiques, nurricerie du parc Naturel marin « estuaire de la Gironde et mer des pertuis »

Les invertébrés benthiques (peu mobiles) dans le milieu estuarien se caractérisent par une relative pauvreté spécifique mais une grande productivité. Les espèces présentes se caractérisent à la fois par une bonne résistance aux conditions extrêmes de ce milieu mais aussi par une forte résilience qui permet aux communautés de se reconstituer après des périodes à problèmes.

Source CARTHAM, qui concerne essentiellement le domaine marin et littoral.



Version validée par le conseil de gestion le 13 avril 2018 – Atlas cartographique du plan de gestion du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis

2.6.4 Système trophique et turbidité : le cas de la Charente

Le système trophique estuarien 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.

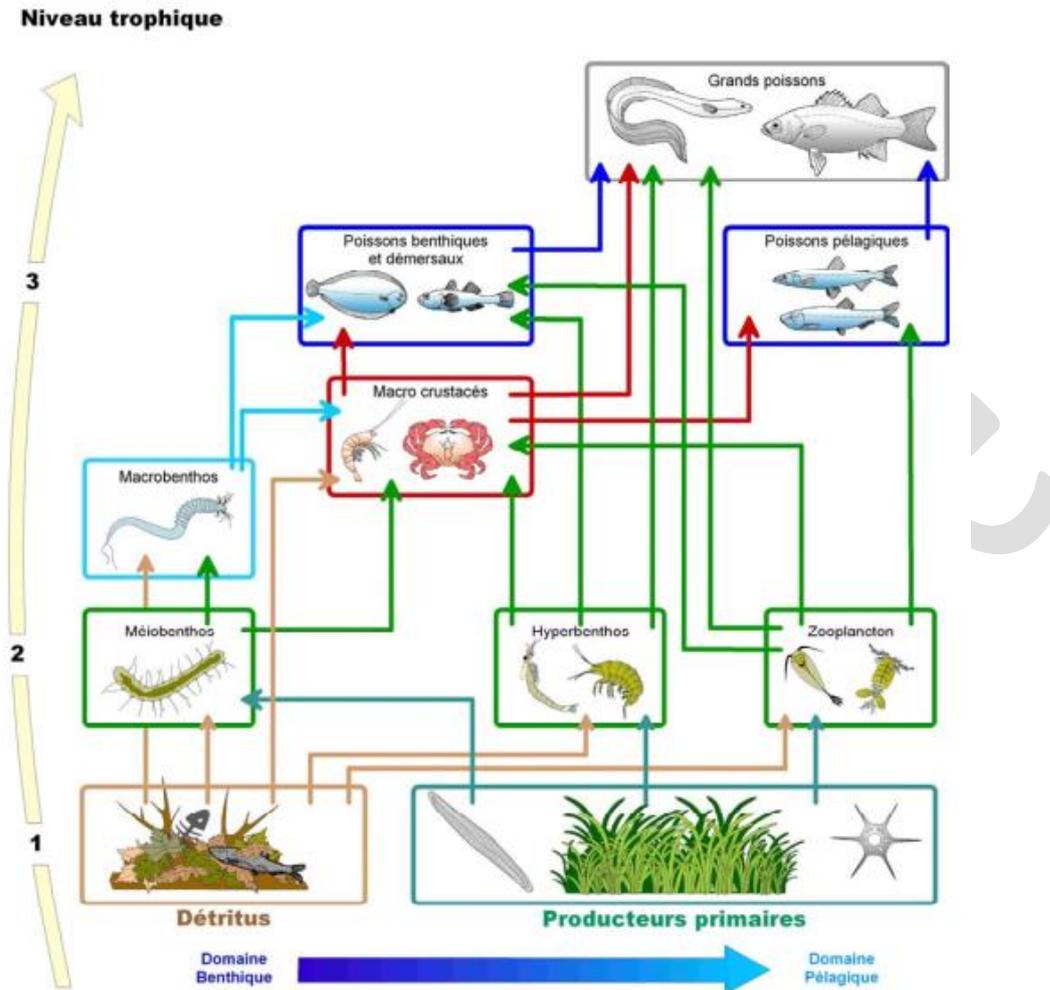


Fig. 5 : Exemple de réseau trophique d'un estuaire du type de la Gironde (d'après Lobry, 2004).

Figure 37 Schéma du réseau trophique estuarien, « Des poissons sous influence ? » Thèse Delphine Nicolas p 16

Dans la Charente, la production primaire de la zone en eau douce est plutôt faible.

Selon la thèse de J. Modéran⁹, 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 milieu peu oxygéné, mesurées dans la zone oligohaline agissent comme une frontière physique qui contrôlerait la distribution longitudinale des organismes planctoniques.

Le schéma ci-dessous proposé par Julien Modéran illustre cette notion centrale pour la Charente, mais qui est forcément moins pertinente pour la Seudre en raison d'un moindre gradient de salinité.

⁹ 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

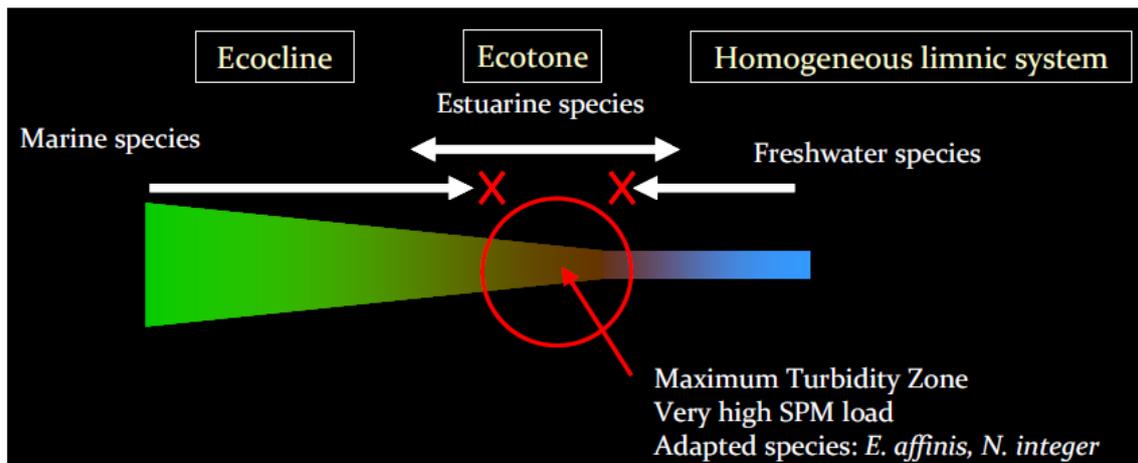


Fig. 2.11 Frontières écologiques en estuaire: modèle conceptuel tel que proposé à la suite de la présente étude pour la communauté zooplanctonique d'un estuaire turbide, la Charente.

2.6.5 Cycle biologique des poissons en estuaires

Le calendrier de la présence des espèces en estuaires est un élément important d'une stratégie de définition de besoins biologique spécifiques. Le calendrier écologique dépend des stades

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 <i>Alosa sp.*</i>	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
	<i>Anguillidae</i>	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 38 Calendriers d'occupation des masses d'eau de transition par les espèces de poissons considérées – présence et migrations (d'après ÉLIE, 1992); en rouge: espèces diadromes citées pour mémoire. Source C. Taverny CEMAGREF (2009)

Calendrier migratoire Garonne Dordogne

Tableau 7 : Calendrier des migrations des espèces de la Garonne, gris foncé : géniteurs ; gris clair : larves et juvéniles, encadré rouge : période hypoxique ; espèces en rouge : espèces potentiellement affectées par l'hypoxie.

Espèce	Stade	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aoû	sep	oct	nov	déc	Montaison	Dévalaison
Lampetra fluviatilis	Adulte													X	
	juvénile														X
Petromyzon marinus	Adulte													X	
	juvénile														X
Anguilla anguilla	Adulte														X
	juvénile													X	
Alosa alosa	Adulte													X	
	juvénile														X
Alosa fallax	Adulte													X	
	juvénile														X
Salmo trutta trutta	Adulte													X	
	juvénile														X
Salmo salar	Adulte													X	
	juvénile														X
Acipenser sturio	Adulte													X	
	juvénile														X
Osmerus eperlanus	Adulte													X	
	juvénile														X
Platichthys flesus	Adulte														X
	juvénile													X	
Liza ramada	Adulte														X
	juvénile													X	
Liza aurata	Adulte														
	juvénile														
Chelon labrosus	Adulte														
	juvénile														
Palaemon longirostris	Adulte														
	fem														
	juvénile														

2.6.6 Tolérance des poissons en estuaire : température, oxygène dissous, turbidité et salinité

Dans un milieu en perpétuel mouvement de balancement, la question de la fréquence et de la durée des événements à problèmes dépend bien sûr de la capacité d'échappement des espèces.

Les valeurs de la DCE peuvent différer de celles présentées dans le tableau ci-dessous mais seraient sans doute plus pertinentes au dire de certains experts¹⁰.

¹⁰ 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

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 ⁻¹	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 39 Proposition d'une grille qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence. Sourced'étude CEMAGREF C. Taverny et al 2009

Pour Mario Lepage, les incidences physiologiques de la concentration en oxygène dépendent de la concentration absolue et non pas en % de saturation puisque l'augmentation de température augmente les besoins de ventilation alors même que la concentration à saturation diminue. Les effets sur les communautés peuvent être beaucoup plus difficiles à identifier avec parfois des impacts retardés comme cela a pu être observé sur la fertilité des soles, ou des effets sur le succès de certaines migrations (en particulier pour l'alse).

Tableau 11. Conséquences des teneurs en oxygène sur la faune ichthyologique en zones estuariennes inspiré de BEAUPOIL & BORNENS (1997)

Classe	Qualité	OD (mg.L ⁻¹)	
1	Très bonne à satisfaisante	OD ≥ 5	Absence d'effet à long terme. Passage de l'ensemble des espèces migratrices
2	Moyenne	3 ≤ OD < 5	Survie et croissance des juvéniles d'espèces marines et autochtones. Migration des salmonidés incertaine
3	Mauvaise	2 ≤ OD < 3	Survie des juvéniles d'espèces marines et autochtones possible mais incertaine. Nombre d'individus présents faible Croissance altérée ou impossible. Migration impossible pour beaucoup de migrateurs amphihalins
HC	Hors classe	1 ≤ OD < 2	Mortalité pour la plupart des espèces Mortalité des espèces marines les plus sensibles, survie des espèces les plus résistantes (annelides, lamellibranches) Milieu azoïque pour le poisson
		OD ≤ 1	Milieu anaérobie, totalement azoïque Mortalités massives de poissons et crustacés

Le GIP Loire estuaire propose une clé d'analyse des risques vis-à-vis des migrations piscicoles en fonction des espèces.

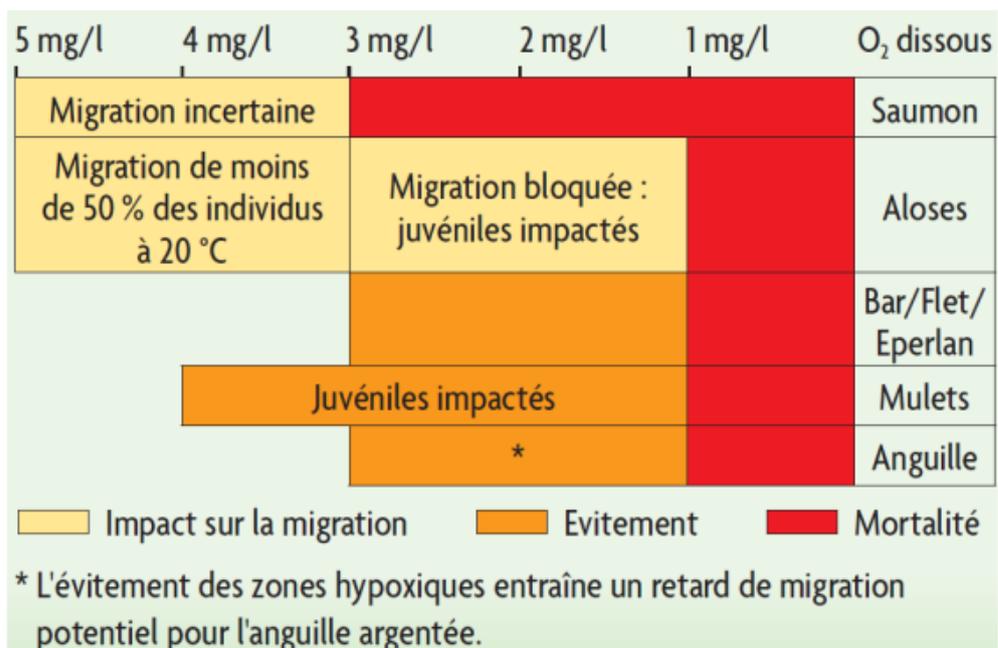


Figure 40 Les enjeux de l'hypoxie pour les migrateurs

Source définition d'une méthode d'évaluation DCE basée sur l'oxygène dissous et préconisations pour une stratégie de surveillance optimale des grands estuaires : synthèse des résultats obtenus. V. Foussard 2016

Les valeurs ci-dessous peuvent constituer des références pertinentes pour qualifier les risques en fonction des espèces.

Température

Famille	Espèces	Nom vernaculaire	Stades	Preferendum	Optimal	Tolérance haute	Maximum légal
Gobiidae		Gobies	Œuf			30 - 31	25
			Adulte		> 15 ou 17 à 22.6 selon auteur		
Atherinidae		Athérines	Juvénile et adulte		13 à 23		
Mugilidae		Mulets	Juvénile				39 à 42.5
Moronidae	<i>D. Labrar</i>	Bar	0+		22 à 24		
			Juvénile et adulte				30 à 32
			Adulte		24 à 27		
Pleuronectidae	<i>P. flesus</i>	Flet	Juvénile		18 à 20	22	26-27
Solenidae	<i>S. solea</i>	Sole commune	Juvénile		15 ou 16 à 22 selon auteur		31
Clupeidae	<i>S. Sprattus</i>	Sprat			7		
	<i>A. sapidissima</i>	Alose savoureuse	Juvénile			30	
Salmonidae	<i>S. Salar</i>	Saumon atlantique	Adulte		14 à 20	25 à 28	28
			Juvénile	9 à 17	15	24.2	25
Osmeridae		Eperlans		7	12	14	
Anguillidae	<i>A. anguilla</i>	Anguille			22, 23		33 ou 38 selon auteur

Oxygène

Famille	Espèces	Nom vernaculaire	Stades	Croissance altérée	Evitement	Seuil critique	LC_10	LC_50
Gobiidae	<i>P. microps</i>	Gobie tacheté	Œuf		< 0.85		1.6	1.2
	<i>P. minutus</i>	Gobie buhotte	Juvénile		< 2		1.4	1
			Adulte				1.7	1.2
Mugilidae		Mulets	Juvénile			1 à 2.1		
			Nd			2 à 3		
Moronidae	<i>D. Labrar</i>	Bar	Juvénile	< 3.5 (20-25°C)	< 2.6	< 2	0.71	0.42
			Adulte	< 6				
Pleuronectidae	<i>P. flesus</i>	Flet	Juvénile	2.2 ou 2.5 à 6 selon auteur	< 1.4		1.9	1.3
			Adulte		Aucun évitement ou < 3 selon auteur			
Soleidae	<i>S. solea</i>	Sole commune	Juvénile		< 5			
Alosinae	<i>A. sapidissima</i>	Alose savoureuse			2.5 à 3			1.28 (18°C)
Salmonidae	<i>S. trutta</i>	Salmo trutta	Adulte		< 5.5 ou < 5 selon auteur		3.4	3.3
	<i>S. salar</i>	Saumon atlantique	Juvénile				2.4	2.12 ou 2.6 (11°C)
Osmeridae		Eperlans	Juvénile	< 4.5	< 3.6			
			Adulte		< 3.1			
Anguillidae	<i>A. anguilla</i>	Anguille			1.2 à 3			

Source C. Taverny CEMAGREF (2009)

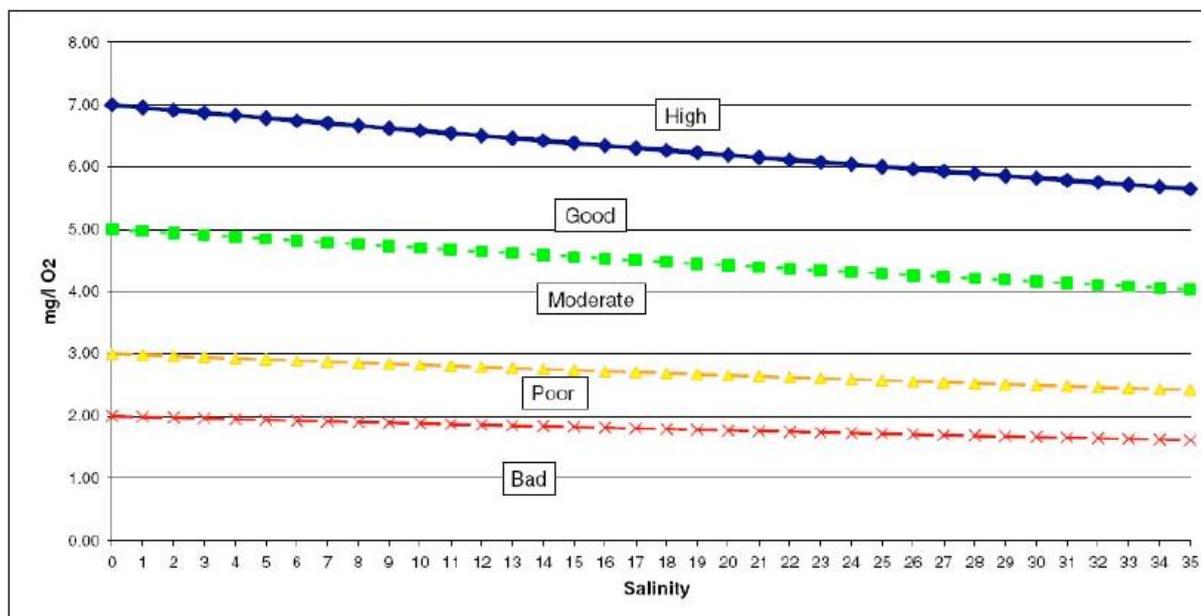


Figure 4. Variation des normes d'oxygène selon la salinité et positionnement des classes de qualité proposée pour la Directive Cadre Eau selon BEST et al. (2007) et repris dans (ANONYME, 2008a) ; la solubilité s'applique ici à des eaux de surface et une température de 15°C.

Figure 41 Source étude CEMAGREF C. Taverny et al 2009

2.6.7 Les inventaires disponibles (cf. annexe)

Source : Un échange technique avec Mario Lepage Chercheur à l'INRAE et professeur à l'université de Bordeaux, Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux (UMR 5805), + bibliotolérance piscicole (cf. compte rendu en annexe) + Récupération des données de pêche de contrôle réalisé dans le cadre de la DCE : 2005/2018 sur les deux estuaires. Ces données sont développées en annexe.

Les pêches de suivi réalisées dans le cadre de la DCE sous la responsabilité de l'INRAE ont lieu tout le long des masses d'eau jusqu'en aval de l'ouvrage de St-Savinien, limite amont « physique » et artificielle de l'estuaire de la Charente et plus en aval que Saujon sur l'estuaire de la Seudre. Ils sont actuellement réalisés par le bureau d'études Seaneo.

Les prospections réalisées explorent les milieux les plus significatifs pour le cycle de vie des espèces notamment piscicole. Ces diagnostics sont particulièrement vigilants à la fonction de nurserie pour de nombreuses espèces, ainsi qu'à la présence de migrateurs, ce qui induit des répartitions spatiales et saisonnières qu'il sera utile de décrire.

2.6.7.1 Localisation des zones de pêche

L'ichtyofaune des estuaires de la Charente et de la Seudre est en grande partie connue grâce aux pêches réalisées dans le cadre des suivis DCE et des pêches de suivi de l'anguille européenne réalisées par la Cellule Migrateurs Charente-Seudre (CMCS et la fédération de pêche 17). Ces suivis étant centrés sur l'anguille, les espèces accompagnatrices n'ont fait l'objet que d'un simple recensement lors des campagnes de pêche. L'information à leur propos est donc uniquement qualitative (présence/absence).

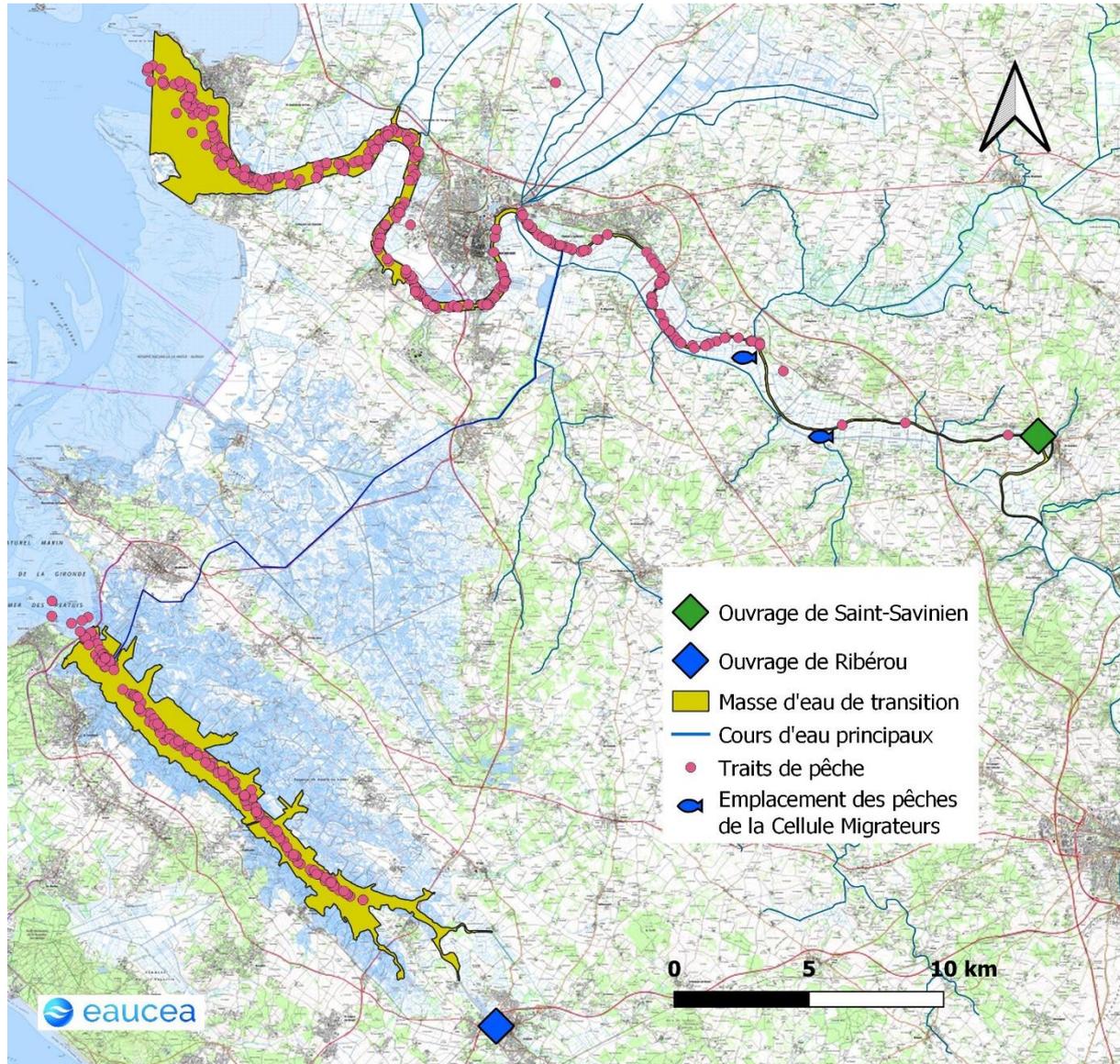


Figure 42 : Traits de pêches réalisés dans le cadre de la DCE depuis 2005 et stations de pêche de suivi anguille de la Cellule Migrateurs

En amont de la confluence avec la Boutonne, peu de traits de chalut ont été effectués. Seuls quatre ont été réalisés en 2011. Un manque d'information est donc constatable sur le secteur amont de l'estuaire de la Charente.

Les pêches de CMCS sont situées dans ce secteur mais concernent des milieux périphériques à l'estuaire : la Voine (secteur de marais) et l'aval du Bruant (petit tributaire). Les milieux concernés sont

donc oligo-halins voir méso-halins et accueillent de nombreuses espèces dulcicoles relativement euryhalines (carpe, épinouche, épinouche, chevaine, goujon, loche, perche, ...) ainsi que des espèces amphihalines (anguille, mullet et flet).

L'amont de l'estuaire de la Seudre n'est pas prospecté en raison d'un accès contraint par la profondeur (trop faible pour le bateau). En aval immédiat de l'ouvrage de Ribérou à Saujon, une pêche de sauvetage a été réalisée en 2015. Elle a mis en évidence la présence de carpes, brèmes, gardons et de quelques juvéniles d'alose en aval de l'ouvrage (soit au niveau de la limite amont de l'estuaire).

2.6.7.2 Résultats globaux

Les pêches réalisés dans le cadre des suivis DCE ont mis en évidence la présence (parfois anecdotique) depuis 2005 de 58 espèces de poissons, 6 espèces de mollusques et 26 espèces de crustacés. Parmi ces espèces, la plupart sont recensées occasionnellement dans l'estuaire. Les espèces fréquemment pêchées sont au nombre de 19 chez les poissons, 9 chez les crustacés (en comptant les macropodes non déterminés) et 3 chez les mollusques depuis 2011 (dont certains groupes sur lesquels l'identification à l'espèce est souvent impossible : sépioles et calmars).

La Charente apparaît plus diversifiée que la Seudre en termes d'ichtyofaune (47 espèces contre 34). Ce résultat est sûrement dû au gradient salin permettant à des espèces dulcicoles et euryhaline de se maintenir. De plus, le profil bathymétrique de l'estuaire de la Seudre semble moins favorable à l'ichtyofaune que celui de la Charente.

Les crustacés et les mollusques sont en revanche plus diversifiés côté Seudre (respectivement 22 et 7 espèces pour la Seudre contre 17 et 4 pour la Charente). L'essentiel des crustacés échantillonnés étant marins, la salinité élevée et relativement constante de cet estuaire explique probablement ce résultat.

A partir des données récoltées lors des pêches de suivi DCE, la limite poly-haline de l'estuaire de la Charente semble se trouver au niveau de Rochefort. En effet, il s'agit de la limite approximative de répartition des espèces marines (cf ci-dessous). L'estuaire de la Seudre, en revanche, apparaît globalement assez « uniforme » vis-à-vis de la répartition longitudinale de la majorité des espèces (la plupart sont présentes tout le long de l'estuaire). Il s'agit exclusivement d'espèces marines ou euryhalines. La caractère salé (zone poly-haline) de cette estuaire explique ces constats.

2.6.7.3 Espèces marines

Les espèces marines restent localisées en aval de l'estuaire de la Charente et occupent l'intégralité de la zone prospectée sur la Seudre, confirmant son caractère salé.

Certaines espèces comme les hippocampes ne sont présents que sur la Seudre. A contrario, des poissons comme les merlans ou les tacauds sont très faiblement représentés sur la Seudre et courants sur la Charente.

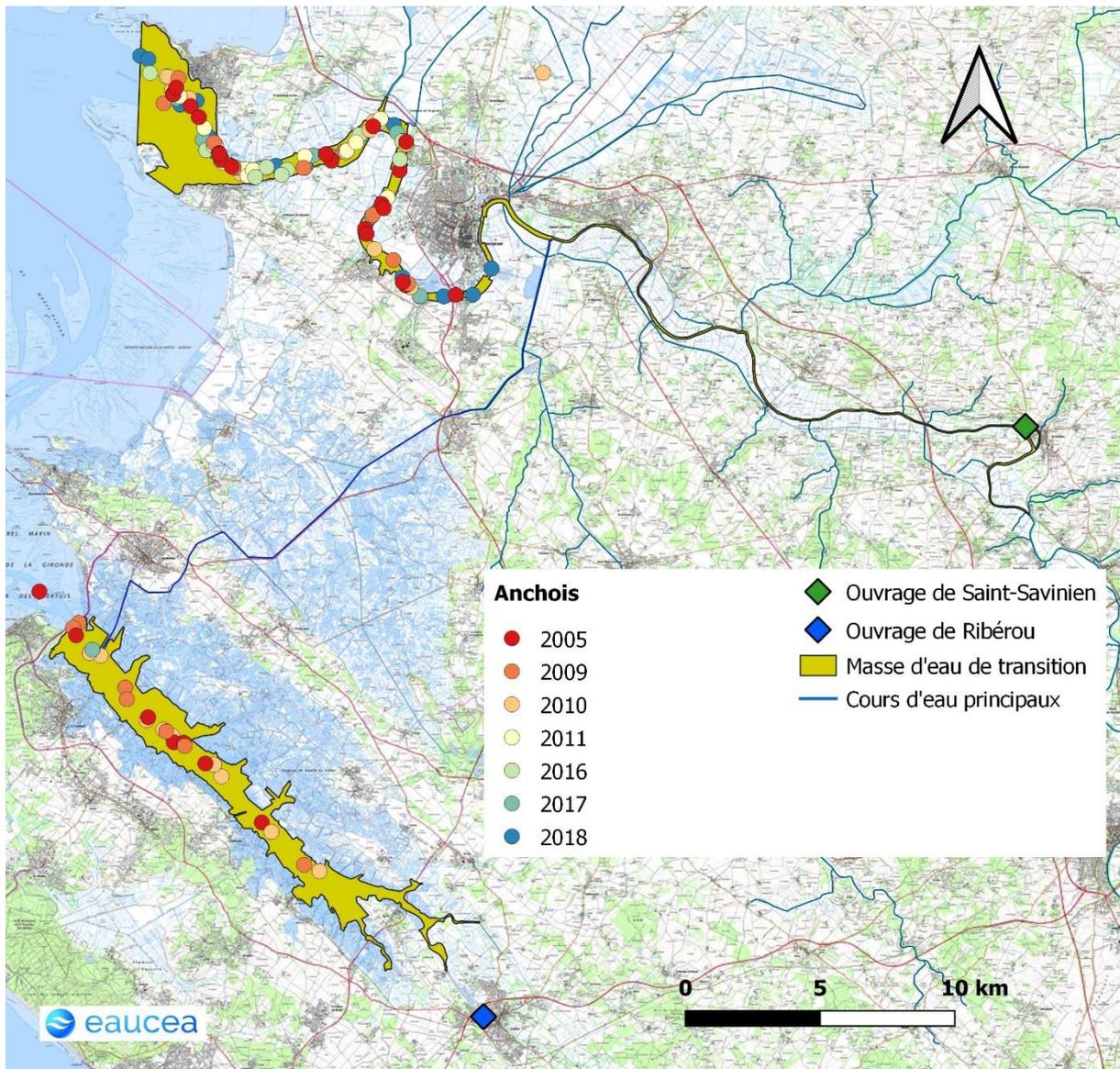


Figure 43 : Traits de pêche avec présence de l'anchois depuis 2005

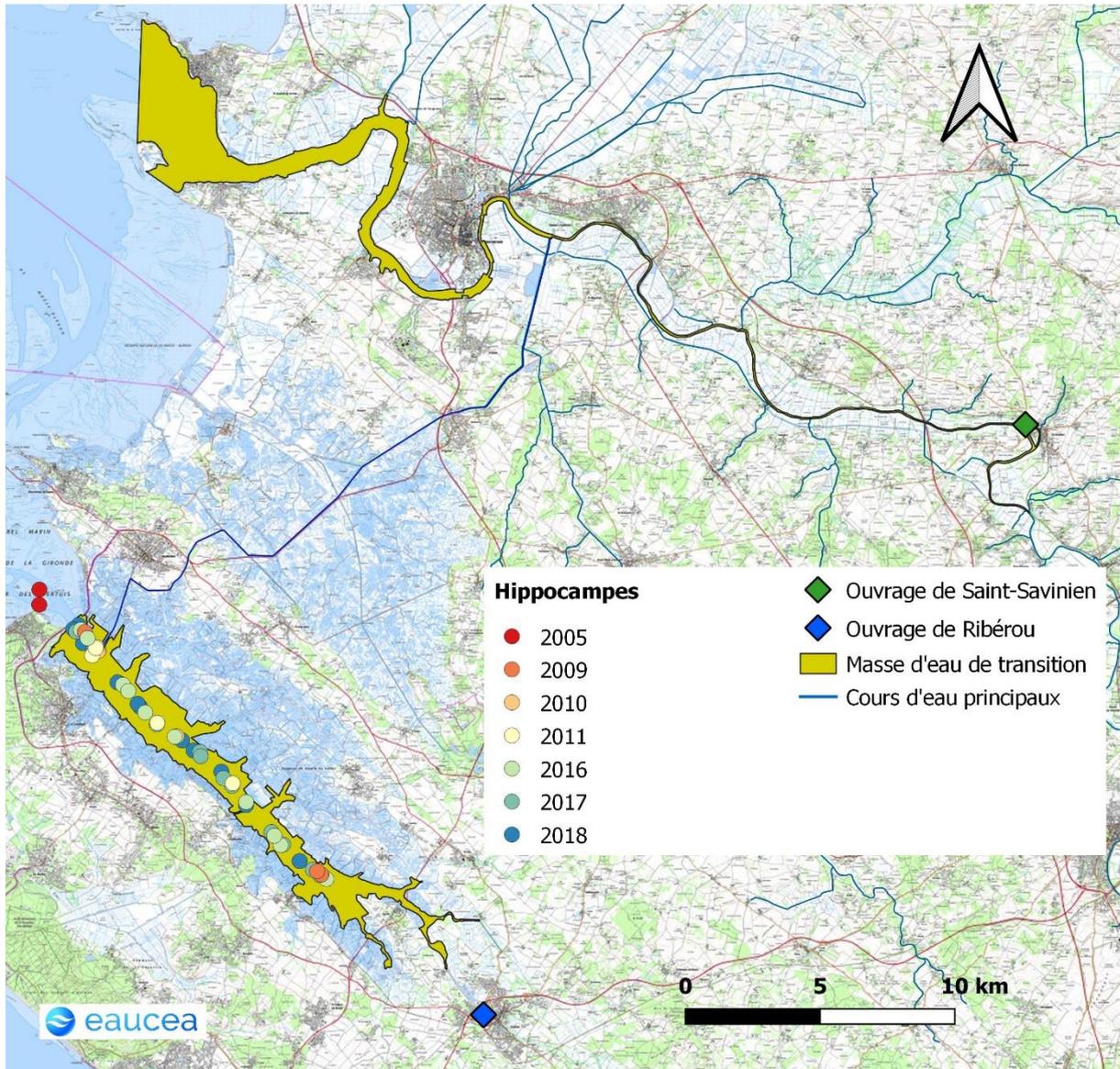


Figure 44 : Traits de pêche avec présence d'hippocampes depuis 2005

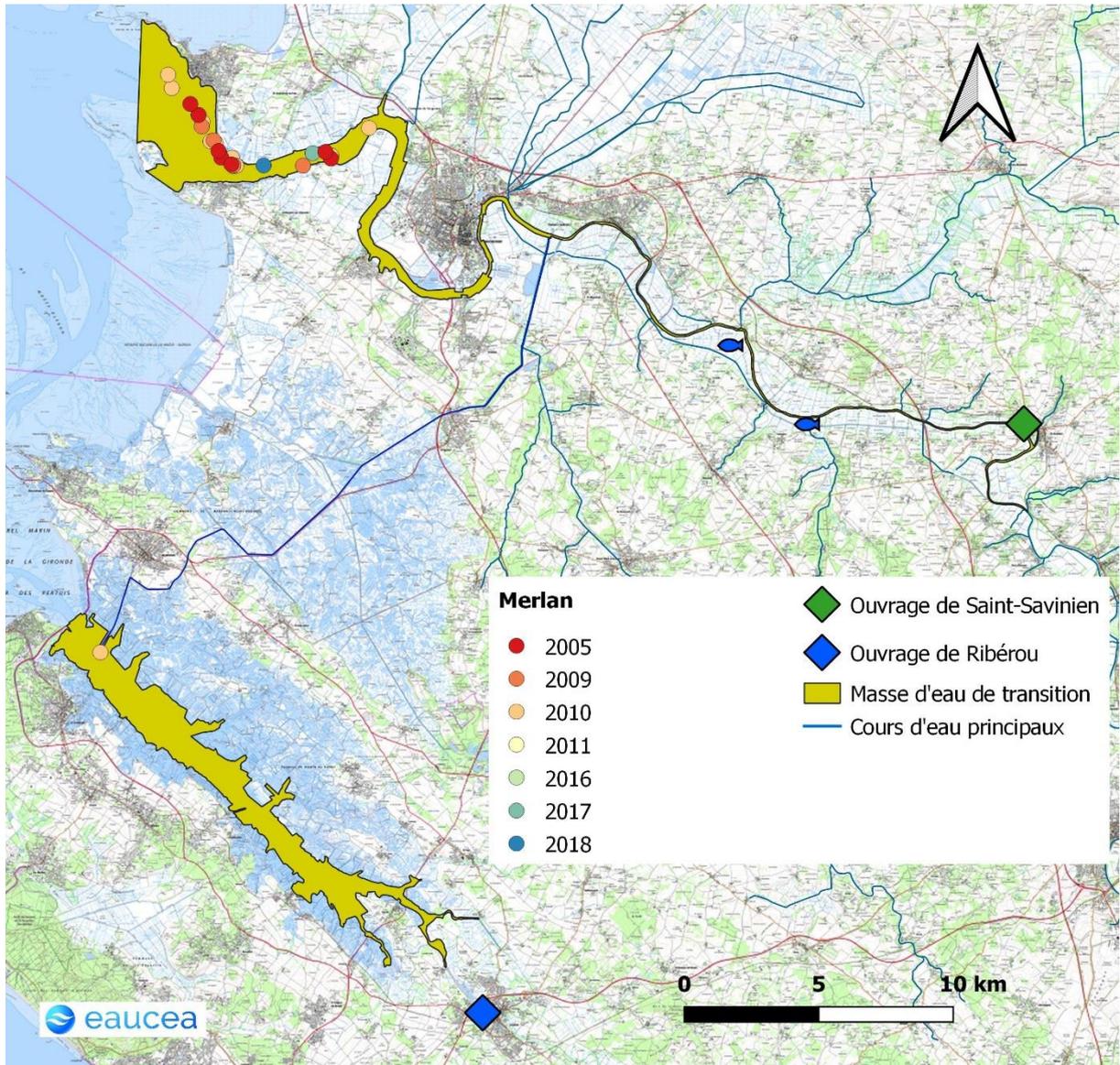


Figure 45 : Traits de pêche avec présence de merlan depuis 2005

2.6.7.4 Espèces euryhalines

Les espèces plus euryhalines comme les gobies remontent plus haut dans l'estuaire et semblent présentes jusqu'en aval de St-Savinien voire dans les tributaires (recensé dans le Bruant).

Sur la Seudre, les espèces euryhalines telles que les mulets ou les flets possèdent une répartition discontinue et semblent présentes en faible effectif. Les flets semblent par exemple se tenir plutôt sur l'amont de l'estuaire. Les faibles apports d'eau douce se soldent probablement par un manque d'attractivité pour ces espèces (le flet est considéré comme amphihalin). L'épinoche, poissons dulcicole et estuarien, est lui aussi très peu représenté dans la Seudre (un seul contact) alors qu'il a fait l'objet de nombreux recensements sur l'estuaire de la Charente.

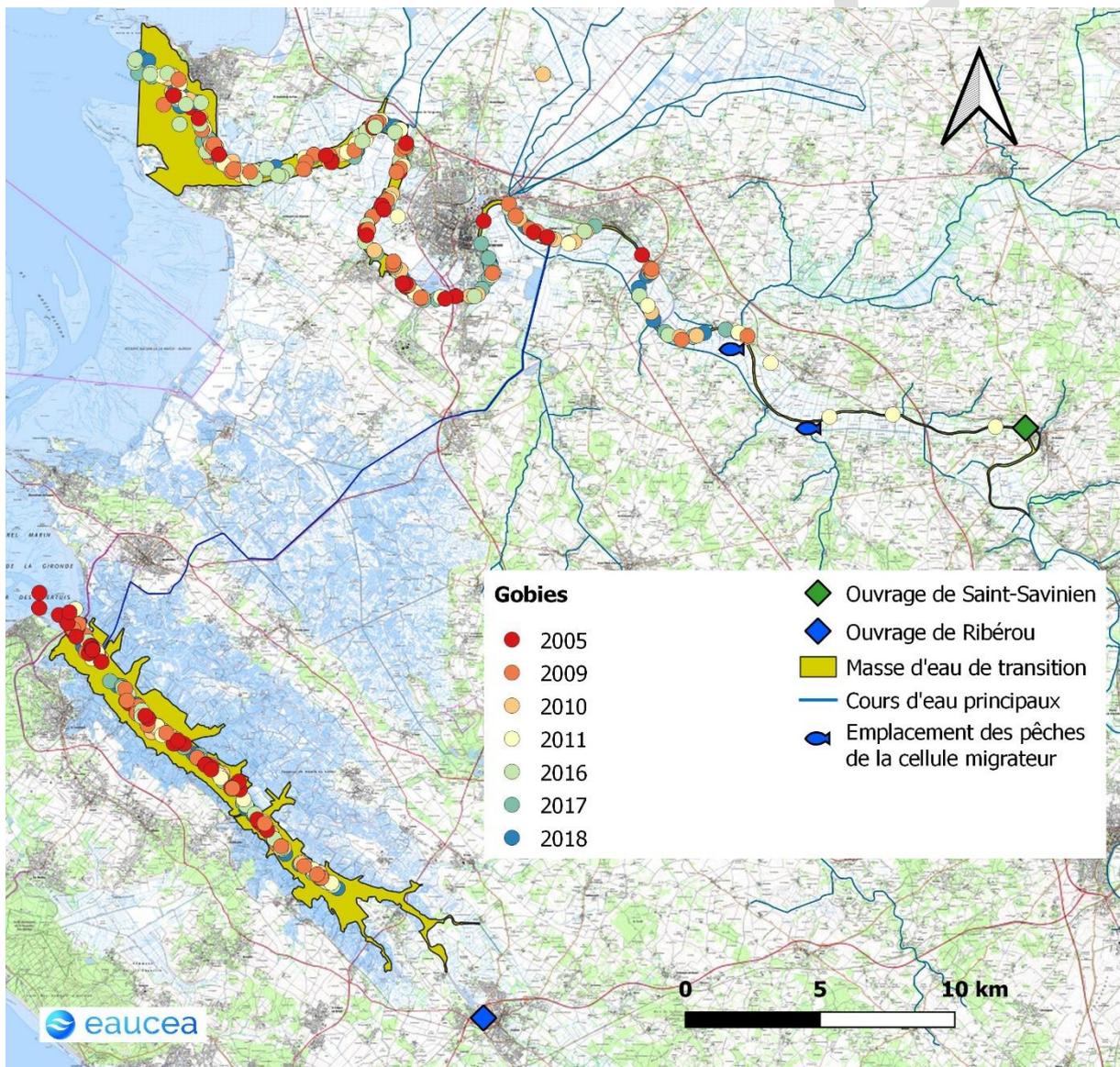


Figure 46 : Traits de pêche avec présence des gobies depuis 2005

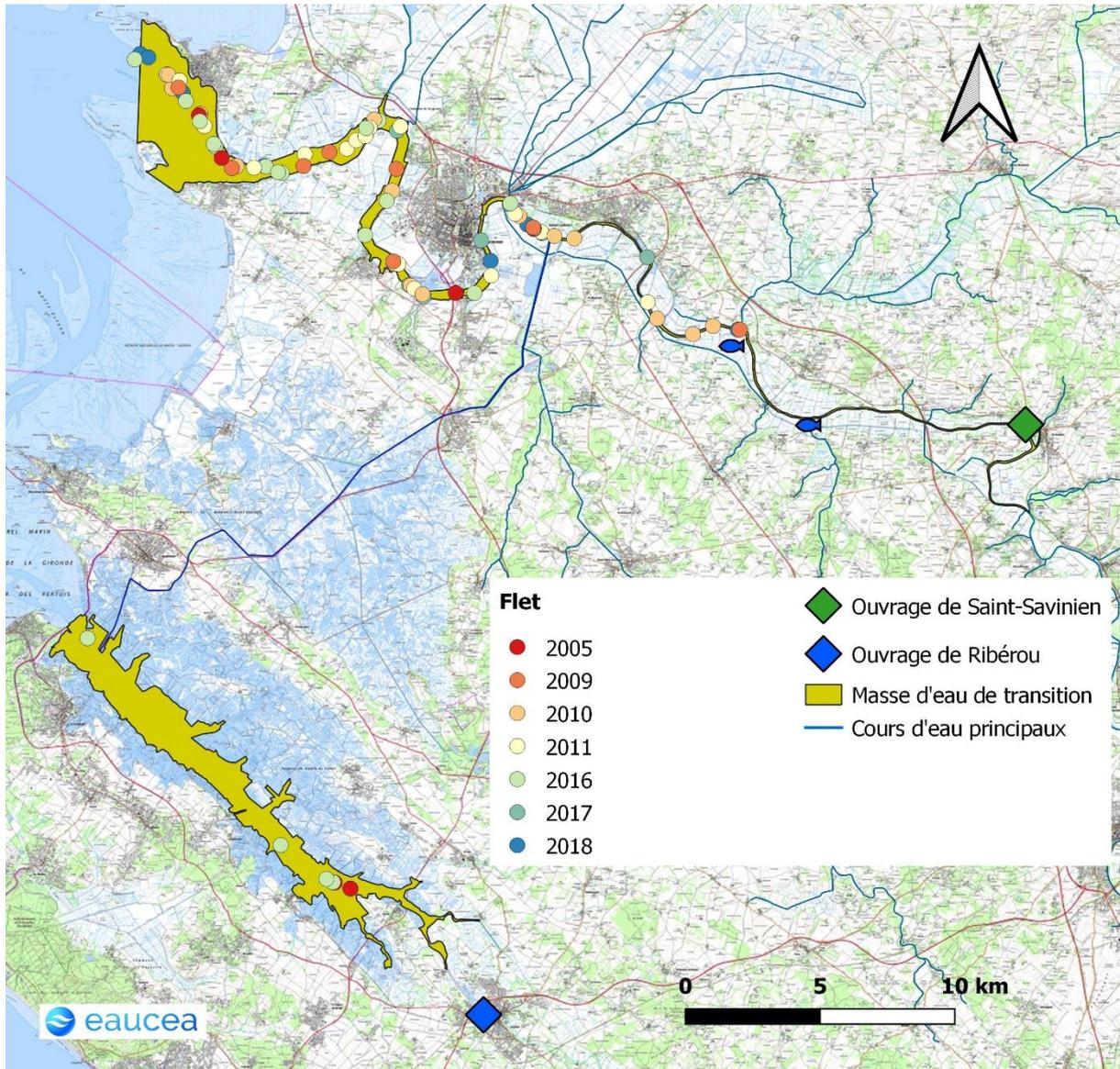


Figure 47 : Traits de pêche avec présence de fleets depuis 2005

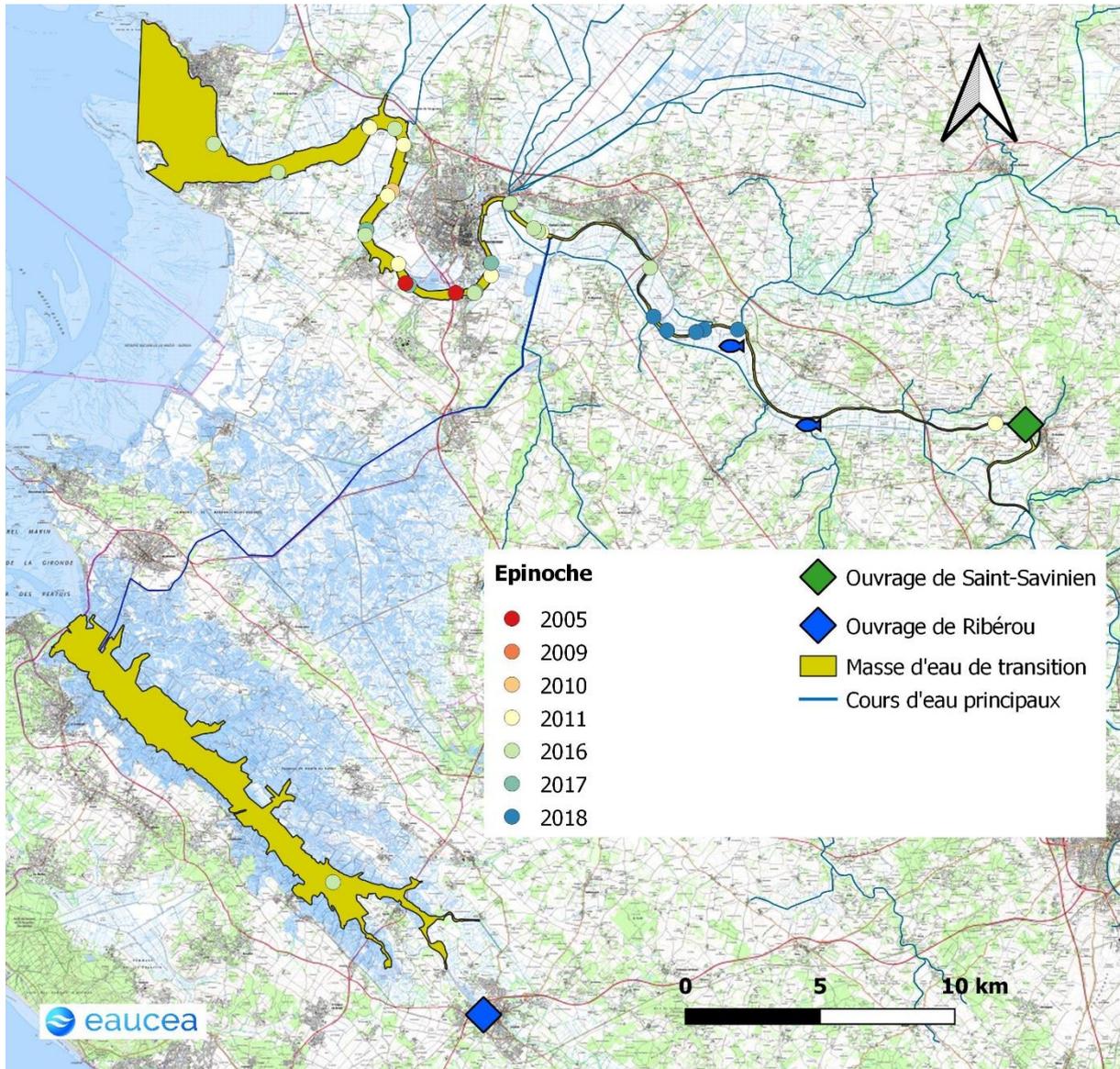


Figure 48 : Traits de pêche avec présence de flets depuis 2005

2.6.7.5 Espèces dulcicoles

Les espèces dulcicoles sont parfois trouvées bas dans l'estuaire (zone méso voire poly-haline). Toutefois, les pêches de suivis DCE sont réalisées au printemps où à l'automne, ou de forts apports d'eau douce peuvent limiter la salinité de l'estuaire. Les observations de poissons dulcicoles restent marginales et concernent de faibles effectifs. Deux espèces ressortent comme plus présentes : le poisson-chat (espèce très généraliste et adaptée aux systèmes turbides) et la brème commune (dulcicole euryhaline). Le secteur pressenti comme oligo-halin se trouve être l'amont de l'estuaire, quelque part entre la confluence avec la Boutonne et Saint Savinien. Toutefois, le peu de données piscicoles sur ce secteur ne permet pas de délimiter précisément la zone oligohaline.

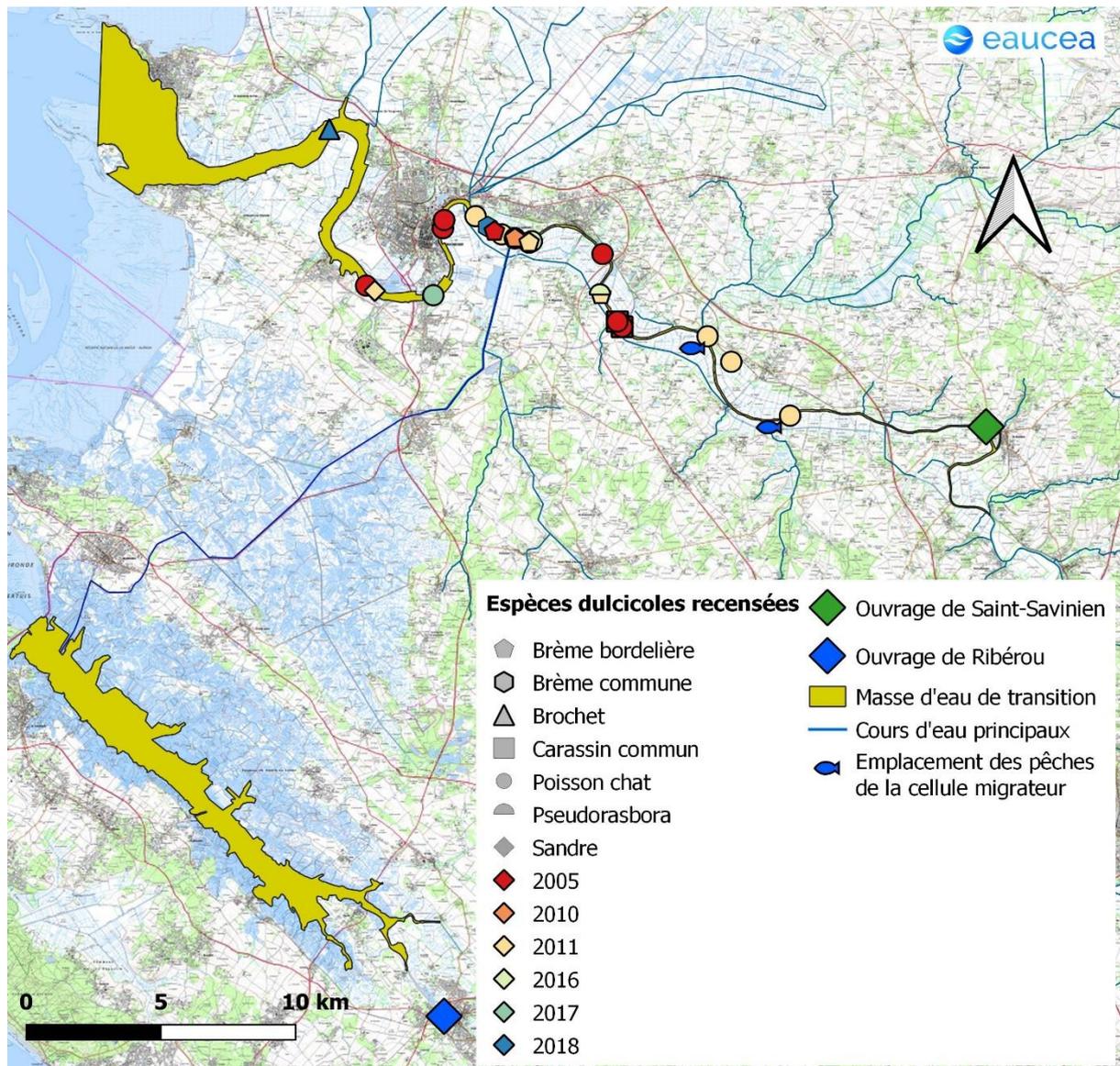


Figure 49 : Traits de pêche avec présence d'espèces dulcicoles depuis 2005

2.6.7.6 Evaluation DCE (ELFI)

Résultats de l'évaluation 2016-2017 sur la Charente :

Charente	METRIQUES							INDICATEUR	
Année	DDIA	DMJ	DFW	DB	DT	DER	RT	annuel	Moyenne 2016-2018
2016	0.75	0.94	0	0.88	0.96	1	1	0.79	
2017	0.67	0.75	0	0.96	1	1	0.92	0.76	

Grille de lecture de l'indicateur ELFI				
[1-0,91]]0,91-0,68]]0,68-0,45]]0,45-0,23]]0,23-0]
TRES BON	BON	MOYEN	MEDIOCRE	MAUVAIS

« La masse d'eau Charente obtient une note de 0,79 en 2016 et de 0,76 en 2017, ce qui la classe, comme pour l'évaluation précédente (2009-2011), en « bon état ».

On notera toutefois que la densité des espèces d'eau douce est très faible, voire nulle (colonne DFW du tableau ci-dessus). Une forte pression agricole s'exerce tout au long de la masse d'eau avec un drainage direct des terres agricoles vers des étiers connectés à l'estuaire. La présence de zone intertidale – en partie végétalisée - en pente douce principalement dans la partie en aval mais également sur l'amont de cette masse d'eau - offre des habitats de nourricerie pour les juvéniles de poissons. La forte turbidité rencontrée dans cet estuaire représente une contrainte importante pour les espèces qui y vivent et seules les plus tolérantes vis-à-vis de ce paramètre peuvent s'y installer. »

Résultats de l'évaluation 2016-2017 sur la Seudre :

Seudre	METRIQUES							INDICATEUR	
Année	DDIA	DMJ	DFW	DB	DT	DER	RT	annuel	Moyenne 2016-2018
2016	0,25	0,5	NA	0,75	0,75	1	0,25	0,58	
2017	0	0,38	NA	0,88	0,88	1	0	0,52	

Grille de lecture de l'indicateur ELFI				
[1-0,91]]0,91-0,68]]0,68-0,45]]0,45-0,23]]0,23-0]
TRES BON	BON	MOYEN	MEDIOCRE	MAUVAIS

« La masse d'eau « Estuaire de la Seudre » obtient une note de 0,58 en 2016 et 0,52 en 2017, ce qui la classe, comme pour l'évaluation précédente (2009-2011) en « état moyen ».

Tandis que les métriques sur la **densité des juvéniles d'origine marine**, la **densité des espèces benthiques**, **densité totale** et **densité des espèces résidentes** obtiennent des notes entre moyen et très bon, deux autres métriques pénalisent la note globale obtenue.

La métrique **densité d'espèces migratrices/diadromes (DDIA)**, avec des valeurs faible ou nulle, révèle un problème de connectivité amont-aval, voire latérale. La présence d'un barrage qui matérialise la limite amont de cette masse d'eau en est probablement en partie responsable. En été, plus une goutte d'eau ne franchit le barrage de Saujon pouvant entraîner une sursalinisation de l'eau juste en aval du barrage. De plus, plusieurs étiers connectent le chenal principal aux zones humides annexes mais il est probable que ces étiers ne permettent pas vraiment l'accès à des habitats supplémentaires en raison de la présence d'ouvrages de gestion de l'entrée d'eau dans les bassins d'affinage des huîtres.

La métrique **richesse taxonomique**, qui répond à un niveau de pressions globales, obtient également des notes faibles. Le profil bathymétrique de la Seudre est très particulier car il présente une pente relativement faible allant de 0 m à 4 m de profondeur sur l'estran avec une cassure brutale chutant de 4 m à 12 m de profondeur sur quelques mètres de distance. Dans cette masse d'eau, la partie subtidale est principalement très uniforme et profonde, ce qui n'est pas très favorable pour les juvéniles dont la densité décroît avec l'augmentation de la profondeur. L'activité ostréicole très présente sur l'estran amène probablement des perturbations pour le peuplement de poissons. Par ailleurs, la qualité du peuplement peut être affectée par les activités de dragage récurrentes dans la partie aval de cet estuaire.

La métrique de **densité des espèces d'eau douce (DFW)** n'est pas évaluée ici car cette masse d'eau ne possède qu'une seule zone haline (polyhaline). Cette métrique est donc jugée non pertinente dans ce milieu et n'est pas retenue pour l'évaluation de la masse d'eau. »

2.6.8 Le suivi des migrateurs

2.6.8.1 Migrateurs amphihalins

Source sur la Charente : les données issues des suivis de la station de comptage de Crouin effectués par la CMCS. Ils permettent de suivre sur plusieurs années les espèces migratrices présentes mais aussi leur fluctuation. D'autres données de suivi concernant le complexe de Saint-Savinien et les passes à poissons proviennent du CMCS et de la fédération de pêche 17.

Espèces observées en 2020 : grande alose, alose feinte, mulot, truite de mer, anguille, flet

Une des pistes intéressantes à étudier est la relation entre le succès migratoire et les conditions de franchissement des migrateurs dans l'estuaire (turbidité, oxygénation, salinité).

2.6.8.2 Migrateurs « holobiotiques » de l'estuaire fluvial

Les premières observations à la passe à poissons de Saint-Savinien (les piégeages ont démarré le 14 avril 2020 et ont pris fin le 24 juillet 2020) ont permis d'apporter une information très importante sur un secteur de l'estuaire jusque-là mal décrit. Les conditions de prospection sont en effet délicates dans ce secteur. 21 espèces de poissons ont été observées : 5 migrateurs amphihalins (alose feinte, mulot, truite de mer, anguille, flet) et 16 autres espèces (ablette, barbeau, bouvière, brème, carassin, carpe, épinouche, gambusie, gardon, gobie, goujon, hotu, loche franche, sandre, silure, vandoise). Ces informations sont essentielles pour le travail sur le Débit biologique de Saint-Savinien.

En 2021 une nouvelle campagne de de suivi apportera des éléments complémentaires.

Provisoire

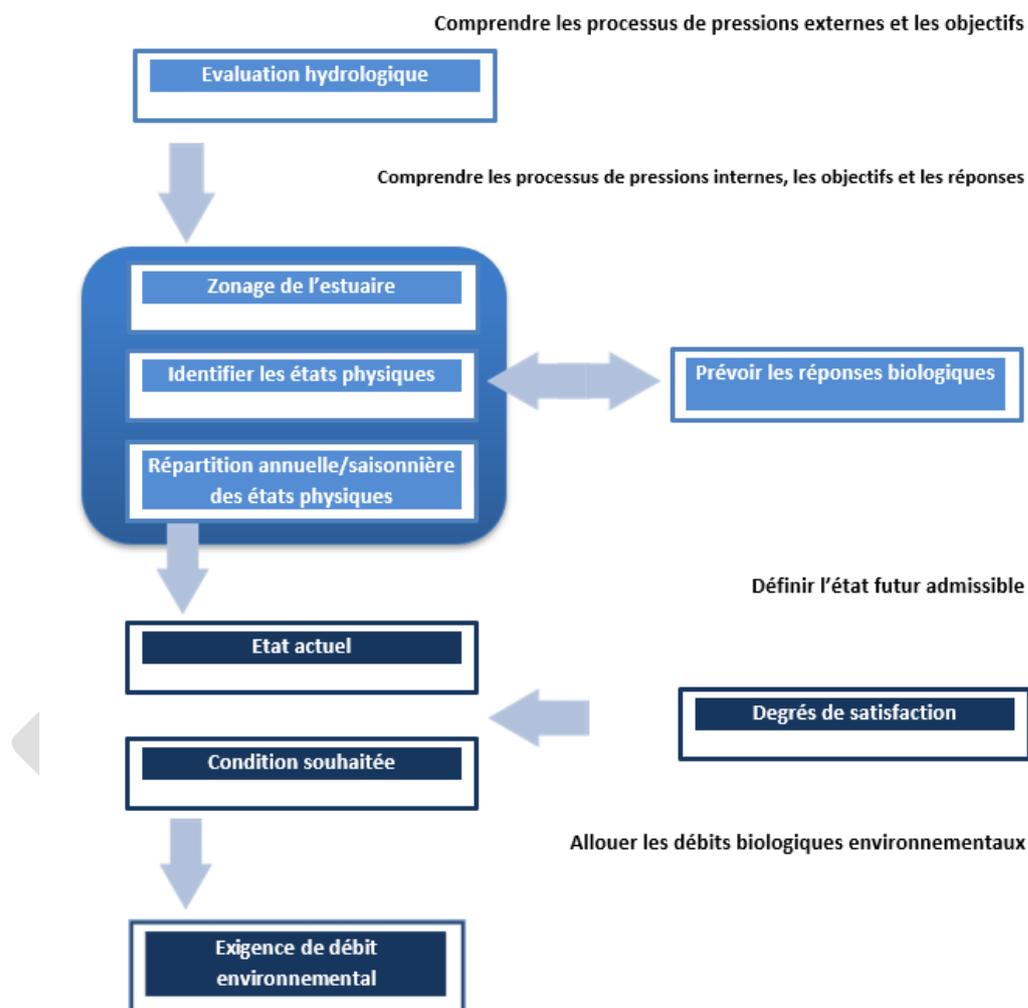
3 Eléments méthodologiques pour définir des débits biologiques

3.1 Objectifs poursuivis

3.1.1 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 issue 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.

3.1.2 Objectifs généraux pour les estuaires Charente et Seudre

La définition des objectifs des débits biologiques fixés par l'ONEMA pour les cours d'eau continentaux vise à garantir en permanence :

- La vie ;
- La circulation ;
- La reproduction des espèces.

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 NICOLAS¹¹ « *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* ». Cette différenciation est particulièrement pertinente si l'on compare la Seudre et la Charente. 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. 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) est sans doute très importante et le rôle du débit sans doute très différent selon les saisons.

La troisième famille de critère est celle de la connectivité des milieux en lien avec la continuité écologique. Il peut s'agir de garantir une connexion avec les vasières, schorres, marais et petits affluents estuariens pour favoriser les services écosystémiques. C'est tout d'abord l'aménagement des systèmes d'endiguement qui constitue le principal obstacle aux continuités latérales, question qui dépasse celle des débits biologiques. Néanmoins, la gestion hydraulique interfère lorsqu'elle limite ou augmente les phases d'inondations des milieux riverains. Ce peut être le cas lorsque la gestion d'un

¹¹ 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)

ouvrage bloque l'onde de marée et provoque des modifications hydrauliques en aval. La situation la plus fréquente reste cependant celle de la continuité écologique au droit des ouvrages de régulation.

Pour les deux estuaires, l'aménagement historique a conduit à une forte déconnexion de l'estuaire avec les chenaux, rivières et fleuves. Les principaux ouvrages sont les aménagements « antisel » de la Seudre, la Boutonne et la Charente ainsi que les ouvrages hydrauliques de gestion des niveaux pour les marais latéraux de la Seudre et les chenaux ostréicoles, les marais de Rochefort, l'Arnoult, ...

Ces ouvrages constituent souvent un obstacle aux déplacements des poissons et des sédiments. Or dans le contexte estuarien, l'échappement des poissons à des variations très rapides des conditions du milieu (sel, oxygène, turbidité) est une des conditions importantes d'une exploitation optimale du potentiel. Pour les sédiments, le ralentissement des écoulements est un facteur de sédimentation avec de fortes conséquences (envasement).

Les débits écologiques doivent donc prendre en compte les besoins en eau des dispositifs d'amélioration de la continuité écologiques.

Ces débits correspondent au débit d'alimentation de passes à poissons, de rampe à civelle mais aussi aux volumes d'eau douce vidangés depuis les biefs amont lors d'ouverture de vannes ou la fermeture partielle des vannes. Cette gestion renvoie à un système plus complexe dans lequel doivent être pris en compte le calendrier des migrations (exemple en février mars pour les flets et les mulets) mais aussi le cycle de marée le plus favorable en distinguant le flot pour les espèces transportées passivement par le courant (enjeu de remontée du front de salinité) ou d'attrait pour les espèces rhéophiles (grands migrateurs amphihalins). Pour les marais le maintien d'un flux d'eau douce amont/aval peut ne pas être garanti en période d'étiage et d'insuffisance des débits entrants dans les marais.

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.

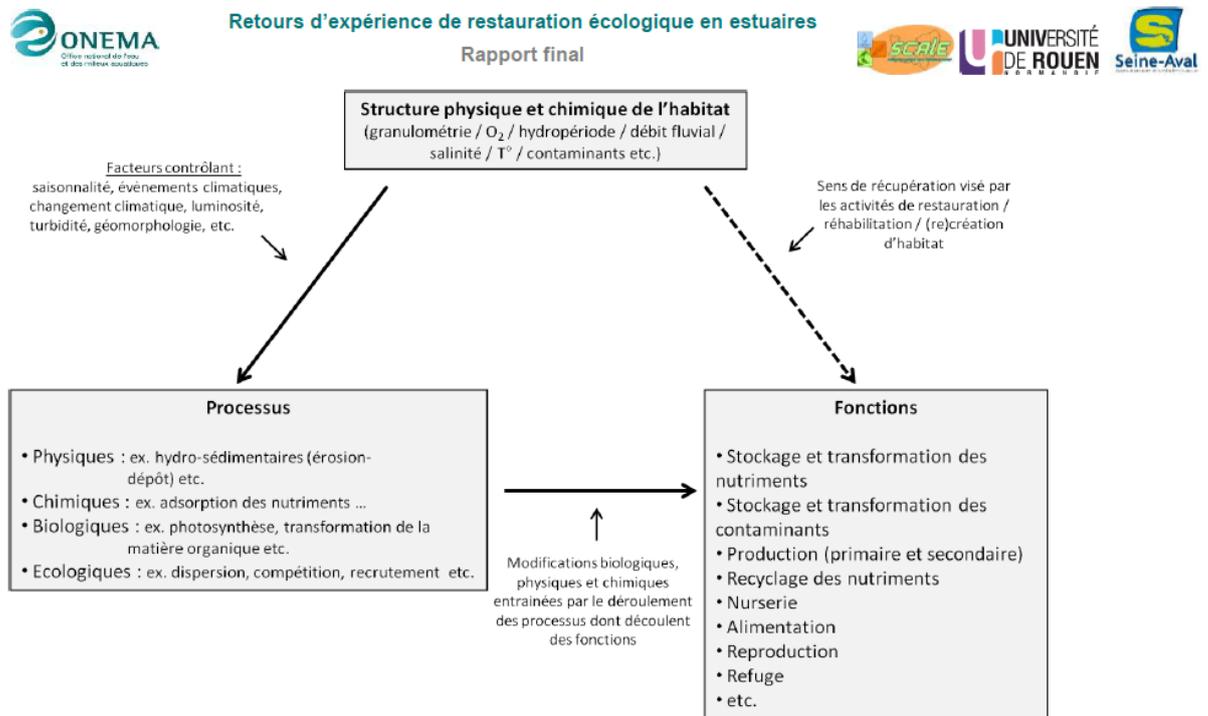


Figure 2. Schéma des liens potentiels entre la structure de l'habitat, les processus s'y déroulant et les fonctions écologiques potentiellement associées

3.1.3 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 ou 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 maintenir un chenal navigable, la navigation et la déconnexion de l'estuaire avec les masses d'eau affluentes. Il est notable que 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 de salure des eaux (5 g/L) fluctue fortement avec les conditions hydrologiques et de marée. 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 en période de forte température estivale et en étiage.

Un enjeu écologique et humain important est celui des conditions de salinité observé à Biard au niveau de la prise d'eau du canal Charente Seudre qui réalimente en étiage les marais de Brouage.

3.1.4 Spécificité du secteur amont de l'estuaire de la Charente en lien avec le Débit minimum biologique

L'estuaire amont est donc oligo-halin et son extension 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 Savinien, 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.

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 encore peu décrit et modélisé.

3.1.5 Spécificité de l'estuaire de la Seudre

L'estuaire de la Seudre est un estuaire salé (poly-halin). Il est peu attractif pour les migrateurs amphihalins (hormis pour l'anguille) en raison des faibles débits d'eau douce entrant dans l'estuaire (débit d'attrait très faible voire nul en période d'étiage). Tout comme l'estuaire de la Charente, un ouvrage ferme l'estuaire : l'ouvrage de Ribérou.

En période d'étiage, où le débit sortant du bassin versant de la Seudre est très faible, une inversion de la salinité est alors observable : le caractère confiné et l'évaporation engendrent une augmentation de la salinité en amont qui devient plus importante que celle de l'estuaire aval (38/40 ‰ de sel contre environ 35 ‰ à la limite de l'océan). A souligner toutefois la présence de sources en aval immédiat de l'ouvrage de Ribérou représentant un apport d'eau douce à l'amont de l'estuaire susceptible de créer des « îlots oasis ».

La question d'une gestion de la salinité au travers d'un débit minimum a été évoquée en conseil scientifique. Dans le cas de la Seudre, l'estuaire est aujourd'hui clairement amputé d'une zone oligohaline significative. Même si la frontière imposée par l'écluse de Ribérou à Saujon a réduit l'emprise de la marée dynamique (qui sans cet ouvrage atteindrait le voisinage de Corme-Ecluse en amont), il est fort probable que la disproportion des débits en jeu se traduirait par une zone oligohaline extrêmement ténue et sans enjeu écologique déterminant. Ce cas de figure est assez fréquent dans les estuaires avec un bassin versant de faible à moyenne extension.

La restauration éventuelle de mouvement d'eau salée vers l'amont soulève plusieurs points de vigilance :

- La mobilité et donc la capacité d'accompagner ou d'échapper aux déplacements de la masse d'eau joue un rôle important ; Les espèces tolérantes à une forte variabilité de la salinité sont assez peu nombreuses et cette tolérance varie pour les poissons en fonction de l'espèce bien sûr mais aussi du stade de développement (adulte ou juvénile). Dans le cas de la Seudre, l'effet d'obstacle partiel de l'écluse de Ribérou est donc très important pour des espèces dulcicoles « piégées » dans le haut estuaire.
- Pour les espèces végétales fixées d'eau douce aquatiques ou riveraines, le seuil de tolérance est de l'ordre de 0,7 ‰. Une rupture des conditions de salinité entraînera donc une évolution rapide de la végétation rivulaire. Cet effet peut être exploité dans des stratégies de maîtrise de plantes envahissantes. Des expérimentations portées par l'agro-campus de Rennes indiquent un effet limitant sur les propagules de Jussie. Pour les prairies et l'élevage des seuils de tolérance de 0,3 à 0,5 ‰ sont aujourd'hui le maximum accepté.
- Le risque de pollution par le sel des nappes d'eau douce souterraines dans la zone d'affleurement.

Les 4 orientations majeures qui se dégagent sont donc :

- L'impossibilité d'une dessalure pilotée par la gestion des débits pour l'estuaire de la Seudre ; en revanche, des analyses plus locales du panache de dessalure au droit des exutoires de marais peuvent être importantes notamment pour la profession conchylicole. Des scénarios de dessalure en situation de vidange contrôlée des marais pourraient être testés grâce au modèle 3D ;
- L'évaluation des débits permettant la continuité piscicole (Seudre et marais), objectif hydraulique prioritaire nécessitant des débits d'alimentation. Dans le même champ d'analyse que pour l'ouvrage de Saint Savinien, il serait intéressant d'expertiser l'incidence de la fermeture de l'écluse de Ribérou sur l'enneigement des zones rivulaires en aval (onde de marée).
- L'examen nécessaire de l'extension du domaine d'hypoxie, de part et d'autre de l'Eguille (suite enregistrement sonde Magest); l'installation de sondes provisoires réparties en amont et en aval de l'Eguille couplé avec l'interprétation hydraulique pourrait permettre une analyse de l'extension du phénomène. Il est possible que le débit fluvial joue un rôle sur ce tronçon canalisé.
- Une caractérisation des habitats estuariens (cartographie hydraulique) selon un/des (?) scénario de marée et de stratification haline avec un enjeu informatif plus que décisif pour la définition d'un débit biologique estuarien.

3.2 Action et interaction des facteurs de contrôle du débit biologique en lien avec le débit.

3.2.1 Sélection des paramètres directeurs de l'écosystème

Les débits fluviaux pilotent localement les conditions hydrodynamiques avec des effets différents selon les estuaires sur les habitats aquatiques. Les modélisations hydrauliques devront permettre d'en mesurer l'impact et le cas échéant de proposer des orientations de gestion. **La principale incidence attendue concerne les enjeux de continuité et de connectivité.**

Les flux des principaux éléments nutritifs conditionnant le développement des algues et du phytoplancton sont le nitrate, le phosphore et la silice. Ce sont des leviers essentiels de la production primaire de ces milieux estuariens et littoraux (photosynthèse) mais aux niveaux actuels dus aux pressions polluantes du bassin amont (agricoles et urbaines), ils ne sont pas limitants pour la production primaire « naturelle » ; à ce titre ils peuvent difficilement être considérés comme des objectifs de gestion écologique. D'autre part il est difficile de les relier au débit car étant produit par le lessivage de l'ensemble du bassin versant, le temps de transfert moléculaire des sources à l'estuaire (de plusieurs dizaines de jour) est significativement différent du temps de propagation des débits (quelques jours). Le même raisonnement peut être tenu quant à la dilution des pollutions phytosanitaires et médicamenteuses.

En plus de la température non dépendante du débit, les trois paramètres clés qui font consensus sont :

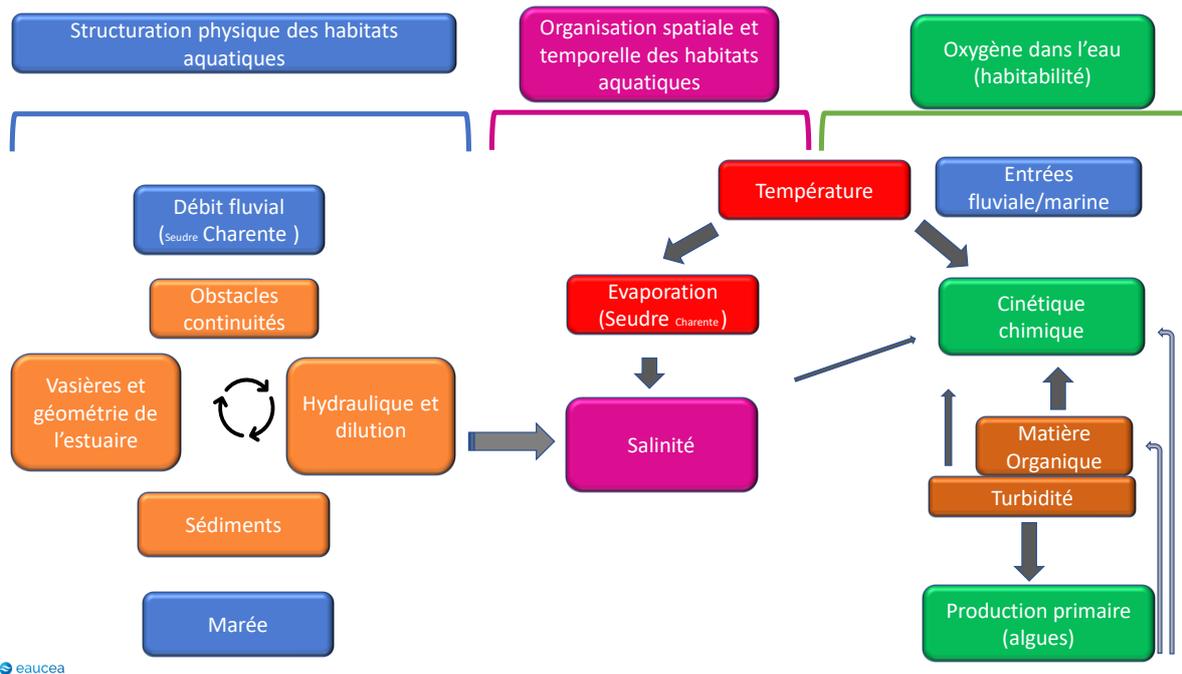
- ⇒ La salinité qui détermine des zonages estuariens avec de fortes incidences sur les peuplements biologiques. Ces zonages fluctuent dans le temps en relation directe avec les apports fluviaux ;
- ⇒ La concentration des matières en suspension et l'incidence d'un « bouchon vaseux ».
- ⇒ L'oxygénation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

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 longues distances et le report vers l'aval voire l'expulsion du bouchon vaseux. Ce cycle bien décrit sur la Charente, l'est bien moins sur la Seudre mais il est forcément moins intense et plus local. Ce cycle nous enseigne cependant le rôle important des crues fluviales sur le fonctionnement des estuaires.

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 qui peuvent alors être considérés comme débits objectifs.

3.2.2 Schéma appliquée au domaine estuarien Charente et Seudre

Pour les estuaires Charente et Seudre, un schéma simplifiant les principales interactions peut être le suivant :



3.2.3 Fixer un seuil

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. C'est ce type d'objectif qui pourrait être visé pour la salinité.

3.2.3.1 Salinité

Penas et al proposent de respecter pour la salinité des différentes zones estuariennes (eau douce, oligohaline, mésohaline et polyhaline) de respecter un objectif de salinité ne s'écartant pas de leur variabilité naturelle au-delà de 25 % (75e centile) du temps. Il s'agit donc de décrire cette situation au travers d'indicateur spatiaux (emprise des différentes zones), saisonnier (période humide et période sèche) et temporel (fréquence des situations). Seuls des modèles permettront de reconstituer des chroniques historiques nécessaires à une analyse fréquentielle. Une perte significative de durée et de linéarité dans la zone oligohaline pourrait advenir si les étiages augmentent en durée et en intensité. Ce risque hydrologique doit être couplé avec l'augmentation du niveau océanique (+4 mm par an environ) et pour la Seudre avec l'augmentation tendancielle de l'évaporation qui accentuera encore les sursalinités.

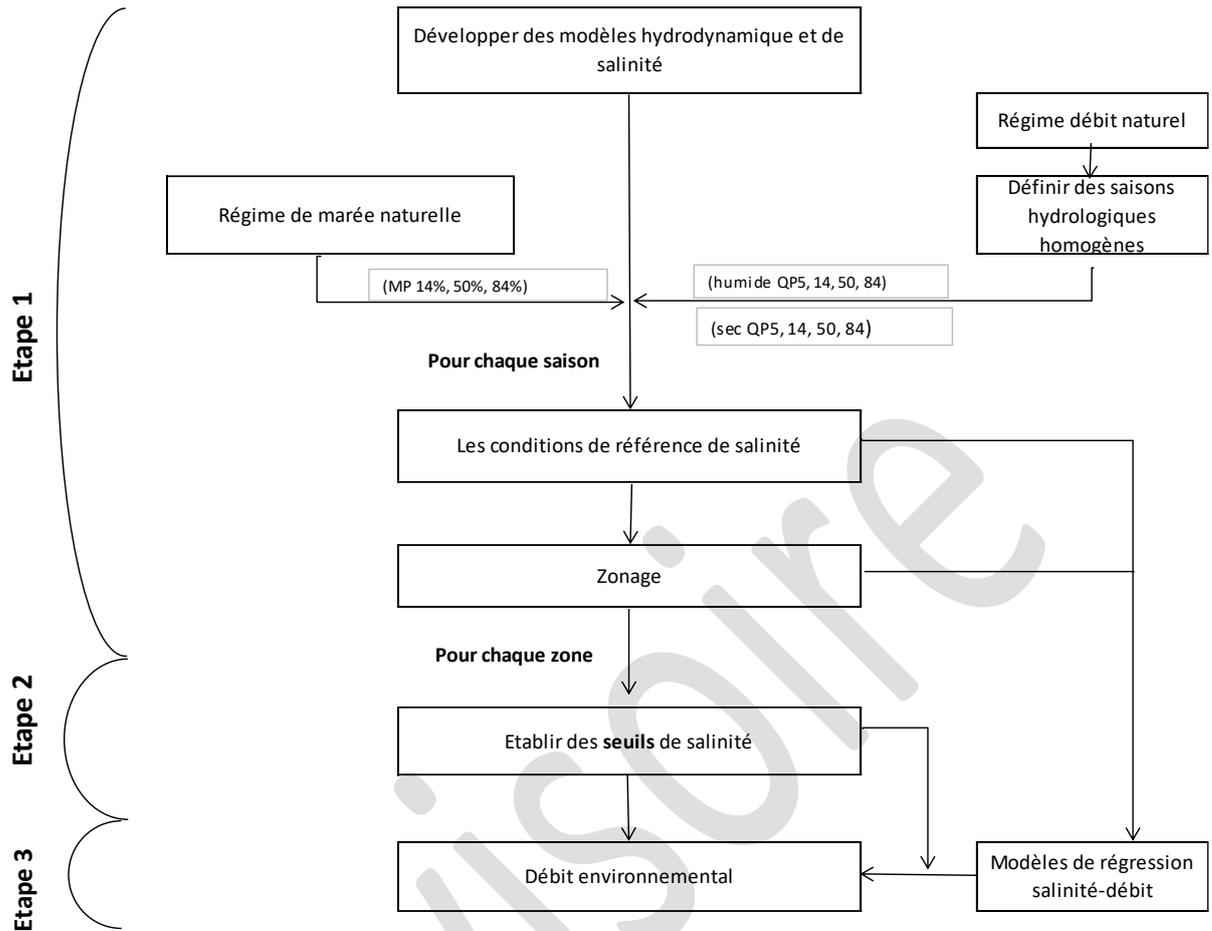


Fig 2, approche pour estimer les débits d'écoulement environnementaux des estuaires mixtes (MP : marées avec probabilité de dépassement de 14%, 50% et 84%; QP : débit avec probabilité de dépassement de 5%, 14%, 50% et 84%)

Figure 50 Processus recommandé par F.J. Peñas et al. / *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 134 (2013). (Traduit de l'anglais *eaucea*)

3.2.3.2 Oxygène

Dans ce cas de figure, il convient d'estimer l'intensité, l'extension spatiale et la fréquence des situations de sous oxygénation en relation avec le débit. Cette problématique est essentiellement de période sèche et chaude, c'est-à-dire durant les étiages estivaux.

Pour les teneurs en oxygène, ce sont les conditions biotiques qui deviennent déterminantes avec un objectif pouvant être celui de la DCE à minima.

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 51 Rappel des valeurs seuils de la directive

Néanmoins d'autres interprétations, qui ont été largement abordées, semblent plus exigeantes et montrent que les conséquences écologiques de ces valeurs cibles seraient sous estimées : 3 mg/L même sur de courte durée correspondrait plutôt à une situation médiocre pour la faune piscicole et 5 mg/l une situation tout juste moyenne.

Le seuil de 3 mg/l peut donc être considéré comme un seuil à respecter au maximum sur chacun des estuaires.

3.2.4 Des valeurs seuils aux débits biologiques, une situation nécessitant une approche matricielle et sectorielle

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

Le second élément est la salinité, paramètre structurant de l'estuaire mais plus délicat à analyser en termes d'objectif. Il renvoie en revanche à des enjeux de gestion (réalimentation en eau des marais de Rochefort, condition d'exploitation conchylicole). Les modélisations hydrauliques répondront à ces questionnements.

Le troisième élément est la turbidité, symptôme de la dynamique sédimentaire. L'objectif pourrait être de définir les valeurs de débit qui conditionnent la remontée et l'extension du bouchon vaseux et les débits qui conditionnent son expulsion régulière (hautes eaux et crue). Cette expertise est déjà réalisée pour la Charente ; Un rapprochement avec les conditions hydrologiques permettrait de décrire le calendrier de ces mécanismes sur les dernières années (approche statistique). Il est aussi possible que des éléments d'hydraulique (vitesse de l'eau, inondation des estrans) puissent être exploités dans le cadre de la description des flux de matière organiques et oxydables.

La quatrième famille de critères est qualitative. L'oxygène est pour les deux estuaires le premier paramètre objectivement contraignant pour le bon état écologique des eaux. Sur la Seudre à l'Eguille et la Charente à Tonnay-Charente, des situations de franchissement de la valeur plancher de 3 mg/L O₂ ont déjà été observées. Néanmoins pour un même débit, la concentration peut être très différente en fonction des autres facteurs du milieu et en particulier le coefficient de marée (indicateur d'une dynamique sédimentaire) et la température de l'eau (facteur aggravant de la baisse de concentration d'O₂). **Il n'y a donc pas un débit biologique mais des débits biologiques.**

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 au seuil de 3 mg/l ou de 5 mg/l. Cette matrice peut prendre la forme suivante sachant que le débit correspondant à l'objectif visé pour l'oxygène (ici 5 mg/L) sera inscrit dans chaque case de la matrice. La couleur verte correspond à des débits faibles, la couleur rouge à des débits élevés situation plus exigeante.

Oxygène		Température de l'eau						
Marée	5mg/L	18	20	22	24	26	28	30
	23			13	24	34	44	54
30		13	24	34	44	54	64	74
35	13	24	34	44	54	64	74	84
40	13	24	34	44	54	64	74	84
45	13	24	34	44	54	64	74	84
50	13	24	34	44	54	64	74	84
55	13	24	34	44	54	64	74	84
60	24	34	44	54	64	74	84	94
65	34	44	54	64	74	84	94	104
70	44	54	64	74	84	94	104	114
75	54	64	74	84	94	104	114	124
80	64	74	84	94	104	114	124	134
85	74	84	94	104	114	124	134	144
90	84	94	104	114	124	134	144	154
95	94	104	114	124	134	144	154	164
100	104	114	124	134	144	154	164	174
105	114	124	134	144	154	164	174	184
110	124	134	144	154	164	174	184	194

Pour établir cette matrice, il est nécessaire de comprendre les mécanismes reliant le débit à l'oxygène en différents points de l'estuaire et si possible dans le domaine les plus contraint.

3.2.5 Pressions anthropiques

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

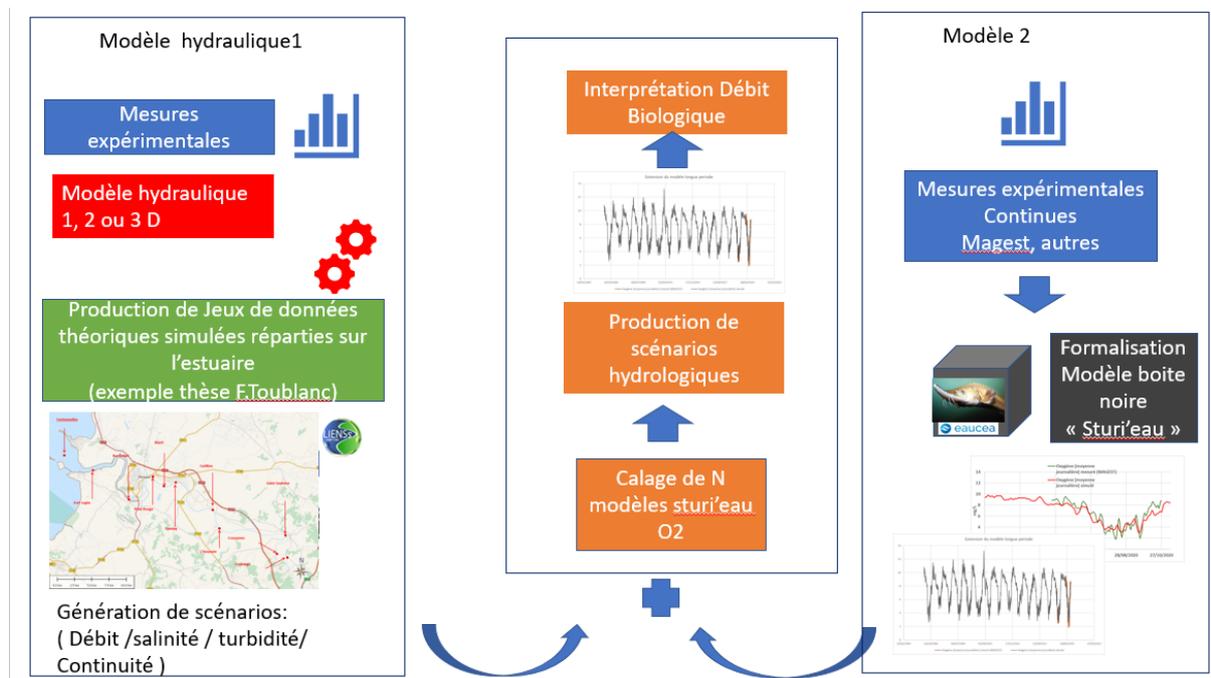
- ⇒ Pression sur les débits (bassin versant) : politique quantitative des bassins versants et changements climatiques ;
- ⇒ Pression sur l'hydromorphologie (zone estuarienne) => dysfonctionnement (pertes d'habitats, baisse de productivité biologique, perte de biodiversité) => écart à une situation souhaitée (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.

3.3 Une démarche pour la seconde phase

Les objectifs étant globalement fixés pour chaque estuaire, il faut définir une méthode pour approcher les ordres de grandeurs.

La métrologie et la modélisation doivent être coordonnées pour produire différents résultats exploitables.



Le débit biologique peut être abordé en considérant une organisation en facteur limitant.

Critère	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année	Moyens
Continuité écologique	Selon calendrier migratoire des espèces ciblées					Modèles hydrauliques 1D
Salinité	Structuration estuarienne/risque usage					Modèles hydrauliques 3D
Turbidité	Expulsion Bouchon vaseux	Position dans l'estuaire			Selon années	Modèles hydro-sédimentaires spécifiques (Mars 3D et autres)
Oxygène dissous			Risque maximal			Métrologie + modèle interprétatif Sturi'eau ou autre
Synthèse	Facteurs limitants le plus exigeant					Interprétation collective. Estimation de la faisabilité

4 Annexes : BIBLIOGRAPHIE PROVISOIRE

La bibliographie définitive sera réalisée dans la forme et le fond en fin d'exercice.

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Charente	Biologie	Julien Modéran, Pierre Bouvais, Valérie David, Sandrine LeNoc, Benoit Simon-Bouhet, Nathalie Niquil, Pierre Miramand, Denis Fichet	2011	Zooplankton community structure in a highly turbid environment (Charenteestuary,France) : Spatio-temporal patterns and environmental control	ELSEVIER - Estuarine, Coastal and Shelf Science
Charente	Biologie	Julien Modéran, Valérie David, Pierre Bouvais, Pierre Richard, Denis Fichet	2012	Organic matter exploitation in a highly turbid environment: Planktonic food web in the Charente estuary, France	ELSEVIER - Estuarine, Coastal and Shelf Science
Charente	Chimie	EAUCEA	2006	ETUDE DE VALORISATION DE BASE DE DONNEES QUALITE DES EAUX DANS LE BASSIN MARENNES OLERON ET LE BASSIN DE LA CHARENTE.	Rapport
Charente	Chimie	EAUCEA	2012	SturiEau - Assitance à la gestion de l'étiage - Conception d'outils d'aide à la décision et développement d'indicateurs de gestion aval en lien avec la salinité	EPTB Charente - Agence de l'Eau Adour Garonne
Charente	Chimie	IFREMER stage claire de Cordoue	2015	Gestion du niveau d'eau dans le marais sud de Rochefort : maîtrise de la salinité	IFREMER
Charente	Chimie	Thibault Coulombier	2016	Suivi de la salinité le long de l'estuaire de la Charente	
Charente	Chimie	Communiqué de presse	2019	La qualité de l'eau, un enjeu central pour les écosystèmes marins et les activités maritimes	Comité Régional de la Conchyliculture Charente-Martime. Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Charente	Chimie	Thibault Coulombier	2020	Bilan des mesures 2016-2019 sur la salinité et la turbidité, barrage de Saint-Savinien	Conseil départemental Charente-Maritime
Charente	Hydrodynamique	IFREMER Olivier Le Moine Serge Robert Philippe Geairon Jean Michel Chabirand	2011	Estuaire Charente : Flux à Saint Savinien et intrusions salines résultats durant l'étiage 2011	IFREMER + Conseil Général de Charente Maritime
Charente	Hydrodynamique	Florence TOUBLANC, Isabelle BRENON, Olivier LE MOINE	2012	XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier - Inversion de l'asymétrie de la marée, sur un cycle morte-eau vive-eau, dans l'estuaire de la Charente	Editions Paralia CFL -Université de La Rochelle, UMR 7266 CNRS - IFREMER-LERPC, Centre de La Tremblade
Charente	Hydrodynamique	F.TOUBLANC	2013	Hydrodynamique et dynamique des sédiments fins dans l'estuaire de la Charente	Université de La Rochelle
Charente	Hydrodynamique	Thibault Coulombier	2017	Estuaire de la Charente : salinité et turbidité, effets du barrage	
Charente	Hydrodynamique	Thibault Coulombier	2020	Mesures 2019 sur la salinité et la turbidité, barrage de Saint-Savinien	
Charente	Hydromorphologie	DÉPARTEMENT DE CHARENTE MARITIME	2016	Demande d'autorisation pour le dragage et la gestion des sédiments du fleuve Charente de l'A837 à Port d'Envaux	Rapport pour DUP
Charente	Hydromorphologie	EPTB Charente	2016	PAPI Charente et estuaire	Fiche actions
Charente	Biologie	Julien Modéran	2010	Estuaire de la Charente: structure de communauté et écologie trophique du zooplancton, approche écosystémique de la contamination métallique	Thèse Université de La Rochelle, 2010. Français. NNT: 2010 LAROS 297.
Charente	Hydromorphologie	Sabine SCHMIDT 1, Eric MANEUX 2, Aymeric DABRIN 1, Georges OGGIAN 1, Hervé DERRIENNIC 1, Gérard BLANC	2010	Impact d'un barrage intra-estuarien sur la dynamique sédimentaire : la retenue de Saint-Savinien (Charente-Maritime)	XIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Les Sables d'Olonne, 22-25 juin 2010 Etude financée par l'EPTB Charente

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Charente Seudre	Biologie	AUBERT F., JOURDE J, PRINEAU M, PINEAU P., SAURIAU P.-G.	2018	Contrôle de surveillance 2017 DCE de la faune benthique de substrat meuble des masses d'eau de transition « Estuaire de la Charente - FRFT01 » et « Estuaire de la Seudre - FRFT02 » : rapport final	Contrat de prestations Ifremer ULR_MM_2017_02_003: invertébrés benthiques - eau de transition
Charente Seudre	Bon état	http://adour-garonne.eaufrance.fr/upload/DOC/FICHES/ME/EDL2019	2020	Etat de la masse d'eau : évaluation état des lieux 2019 sur la base des données 2012 à 2016	SDAGE 2022-2027 - Etat des lieux -
Charente Seudre	Hydromorphologie	DDTM17	2019	Comité de Pilotage du Schéma de Gestion des Sédiments de Dragage	Diaporama
Charente Seudre	Synthèse	AFB	2018	Atlas cartographique du plan de gestion	Parc naturel marin de la Gironde et de la mer des Pertuis
Charente Seudre Pertuis	Biologie	Lepage M. et Dublon J.,	2013	Contrôle de surveillance de l'élément de qualité biologique « poisson » dans les eaux de transition d'Adour-Garonne et synthèse des résultats	Etude Irstea n°160, Groupement de Bordeaux, 68p. Pour Agence de l'Eau Adour-Garonne
Charente Seudre Pertuis	Biologie	Auby et al	2019	Bassin Adour-Garonne : hydrologie et phytoplancton – Résultats 2013-2018.	RST ODE/LITTORAL/LE RAR/19.013, 100 p. Agence de l'Eau Adour-Garonne
Charente Seudre Pertuis	Chimie	Aymeric DABRIN	2009	Mécanismes de transfert des éléments traces métalliques (ETM) et réactivité estuarienne - Cas des systèmes Gironde, Charente, Seudre et Baie de Marennes Oléron	Université de Bordeaux 1 Thèse de doctorat en Géochimie et écotoxicologie
Gironde	Biologie	Cauvy-Fraunié et al	2020	Interpretation of interannual variability in long-term aquatic ecological surveys	Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences (0706-652X) (Canadian Science Publishing), 2020-05, Vol. 77, N. 5

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Gironde	Hydrodynamique	Mélanie Diaz, Florent Grasso, Pierre Le Hir, Matthieu Caillaud, Bénédicte Thouvenin	2018	Numerical Modelling Of Sediment Exchanges From The Gironde Estuary To The Continental Shelf: Hydrodynamic Model Validation and Sensitivity Analysis Of Sediment Fluxes To Sediment Transport Parameters	Sixth International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2018),Caen
Gironde	Hydrodynamique	Sylvain Orseau, Nicolas Huybrechts et Pablo Tassi	2019	Développement de modèles 2D dans le cadre du projet Gironde XL	Comité technique MAGEST du 24/01/2019 à Bordeaux
Gironde	Hydrodynamique	Melanie Diaz	2019	Modélisation numérique des transferts sédimentaires de l'estuaire de la Gironde au plateau continental	Thèse de doctorat en Océanographie physique et environnement
Gironde	Hydrodynamique	M. Diaz, F. Grasso, P. Le Hir, A. Sottolichio, M. Caillaud and B. Thouvenin	2020	Modeling mud and sand transfers between a macrotidal estuary and the continental shelf: influence of the sediment-transport parameterization	American Geophysical Union
Gironde	Hydrodynamique	Sylvain Orseau, Nicolas Huybrechts, Pablo Tassi , Damien Pham Van Bang , Fabrice Klein	2020	Two-dimensional modeling of fine sediment transport with mixed sediment and consolidation: Application to the Gironde Estuary, France	International Journal of Sediment Research - ELSEVIER
International	Biologie	Turner et al	2014	Hydrologic indicators of hydraulic conditions that drive flow–biota relationships	Hydrological Sciences Journal (système rivière)
International	Débit biologique	Penas et al	2013	Estimating minimum environmental flow requirements for well-mixed estuaries in Spain	Estuarine, Coastal and Shelf Science 134 (2013) 138e149
International	Débit biologique	Acreman et al	2014	Environmental flows for natural, hybrid, and novel riverine ecosystems in a changing world	Frontiers in Ecology and the Environment (466-473)
International	Débit biologique	Amorim et al,	2017	Habitat loss and gain: Influence on habitat attractiveness for	Estuarine, Coastal and Shelf Science

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
				estuarine fish communities	197 (2017) 244e257
International	Débit biologique	L. Van Niekerk et al.	2018	An environmental flow determination method for integrating multiplescale ecohydrological and complex ecosystem processes in estuaries	Science of the Total Environment 656 (2019) 482–494
International	Débit biologique	Adams, J.B.; Van Niekerk, L. Ten	2020	Principles to Determine Environmental Flow Requirements for Temporarily Closed Estuaries.	Water 2020, 12, 1944.
Loire	Biologie	GIP Loire Estuaire	2005	Fiche - La dynamique de la vie - Vitalité du plancton végétal	
Loire	Biologie	Lise LEBAILLEUX	2009	La modélisation trophique comme méthode d'approche des espèces-clés de l'estuaire de la Loire	Rapport Master Ecologie, Biodiversité, Evolution - Mention Ingénierie écologique et gestion des écosystèmes - AgroParisTech
Loire	Biologie	A.Lerouxel, E.BLANDIN, P.Rosa, P.Launeau, Y.Rincé, L.Barillé	2010	Cartographie du microphytobenthos de l'estuaire de la Loire par télédétection infra-rouge	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Loire	Biologie	GIP Loire Estuaire	2010	Fiche - Inventaire du benthos -Estuaire interne de Couëron à Saint-Nazaire	
Loire	Biologie	Stéphanie AUMEUNIER & Lise LEBAILLEUX	2013	Nage en eau trouble : lieux de passage et de vie dans les eaux estuariennes	Mardismuséum - Nantes
Loire	Biologie	Lise LEBAILLEUX - GIP Loire Estuaire	2013	Rôle biologique des grèves et vasières	Rencontre autour de la Morphologie
Loire	Biologie	GIP Loire Estuaire	2014	Fiche - La dynamique de la vie - Passage de poissons migrateurs : les saumons	

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Loire	Biologie	ASCONIT - GIP Loire Estuaire	2016	Fiche biodiversité - inventaire des roselières - estuaire interne de Bouguenais à Saint-Nazaire	
Loire	Biologie	GIP Loire Estuaire	2018	Synthèse de données - Les poissons dans l'estuaire de la Loire	
Loire	Biologie	GIP Loire Estuaire	2019	Carte - Inventaires de l'ichtyofaune réalisés dans l'estuaire de la Loire	
Loire	Chimie	GIP Loire Estuaire	2002	Fiche - La dynamique de la vie - L'oxygène de l'eau	
Loire	Chimie	GIP Loire Estuaire	2003	Fiche - La dynamique de la vie - Les nutriments	
Loire	Chimie	E. Coli - GIP Loire Estuaire	2005	Fiche - La dynamique de la vie - Sites contaminés	
Loire	Chimie	GIP Loire Estuaire	2006	Fiche - La dynamique de la vie - Les matières oxydables	
Loire	Chimie	GIP Loire Estuaire	2013	Fiche - La dynamique de la vie - Micropolluants : les Pesticides	
Loire	Chimie	Kristell Le Bot - GIP Loire Estuaire	2018	Suivi long terme de la qualité de l'eau en appui aux gestionnaires des eaux et des milieux aquatiques - Focus sur les micropolluants	Rencontre autour de la Loire de la Maine à la mer
Loire	Hydrodynamique	GIP Loire Estuaire	2011	Les dragages d'entretien dans l'estuaire	Fiche : les mouvements / les sédiments -
Loire	Hydrodynamique	GIP Loire Estuaire	2013	Bulletin n° 5 - Suivis du bouchon vaseux, de la zone d'hypoxie et le front de salinité	SYVEL (SYstème de Veille dans l'Estuaire de la Loire)
Loire	Hydrodynamique	GIP Loire Estuaire	2018	Les dragages d'entretien dans l'estuaire	Fiche : les mouvements / les sédiments -
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2011	Mosaïque d'habitats de l'estuaire de la Loire - Approche spatialisée des fonctionnalités écologiques	

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2012	Submersibilité latérale dans l'estuaire	Fiche : les mouvements / les recouvrements et découverts latéraux -
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2013	Les amplitudes de l'onde de marée	Fiche : les mouvements / la marée dynamique -
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2014	Les surfaces marnantes	Fiche : les mouvements / les recouvrements et découverts latéraux -
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2015	Les lignes d'eau du fleuve	Fiche : les mouvements / les eaux fluviales -
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2015	Profondeur d'eau disponible en amont de Nantes	Fiche : les mouvements / les eaux fluviales -
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2016	Fiches descriptives des modélisations sur la Loire, de la Maine à la mer	Rencontre autour de la Loire de la Maine à la mer, 8ème journée -
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2017	Carte - Inventaire simplifié des données topo-bathymétriques sur la Loire et sa plaine alluviale de la Maine à la mer	
Loire	Hydromorphologie	GIP Loire Estuaire	2017	Fiche - Réalisation d'un modèle numérique de terrain du lit de la Loire entre Monstoreau et Nantes	
Seine	Biologie	GIP Seine-Aval	2016	Fiche thématique état des ressources biologique : Les poissons migrateurs de l'estuaire de la Seine	
Seine	Biologie	GIP Seine-Aval	2016	Fiche thématique état des ressources biologique : Les végétations de l'estuaire de la Seine	GIP Seine-Aval
Seine	Biologie	Pascal Claquin, Jérôme MORELLE, Mathilde SCHAPIRA, Francis	2018	Projet Seine-Aval 5 PROUESSE « Production primaire de l'estuaire de la Seine »	Rapport de recherche et annexes GIP Seine-Aval

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
		ORVAIN et Pascal LOPEZ			
Seine	Chimie	C.FISSON – contribution : M.Debret, P.Houllemare, L.Vicquelin	2017	Industrialisation de l'estuaire de la Seine : Quel héritage pour la qualité des eaux ?	Projet COMHETES (Contamination historique de l'estuaire de la Seine) - GIP Seine- Aval
Seine	Hydromor phologie	N.Bacq et D.Guillaume	2011	SIG Habitats Fonctionnels de l'estuaire de la Seine - Objectifs, hypothèses et premiers résultats	GIP Seine-Aval, Parc naturel régional des Boucles de la Seine Normandie, Maison de l'Estuaire
Seine	Hydromor phologie	MUNTONI M.	2019	PROPOSE : Potentialités de RestauratiOn des habitats clés pour les POissons dans l'estuaire de laSEine.	Rapport d'étude du GIP Seine-Aval. 82pp
Seine	Hydromor phologie	Manuel MUNTONI - GIP Seine-Aval	2020	PROPOSE - Potentialités de RestauratiOn des habitats clés pour les POissons dans l'estuaire de la SEine	Rapport d'étude
Seine	Hydromor phologie	GIP Seine-Aval	2020	Fiche thématique : contexte climatique, morphologique et hydro- sédimentaire : Les vasières intertidales de l'estuaire de la Seine	GIP Seine-Aval
Seine	Synthèse	GIP Seine aval	2019	Le Programme Scientifique Seine-Aval 5 "Tout s'explique"	
Seudre	Hydromor phologie	ARTELIA	2017	PAPI Seudre ; Etude des alésas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage	SMBS
Seudre	Inondation	ARTELIA	2017	Etude des alésas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage	DDTM 17 - SMBS - (ETUDE CONJOINTE) REF : 8310773

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Tous	Biologie	T.Ruellet, G.Bachelet, A.L.Barillé, J.C.Dauvin, N.Desroy, J.P.Ducrotoy	2009	Les macrobenthos en zone oligohaline dans les grands estuaires de la façade Manche-Atlantique	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands ESTuaires
Tous	Biologie	Catherine Taverny/Pierre Elie/Philippe Boët	2009	La vie piscicole dans les masses d'eau de transition : proposition d'une grille de qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence- -	Étude CEMAGREF BORDEAUX n° 131
Tous	Biologie	S.Souissi et D.Devreker	2010	Le zooplancton, peut-il être utilisé comme indicateur de la qualité des eaux estuariennes ? - Synthèse de l'enquête -	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands ESTuaires
Tous	Biologie	Christine Delpéch, Mario Lepage	2012	Indicateur ELFI : agrégation temporelle et incertitudes et état d'avancement de l'intercalibration européenne	Rapport ONEMA IRSTEA
Tous	Biologie	Le Goff Ronan, Villanueva Ching-Maria, Drogou Mickael, De Pontual Helene	2017	Projet Bargip. Action Nourriceries. Rapport final. RST-RBE/STH/LBH/17-001.	IFREMER
Tous	Biologie	MTES/DGALN/DEB/EL M3 IFREMER AFB	2018	Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE	Ministère de la Transition écologique et solidaire
Tous	Biologie	M. Clair, V. Gaudillat, N. Michez & R. Poncet	2019	HABREF v5.0, référentiel des typologies d'habitats et de végétation pour la France	Rapport UMS PatriNat (AFB-CNRS-MNHN), Paris, 95 p.+ fichiers
Tous	Bon Etat	C.Levêque et S.Moussard	2007	Réponse à l'appel à proposition LITEAU III	projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands ESTuaires

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Tous	Bon Etat	A.Courrat, V.Foussard et M.Lepage	2010	Les indicateurs DCE estuariens Etat des lieux à l'échelle européenne en avril 2009 - Mise à jour en décembre 2010 -	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Bon Etat	A-S.Sayeux et O.Sirost	2010	Analyse de la Presse sur le bon état écologique	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Bon Etat	A.Schneider et J.Lobry	2011	Caractérisation de l'évolution comparée des trois grands estuaires français : Seine, Loire et Gironde	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Bon Etat	G.Bouleau	2011	De la notion de bon état aux trajectoires passées et futures de trois estuaires macrotidaux	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Bon Etat	Colloque de restitution	2011	BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires	
Tous	Bon Etat	C.Levêque	2011	Synthèse du projet BEEST	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Bon Etat	C.Levêque	2011	Le bon potentiel des estuaires - conclusions et perspectives du projet BEEST	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Bon Etat	Christian Lévêque	2011	Synthèse du projet BEEST	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
Tous	Bon Etat	IFREMER AFB	2018	Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE	Ministère de la Transition écologique et solidaire
Tous	Bon etat	C. Capderrey	2019	Outils mobilisables pour la restauration écologique en milieu estuarien	BRGM/RP-67498-FR 203p.,48fig., 8 tabl.
Tous	Chimie	V.Foussard et H.Etcheber	2011	Proposition d'une stratégie de surveillance des paramètres physico-chimiques pour les estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Hydromorphologie	Fernand Verger	2005	Marais et estuaires du littoral français	Édition Belin (335 pp)
Tous	Hydromorphologie	Jean Paul Ducrotoy	2010	La restauration écologique des estuaires	Édition Lavoisier (229pp)
Tous	Hydromorphologie	A.Just et P.Boët (coord)	2011	Comparaison cartographique des estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Hydromorphologie	V.Foussard et A.Sottolichio	2011	Caractérisation d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires de Bon Etat écologique des estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde - Partie 1 : Synthèse bibliographique des méthodes européennes -	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Hydromorphologie	V.Foussard et A.Sottolichio	2011	Caractérisation d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires de Bon Etat écologique des estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde - Partie 2 : Synthèse de la démarche et des résultats -	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Hydromorphologie	N.Bacq, S.Moussard et J.Lobry	2011	Cartographier les fonctionnalités pour spatialiser le potentiel écologique - Mise en place d'un outil SIG	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
				'Habitats Fonctionnels' sur les estuaires de la s	
Tous	Hydromorphologie	A.Just et J.Lobry	2011	Le SIG Habitats Fonctionnels. Un outil novateur d'évaluation spatialisée des fonctionnalités environnementales de l'estuaire	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Hydromorphologie	O. Brivois	2016	Avancement 2016 de l'élaboration du programme de surveillance de la qualité hydromorphologique des masses d'eau littorales de la façade Atlantique-Manche-Mer du Nord dans le cadre de la DCE Rapport final	BRGM/RP-66714-FR Étude réalisée dans le cadre de l'action 58 de la convention ONEMA-BRGM 2015-2016
Tous	Hydromorphologie	Jean-Michel Olivier CNRS Université Lyon 1; Stéphanie Moussard & Nicolas Bacq-GIP Seine-Aval; Valérie Foussard, FR CNRS - Université de Rouen	2016	Retours d'expériences de restauration écologique en milieu estuarien	ONEMA
Tous	Sociologie	O.Sirost, D.Sampaio, C.Gramaglia, A.S.Sayeux, P.Boet, M.Almaric, F.Pousset, A.Bertho, G.Bouleau, D.Loupsans, S.Moussard	2009	Appréhender le bon état écologique dans les estuaires français Seine, Loire et Gironde	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Sociologie	D.Loupsans et C.Gramaglia	2011	L'expertise sous tensions. Cultures épistémiques et politiques à l'épreuve de l'écriture de la DCE	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Sociologie	A.Bertho et C.Gramaglia	2011	Les savoirs sur la qualité de l'eau de l'estuaire de la Gironde à l'épreuve de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) - rapport de stage	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands Estuaires
Tous	Sociologie	C.Larrue et M.Amalric	2011	Appréhender le bon état, bon potentiel, bon fonctionnement	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du

Type estuaire	Thème	Auteur(s)	Année	Titre	Autre
				écologique ou bonne référence - enquête sur la Loire	Bon Etat écologique des grands ESTuaires
Tous	Sociologie	O.Sirost	2011	Appréhender le bon état écologique dans l'estuaire de la Seine	Projet BEEST - Vers une approche multicritère du Bon Etat écologique des grands ESTuaires

