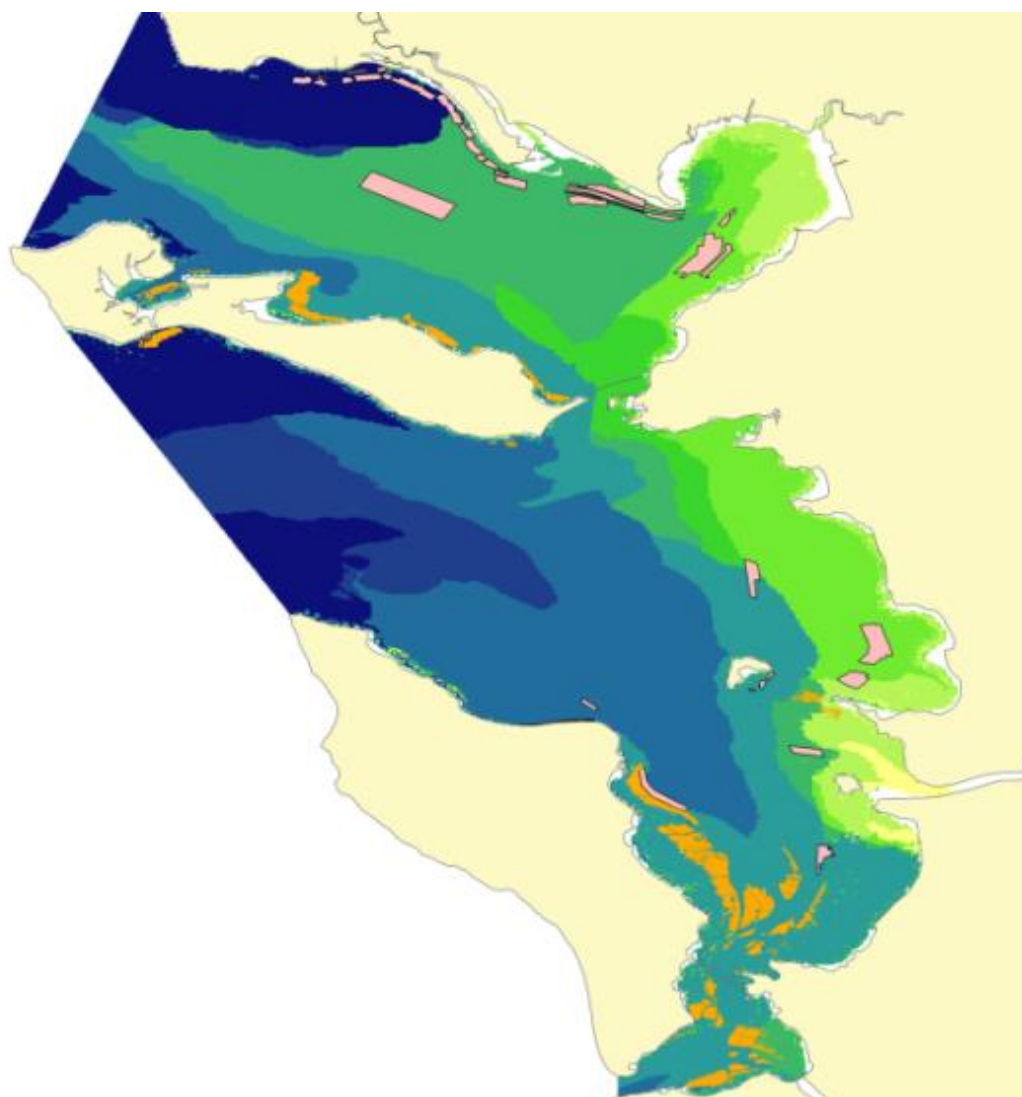


# Temps de renouvellement des masses d'eau des Pertuis Charentais



Note méthodologique



# Temps de renouvellement des masses d'eau des Pertuis Charentais

## Note méthodologique



## Fiche documentaire

<b>Numéro d'identification du rapport :</b> <b>Diffusion :</b> libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		<b>date de publication : 2018</b> <b>nombre de pages :</b> 20 <b>bibliographie :</b> <b>illustration(s) :</b> <b>langue du rapport :</b>
<b>Validé par :</b> A Bruneau Adresse électronique : Audrey.Bruneau@ifremer.fr		
<b>Titre de l'article : Temps de renouvellement des masses d'eau des Pertuis Charentais</b>		
Contrat n°                      Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> <b>Le Moine Olivier</b>	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> ODE/UL/LERPC	
Encadrement(s) :		
<b>Cadre de la recherche :</b>		
Destinataire : in fine		
<b>Résumé</b> La dynamique de renouvellement des masses d'eau dans les écosystèmes semi ouverts revêt une importance primordiale dans la caractérisation qualitative de l'environnement, et de l'influence sur la ressource exploitée. La recherche de variables de représentation synthétique spatialisée de cette dynamique a amené à appliquer une méthode d'estimation du temps de renouvellement local des masses d'eau des Pertuis Charentais. La méthodologie a été développée par divers auteurs ; elle consiste à évaluer le temps que met chaque maille de calcul à évacuer 63 % du traceur initialisé à une concentration de 1 (Braunschweig, 2003). La méthodologie est détaillée ici, avec pour objectif de documenter les aspects cartographiques en cours de développement, pour éclairer leur diffusion.		
<b>Abstract</b> The dynamics of water renewal in semi closed ecosystems takes an essential importance in the qualitative characterization of the environment, and its impact on the exploited resource. The research of synthetic spatialized variables representing this dynamics brought to apply a method of estimation of the time of local renewal in Charentais Sounds. Various authors developed a methodology (Braunschweig, 2003). The used methodology is detailed here, with objective to document the cartographic aspects under development, to enlighten their broadcasting		
<b>Mots-clés</b>  Modélisation hydrodynamique, Temps de renouvellement, Pertuis Charentais		
<b>Words keys</b> Hydrodynamic modelling, Time of renewal, Charentais Sounds		



## Contenu

<b>Fiche documentaire .....</b>	<b>5</b>
1. Introduction .....	9
2. Méthode .....	10
3. Résultats .....	12
3.1. Cartographie .....	12
3.2. Variabilité spatiale sur les zones d'élevage .....	13
4. Discussion .....	14
5. Conclusion .....	15
6. Références.....	17
7. Annexes.....	19
Annexe 1 : Temps de renouvellement par maille (struski, 2005) .....	19





## 1. Introduction

La recherche des variables impliquées dans les performances des élevages conchylicoles amène obligatoirement au besoin d'évaluer la capacité de renouvellement des masses d'eau dans les zones concernées. De ce paramètre dépend la dynamique d'apports en nutriments et en phytoplancton aux organismes filtreurs, donc la capacité de charge, mais également le risque de contaminations des animaux, lié aux transports par les masses d'eau (hydrodynamique) (Polsenaere et al. 2017). La capacité de contamination/décontamination, et donc la santé de l'écosystème, dépend également de cette variable dynamique.

Les évaluations globales du temps de renouvellement faites par estimation du prisme tidal (ratio entre le volume oscillant échangé par la marée et le volume total moyen de l'emprise), ne permettent pas de caractériser spatialement le renouvellement. Des concepts ont donc été développés pour permettre une perception plus synthétique et spatialisée du fonctionnement dynamique de l'écosystème (temps de renouvellement, temps de résidence, âge des masses d'eau, ... (Braunschweig et al. 2003, Uncles et al. 2013).

Le temps de renouvellement est un indicateur hydrodynamique qui rend compte de la circulation et des processus de mélange des masses d'eau. Il est donc intéressant de l'évaluer, comme contributeur à la qualification du milieu dans le cadre de l'analyse des performances de croissance ou de mortalités des élevages (Pepin et al. 2016, Koutitonsky et al. 2004).

L'évaluation de cette variable spatialisée est réalisée à l'aide de la modélisation hydrodynamique (Fiandrino et al. 2012, Lazure and Dumas 2006). Le principe en est le calcul de la dilution au cours du temps d'un traceur conservatif sur une emprise donnée (ici l'ensemble des pertuis charentais).

L'objet de ce travail, bien qu'issu des réflexions et recherches sur les relations entre la dynamique des écosystèmes conchylicoles et les performances des élevages (i.e. mortalités, qualité, rendement...), n'est pas une analyse en soi de ces relations, même si elles sont utilisées en outils de comparaison. Il s'agit davantage d'une description méthodologique préliminaire destinée à documenter les diverses cartographies en résultant.

## 2. Méthode

### *Modèle :*

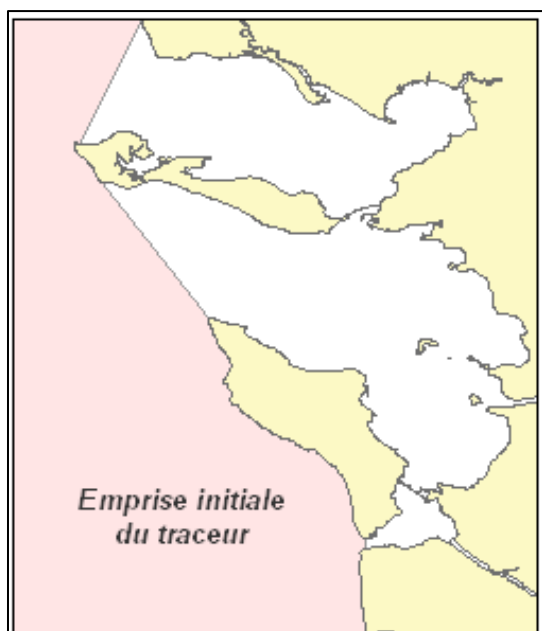
Le modèle utilisé est le modèle MARS-3D Pertuis, développé par l'Ifremer ( Lazure and Dumas 2006, Stanisière et al. 2006, Polsenaere et al. 2017).

### *Forçages :*

La modélisation a été réalisée dans des conditions réalistes, sur la période hivernale 2016 (janvier-mars). Les conditions de marée sont issues du modèle du SHOM : CSTFRANCE\_SHOM2004. La météorologie est celle du modèle AROME de Météo-France et les débits des fleuves ceux de la base Hydro-Eau France.

### *Modélisation :*

La méthode utilisée consiste à introduire un traceur en début de simulation sur l'emprise choisie, puis d'analyser le transport et/ou la dilution dont il fait l'objet au cours du temps sous les contraintes de marée, météo et débits des fleuves (Braunschweig et al. 2003, Uncles et al. 2013). Nous avons, dans un premier temps, choisi d'analyser comment l'eau du Golfe de Gascogne renouvelait celle des Pertuis. Exemple de l'hiver 2016 .....



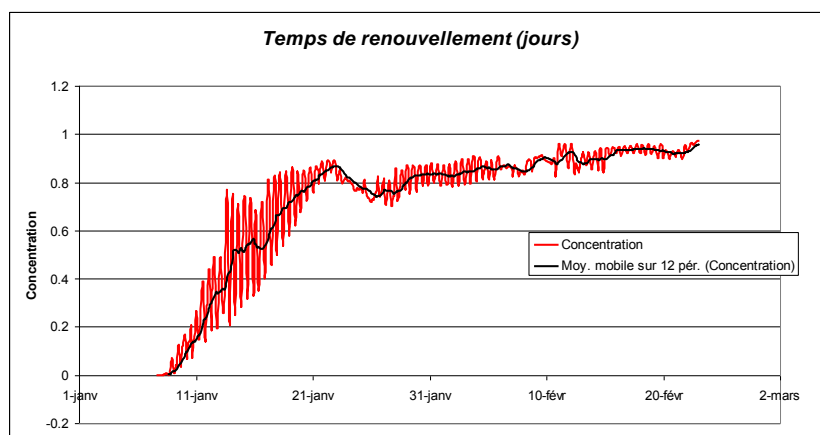
Le traceur a été initialisé à une valeur de 1 sur l'ensemble de la colonne d'eau à l'extérieur des pertuis, ainsi que dans les conditions aux limites de l'emprise de calcul (en rose). De cette manière, toute l'eau « neuve » arrivant de l'océan se trouve à cette même concentration de 1 (Carte 1). La simulation est initialisée à une pleine mer de coefficient moyen voisin de 70 (Monsen et al. 2002, Braunschweig et al. 2003). Dans notre cas le 8 janvier 2016 à 15 h 49 heure légale, coefficient de 74, en période de revif de mortes eaux..

Carte 1 : emprise initiale du traceur (en rose)

Si l'on observe la concentration de ce traceur « Océan » à l'intérieur des Pertuis, on la voit augmenter progressivement, avec des oscillations dues aux « va et vient » imposés par la marée (fig. 1). La concentration initiale est nulle, et en finale, théoriquement, de 1, indiquant le renouvellement total de la masse d'eau du Pertuis par l'eau tracée « Océan » en provenance du Golfe de Gascogne. Le renouvellement total du traceur, est très théorique, et n'est jamais atteint dans les Pertuis, une concentration résiduelle persistant sur une durée infinie ; le temps de renouvellement est alors estimé par recherche du temps nécessaire à atteindre un renouvellement significatif de la masse d'eau définie à  $1-e^{-1}$  (Monsen et al. 2002, Arneborg 2003). Le traceur se trouvant alors à une concentration de 63%.

L'estimation inverse, consistant à examiner le comportement d'un traceur interne aux pertuis au cours du temps a été également réalisée, à partir de traceurs dans chacun des pertuis (Breton, Antioche et Bassin de Marennes Oléron BMO) , avec les objectifs i) de cartographier le renouvellement des pertuis les uns indépendamment des autres, ii) d'avoir la capacité d'évaluer des zones d'influence d'un pertuis sur un autre via les transferts de masses d'eau et iii) de vérifier l'équivalence des résultats avec ceux du traceur « Océan ». Cet aspect ne sera pas présenté ici, le présent travail n'étant qu'une description méthodologique.

La simulation est initialisée à un coefficient de marée intermédiaire (74 dans notre cas, le 8/01/2016, 15 :49 HL, Braunschweig et al. 2003), donc dans des conditions moyennes de mouvements d'eau. La recherche du moment précis où le ratio cherché est atteint est faite à l'aide du calcul d'une moyenne mobile sur la période de la marée (~12 h), pour lisser les oscillations dues à la marée ; cette opération est réalisée sur l'ensemble du domaine. Le point d'intersection de cette courbe avec l'abscisse de 0,63 donne le temps de renouvellement du point considéré (soit environ le 18 janvier et 12 jours pour notre exemple fig.1).

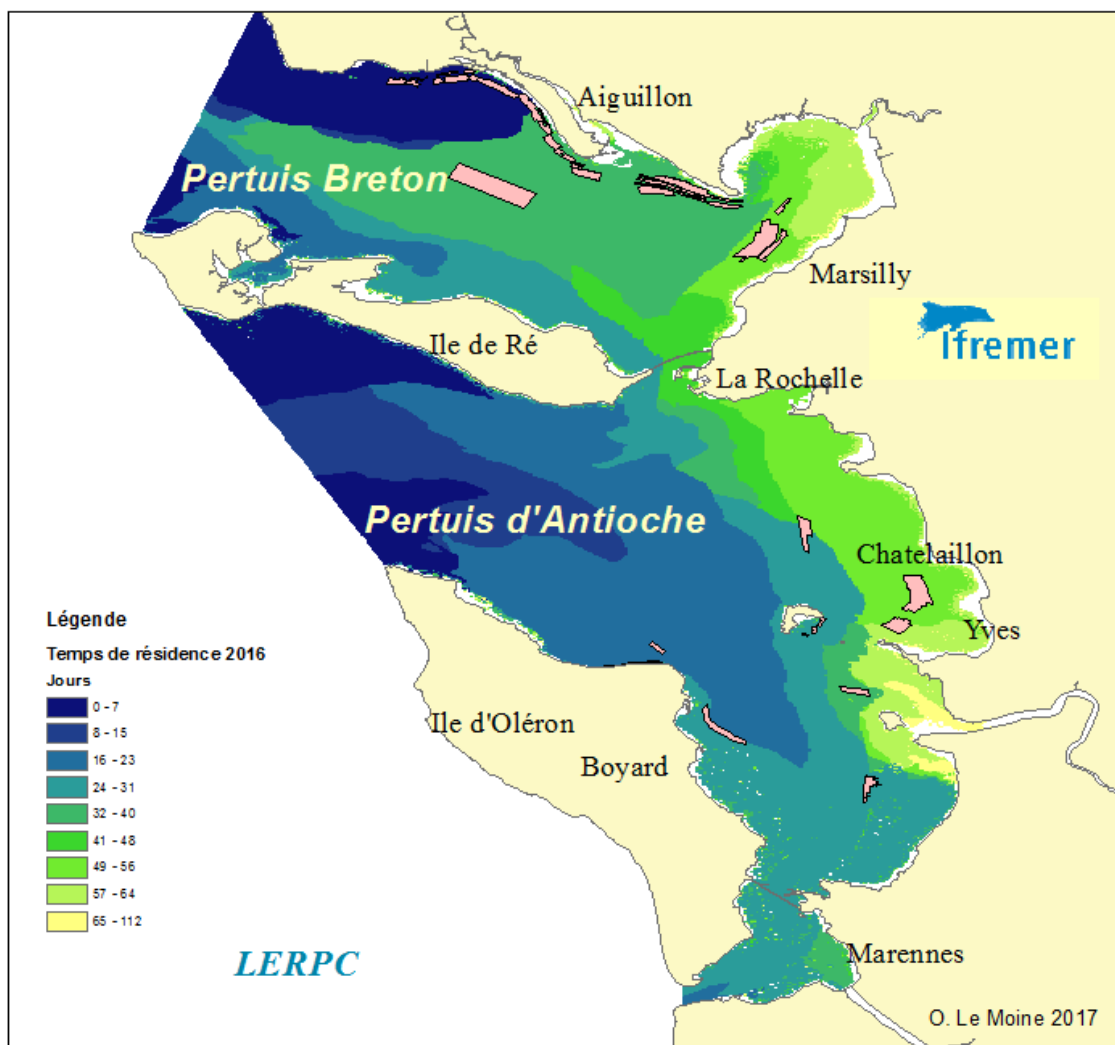


**Figure 1 : évolution du traceur "Océan" au point Filières Pertuis Breton exemple de l'hiver 2016 avec un coef. de marée de 74. 08/01/2016 15 :49**

## 3. Résultats

### 3.1. Cartographie

Les Pertuis Charentais montrent une grande hétérogénéité spatiale vis à vis de cet indicateur, le temps de renouvellement moyen sur la colonne d'eau variant de quelques jours à plus de 3 mois (carte 2). Les fonds de baie (Aiguillon, Yves, embouchure de Charente) sont naturellement les plus longs à se renouveler. La morphologie des fonds et de la côte contraignent fortement la dynamique de ces zones, limitant alors les déplacements d'eau. De plus l'eau douce arrivant des fleuves (cas des embouchures du Lay, de la Sèvre et de la Charente) contribue à minimiser leur renouvellement par l'eau océanique. On note en 2016 des temps très courts (donc renouvellements élevés) dans le Pertuis d'Antioche et le long de la côte Sud Vendéenne. La côte Ouest Oléronaise, ainsi que l'ensemble du bassin de Marennes Oléron sont également dans ce cas de figure.



Carte 2 : temps de renouvellement dans les Pertuis Charentais (hiver 2016)

### 3.2. Variabilité spatiale sur les zones d'élevage

Cet exemple étant issue d'une réflexion sur la variabilité spatiale des mortalités de moules (Projet Morbleu, Pepin et al. 2017) Il est intéressant de remarquer la grande variabilité de ce descripteur entre les différentes zones d'élevage. Cela augure plutôt favorablement de sa capacité de discrimination inter-sites.

**Tableau 1 : comparaison des temps de renouvellement hivernaux (en jours) des différents sites d'élevage de Poitou-Charentes**

BANC	Tmoy_2016 (jours)
Saint Froult	30.3
Yves Sud	55.8
Yves Nord	53.9
Boyard	22.8
Marsilly	53.2
Pertuis Breton Filière	35.0
Saumonards	22.0
Saumonards Filière.	20.5
Aiguillon Nord	36.4
Charente	32.2
La Tranche	15.5
Aiguillon Median	34.6
Aiguillon Sud	34.7
Esnandes Est	54.1
Ile d'Aix	29.3
Chatellaillon_Filière	35.9

## 4. Discussion

Les auteurs ayant réalisé des estimations de cette variable dans les Pertuis Charentais ont essentiellement travaillé sur le bassin de Marennes Oléron (Struski 2005, Stanisière et al. 2006, Plus et al. 2006, Kenov Ascione et al. 2015. Leurs objectifs et forçages sont différents ceux utilisés ici. Les résultats obtenus montrent donc certains écarts avec ceux de cet exemple (TAB. 2)

**Tableau 2 : temps de renouvellement (traceur océanique) dans le Bassin de Marennes Oléron**

Temps de renouvellement (jours) BMO	2016
Maximum	112
Minimum	17
Moyenne	32
Ecart type	12.9

**Struski** (2005) a estimé ces temps de renouvellement par initialisation d'un traceur dans certaines mailles (16 au total), choisies à priori pour refléter au mieux la variabilité de ce paramètre dans l'espace (annexe 1). Le calcul a été fait de la même manière, avec une initialisation en Vives Eaux et une en Mortes Eaux. Les résultats qu'elle obtient varient de 0,4 à 16,7 jours selon les points. S'agissant à chaque fois d'une maille de calcul unique, ces résultats ont tendance à optimiser les temps de renouvellement calculés. En effet, les zones les moins renouvelées (fonds de baie...) ne sont pas incluses dans la moyenne des points. Ils ne peuvent donc que difficilement être comparés au tableau 5.

**Stanisière** dans son étude en 2006 a recherché l'impact des différentes variables forçantes de ce paramètre. Ils ont pour cela analysé la variabilité des temps de renouvellement selon les forçages de force et direction du vent, débits de fleuves faibles ou forts, et coefficients et phases de marée différents. L'emprise initiale de traceur choisie à priori était celle du bassin de Marennes Oléron, ce qui diffère de notre exemple, qui vise à analyser la capacité de renouvellement par un traceur océanique sur l'ensemble des pertuis (Carte 1). L'essentiel du renouvellement de Marennes Oléron étant Nord Sud (Stanisière, 2006) le traceur doit donc franchir le Pertuis d'Antioche avant d'irriguer le BMO. Leurs résultats (de 6 à 15 jours en moyenne, Annexe 2) différent donc des nôtres, et leur sont logiquement inférieurs puisqu'ils incluent le temps mis par le traceur pour le passage du Pertuis d'Antioche. Ils restent cependant cohérents si l'on déduit ce temps de renouvellement moyen du Pertuis d'Antioche dans les mêmes conditions (23 jours), on obtient 9 jours pour le BMO. Cette analyse est cohérente, vu la différence d'emprise initiale du traceur considéré.

**Kenov Ascione**, et al. (2015) ont adopté une autre approche, en divisant le BMO en deux boîtes, une continentale à l'est, et une à l'ouest le long de l'île d'Oléron en conditions de forçages (météo, débits, marée) réalistes. L'option choisie est de compter le temps nécessaire à un renouvellement de 80%, et les conditions initiales testées l'ont été en vives et mortes eaux, à pleine et basse mer, de l'hiver au printemps. Les résultats obtenus lors des pleines mers de mortes eaux, se rapprochant le plus des nôtres (de 2 à 18 jours), très proches de ceux de Stanisière. Notre exemple donne : de 20 à 30 jours à l'est et de 13 à 30 jours à l'ouest, restant en cohérence avec les différents auteurs cités.

Les auteurs ayant analysé le temps de renouvellement du BMO s'accordent sur le fait que les forçages prépondérants sont ceux des marées et de la météorologie, les débits de fleuves étant négligeables dans ce descripteur. Notre stratégie de modélisation est calquée sur celle de Braunschweig (2003) : en initialisant les différentes simulations à pleine mer d'une marée de coefficient intermédiaire de référence (~70), le volume oscillant se situe autour de sa valeur moyenne, et permet une estimation de la situation qui ne soit pas extrême et permette les comparaisons saisonnières. L'essentiel de la variabilité résiduelle provient alors des forçages météorologiques (essentiellement le vent, intensité et direction). Les météorologies hivernales étant toujours plus chaotiques que celles des autres saisons, on peut penser que les saisons printanières ou estivales, plus calmes seront également plus homogènes. Des simulations sont en cours pour vérifier ces aspects.

## 5. Conclusion

La variable estimée dans ce travail, i.e. le temps de renouvellement est d'un intérêt certain dans l'analyse des performances des élevages aquacoles (Koutitonsky 2006) ; ce qui est particulièrement important dans le cas des élevages de filtreurs sessiles, strictement dépendants des apports de nutriments par les masses d'eau. C'est également une façon d'aborder la capacité de contamination et décontamination (microbienne, chimique ou autre) d'une manière localisée. Il s'agit donc d'un paramètre pouvant être d'un grand intérêt dans l'évaluation spatiale qualitative d'un environnement donné.

Ce descripteur, étudié dans cet exemple au cours de l'hiver 2016 présente une forte variabilité spatiale. Il sera très intéressant, dans une prochaine étude d'analyser sa variance selon : (i) les années (ii) saisons/mois et (iii) les phases de marée de déchet/revif de vives et mortes eaux, et de la comparer à la variance spatiale, pour évaluer le poids de l'effet « site » par rapport aux autres variables forçantes, dans des conditions réalistes.

Fortement dépendant de la météorologie, des séries de simulations importantes seraient nécessaires pour en extraire des valeurs médianes significatives pour une qualification

cartographique de l'environnement. Néanmoins, cela reste une variable d'un grand intérêt pour la qualification saisonnières des performances conchylicoles, sanitaires ou zoo sanitaires.

Cet indicateur, couplé à une évaluation de la connectivité intra et/interspécifique entre les zones d'élevage (Travers et al. 2015) pourrait servir à une approche spatiale de probabilité de risque de transmission épidémique..



## 6. Références

**Ascione Kenov, I.**, et al., Water fluxes and renewal rates at Pertuis d'Antioche/Marennes-Oleron Bay, France, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.031>

**Arneborg L.**, 2004. turnover times for the waters above sill level in Gullmar Fjord. *Continental Sea Research* 24, 443-460.

**Braunschweig, F.**, Martins, F., Chambel, P., Neves, R., 2003. A methodology to estimate renewal time scales in estuaries: the Tagus Estuary case. *Ocean Dyn.* 53,137-145.

**Fiandrino A.**, Giraud Anais, Robin Sandrine, Pinatel Christine (2012). Validation d'une méthode d'estimation des volumes d'eau échangés entre la mer et les lagunes et définition d'indicateurs hydrodynamiques associés. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00274/38544/Kenov>

**Koutitonsky V. G.**, Guyondet T., St-Hilaire A., Courtenay S. C., Bohgen A., 2004. Water renewal estimates for aquaculture developments in the Richibucto Estuary, Canada. *Estuaries* 27 (5), 839-850.

**Koutitonsky V. G.**, Tita, G. Temps de renouvellement des eaux dans la lagune de Grande Entrée aux îles de la Madeleine. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'alimentation du Québec. Rapport de recherche-développement n° 151. 73 p.

**Lazure P.**, Dumas P., An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS), *Advanced in Water Resources*, 31(2), 2006, p. 233-250.

**Monsen Nancy**, E. James E. Cloern, Lisa V. Lucas A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales *Limnol. Oceanogr.*,47(5), 2002, 1545-1553 .

**Polsenaere Pierre**, Soletchnik Patrick, Le Moine Olivier, Gohin Francis, Bechemin Christian (2014). Caractérisation des variations environnementales hivernales observées durant l'épisode des surmortalités de moules bleues dans le Pertuis Breton en 2014. Journées RBE (IFREMER), 09-10 décembre 2014, Nantes.

**Polsenaere Pierre**, Soletchnik Patrick, Le Moine Olivier, Gohin Francis, Robert Stephane, Pépin Jean-Francois, Stanisière Jean-Yves, Dumas Franck, Béchemin Christian, Gouletquer Philippe Potential environmental drivers of a regional blue mussel mass mortality event (winter 2014, Breton Sound, France). *Journal of Sea Research* IN PRESS. <http://doi.org/10.1016/j.seares.2017.03.005>

**Pépin Jean-Francois**, Travers Marie-Agnes, Bechemin Christian, Soletchnik Patrick, Le Moine Olivier, Guesdon Stephane, Lapegue Sylvie, Benabdelmouna Abdellah, Hervio Heath Dominique, Bierne Nicolas (2016). Projet MORBLEU. Mortalités des moules bleues dans les Pertuis Charentais et Vendée 2014-2015 : de l'expertise aux actions de recherche. Description des conditions associées aux épisodes de mortalité. Point d'information sur l'étude en cours. Journée de la Santé des mollusques marins et Journées de l'Observation conchylicole. 02 au 04 février 2016, Ifremer, Nantes, France.

**Plus M.**, Maurer D., Stanisière J.Y., Dumas F., 2006. Caractérisation des composantes d'une lagune mésotidale, le bassin d'Arcachon. Rapport Scientifique et Technique RST/LER/AR/06.007. 54 p. Contribution au Chantier Littoral Atlantique du PNEC.

**Stanisière J.Y.**, Dumas F., Plus M., Maurer D., Robert S., (2006). Caractérisation des composantes hydrodynamiques d'un système côtier semi-fermé : Le Bassin de Marennes-Oléron. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2353/>

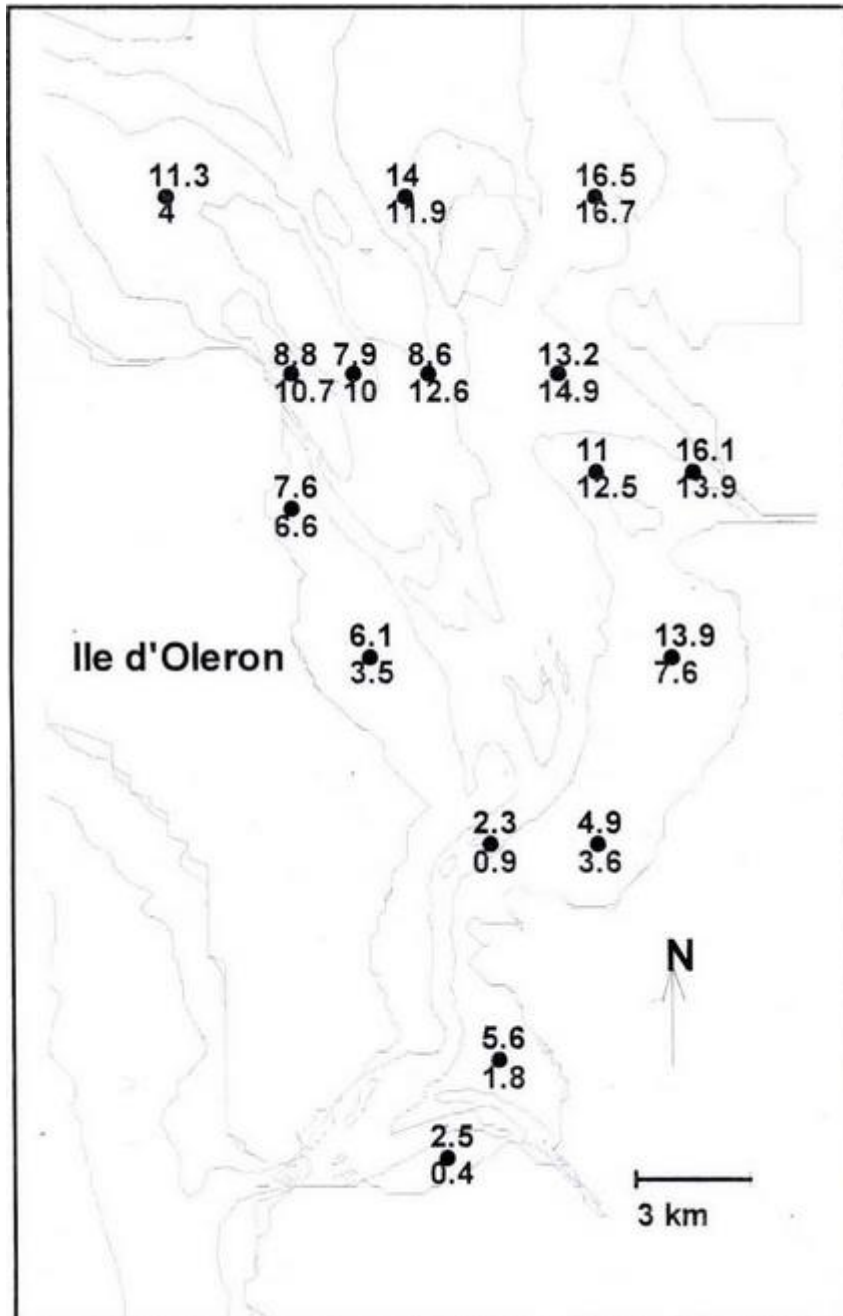
**Struski C.**, (2005). Modélisation des flux de matières dans la baie de Marennes-Oléron : couplage de l'hydrodynamisme, de la production primaire et de la consommation par les huîtres. Thèse, Université de La Rochelle, 340 p.

**Travers Marie-Agnes**, Pépin Jean-Francois, Soletchnik Patrick, Le Moine Olivier, Guesdon Stephane, Lapegue Sylvie, Benabdelmouna Abdellah, Hervio Heath Dominique, Bierne Nicolas (2015). Projet MORBLEU 2015. 43ème Salon National du matériel ostréicole, mytilicole, cultures marines et pêche loisirs de mer, 12 avril 2015, La Tremblade, France.

**Uncles, R.J.,** Torres, R., 2013. Estimating dispersion and flushing time-scales in a coastal zone: application to the plymouth area. *Ocean Coast. Manag.* 73, 3 -12

## 7. Annexes

### Annexe 1 : Temps de renouvellement par maille (Struski, 2005)



Carte 3 : Temps de renouvellement moyen (en jours) estimés pour les points 1 à 16 (numérotés de gauche à droite et de haut en bas), dans différentes conditions hydrologiques (en dessous : ME/débit de Charente étiage au-dessus : VE/débit de Charente crue) Struski, 2005

Annexe 2 : analyse des variables forçantes du temps de renouvellement (Stanisière, 2006)

**Tableau 2 : temps de renouvellement en jours du Bassin de Marennes Oléron en fonction de la marée (in Stanisière, 2006)**

<b>Coefficient</b>	<b>Revif/Déchet</b>	<b>Temps de renouvellement (Jours)</b>
42	Revif	8
68	Revif	11
95	Revif	11
112		13
96	Déchet	14
71	Déchet	13
45	Déchet	11
25	Déchet	9

**Tableau 3 : Temps de renouvellement en jours du Bassin de Marennes Oléron en fonction du vent (in Stanisière, 2006)**

<b>Vent Secteur (°)</b>	<b>Intensité (ms-1)</b>	<b>Temps de Renouvellement (Jours)</b>
Vent Nul		14
0	5	11
90	5	14
180	5	15
270	5	14
0	10	6
90	10	9
180	10	10
270	10	12