Profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole de Charente-Maritime (17)

Atlas cartographique de zones hydrographiques cohérentes en terme de risque microbiologique

Ifremer/ODE/UL/LER-PC
Auteurs : Morin Dimitri, Le Moine Olivier, Geairon Philippe
Date: 23/08/2019

Fiche documentaire

Titre du rapport : Profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole de Charente Maritime (17). Atlas cartographique de zones hydrographiques cohérentes en terme de risque microbiologique.	
Référence interne : R.ODE/UL/LER-PC 2019-004 **Diffusion :** ☒ libre (internet)	**Date de publication :** 2019/08/23 **Version :** 1.0.0 **Langue(s) : FR**

Résumé/ Abstract :

- **Profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole**

Ce projet s'inscrit au titre de la préservation du littoral dans la démarche d'amélioration de la qualité des eaux de baignade et de la qualité sanitaire des zones et eaux conchylicoles, notamment inscrite dans les orientations fondamentales du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) des Agences de l'Eau Loire-Bretagne (**AELB**) et Adour-Garonne (**AEAG**).

L'élaboration des profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole a pour objectif global de recenser, de quantifier et hiérarchiser les différentes sources de pollution susceptibles d'impacter les zones de production conchylicole. Ils permettent d'identifier l'origine de la contamination des zones de production conchylicole, d'évaluer et hiérarchiser l'impact des flux de pollution susceptibles de dégrader la qualité des eaux et enfin aboutir à un programme d'actions visant à supprimer ou réduire ces sources de pollution.

- **Maîtrise d'ouvrage : Conseil Départemental de la Charente-Maritime**

La réduction des risques sanitaires de contamination bactériologique dans les zones de production conchylicole est un enjeu économique majeur et prioritaire pour le département de la Charente-Maritime. Les profils de vulnérabilité pour l'ensemble des zones de production conchylicole de la Charente-Maritime est placé en 2016 sous maitrise d'ouvrage du Département de la Charente-Maritime. La cellule qualité des eaux littorales et portuaires du Conseil Départemental de la Charente-Maritime est chargée de conduire ces études.

- **Définition des zones hydrographiques (expertise Ifremer)**

Suite aux sollicitations des acteurs du territoire en matière de gestion durable du littoral et de reconquête de la qualité des eaux en Charente-Maritime, le LER-PC s'est engagé dans le cadre des profils de vulnérabilité à apporter son expertise sur le domaine de l'environnement et de ces interactions sur les zones de production conchylicole dans les Pertuis Charentais.

Le premier volet portant sur la **recherche de bibliographie sur les sujets, études et historiques de données microbiologiques dans les Pertuis Charentais**, et le second concernant la définition d'un zonage hydrographique cohérent de l'influence microbiologique pour les zones de production conchylicole. Si le premier concernait un relevé bibliographique issus d'étude d'Archimer, le second l'était moins et nécessitait une étude expertise d'Ifremer particulière.

L'objectif prioritaire de ce volet décrit dans le rapport a donc été de définir pour le Conseil Départemental de La Charente Maritime des zones hydrographiques cohérentes en termes de risque microbiologique. Secondairement, ce travail permet de donner aux acteurs du territoire en matière de gestion durable du littoral et de reconquête de la qualité des eaux en Charente-Maritime des éléments complémentaires permettant d'objectiver la priorisation des études de recherche de sources de contamination à venir.

Mots-clés/ Key words : Profils de vulnérabilité, zones de production conchylicole, atlas cartographique, zones hydrographiques cohérentes, microbiologie, Charente-Maritime.

Comment citer ce document :
Morin Dimitri, Olivier Le Moine, Philippe Geairon (2019). **Profils de vulnérabilité conchylicole des zones de production conchylicole de Charente Maritime (17). Atlas cartographique de zones hydrographiques cohérentes en terme de risque microbiologique.** RST.ODE/UL/LER/PC 19.004.

Disponibilité des données de la recherche :
Atlas cartographique disponible sur SEXTANT : **https://sextant.ifremer.fr/**

DOI : 10.17882/47157

Commanditaire du rapport : Conseil Départemental de la Charente Maritime (CD17)	
Nom / référence du contrat : ☐ Rapport intermédiaire ☒ Rapport définitif	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) : Profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole de Charente-Maritime.	
Auteur(s) / adresse mail	**Affiliation / Direction / Service, laboratoire**
Dimitri MORIN / dimitri.morin@ifremer.fr Olivier LE MOINE / olivier.le.moine@ifremer.fr Philippe GEAIRON / philippe.geairon@ifremer.fr	IFREMER / Océanographie et Dynamique des Ecosystèmes / Laboratoire Environnement littoral et Ressources aquacoles des Pertuis Charentais
Collaborateur(s) : Audrey BRUNEAU, Sylvie TAILLADE	
Destinataire : Conseil Départemental de la Charente Maritime (CD17)	
Validé par : Audrey BRUNEAU et Jean-Côme PIQUET	

Table des matières

Contexte de l'étude 7

L'Ifremer en Appui à la Puissance Publique (APP) 7

Le cadre réglementaire 7

Le classement des zones conchylicoles 8

Profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole 9

Maîtrise d'ouvrage : Conseil Départemental de la Charente-Maritime 9

Définition des zones hydrographiques (expertise Ifremer) 10

Objectifs et méthode 10

Variables prises en compte 10

Déroulement des différentes opérations 11

Calcul des temps de renouvellement. 12

Traitements spatialisés de classification zonale 13

Résultats-discussion 15

Validation du modèle 15

Calcul des temps de renouvellement 15

Variabilité due au cycle de marée 17

Variabilité spatiale et saisonnière 20

Temps de renouvellement 20

Salinité et température 21

Classification 34

Zonages obtenus 35

Variables environnementales 38

Temps de renouvellement 38

Températures et salinités 38

Lien avec les élevages 45

Corrélations spatiales avec la synthèse des résultats des analyses microbiologiques saisonnières 51

Pistes et recommandations 54

Facteurs de risques (non pris en compte dans la méthodologie précédente) 54

Impact sur les apports 54

Impact sur la diffusion 54

Qualité environnement 54

Valorisation : données spatialisées mises à disposition sur le serveur de données géographiques Sextant de l'Ifremer (en cours) 57

Données rasters : 57

Données vectorielles : 57

Données surfaciques : 57

Données ponctuelles : 57

Liste des illustrations 59

Contexte de l'étude

L'Ifremer en Appui à la Puissance Publique (APP)

La recherche de l'Ifremer vient en appui au déploiement des politiques maritimes, qu'il s'agisse de la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), des politiques sanitaires et zoosanitaires, de la Politique Commune des Pêches (PCP), de l'aquaculture ou encore des stratégies nationales en matière de biodiversité. Cette expertise fait partie intégrante des missions de l'Institut. L'appui aux politiques publiques représentant environ un tiers des activités de l'institut est réalisé pour partie au sein des unités de recherche mais repose beaucoup, pour le volet observation et surveillance notamment, sur les implantations de façade. Ces implantations, dont le Laboratoire Environnement Ressources des Pertuis Charentais (LER-PC) fait partie, mettent en œuvre les dispositifs de surveillance coordonnées à l'échelle nationale et contribuent par leur expertise aux prises de décision des services déconcentrés de l'Etat.

Le cadre réglementaire

La qualité des eaux associées à la production conchylicole (et à la pêche à pied) est encadrée par deux directives européennes :

- **La directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000**, appelée communément directive cadre sur l'eau, établit un cadre pour la politique communautaire dans le domaine de l'eau et notamment pour la protection des eaux côtières. Elle impose aux Etats membres de protéger, d'améliorer et de restaurer toutes les masses d'eau, de surface et souterraines par l'objectif général de l'atteinte d'un bon état écologique et chimique de ces masses d'eau, initialement à l'horizon 2015, **puis pour 2021 ou 2027**. Elle impose d'établir un registre de toutes les zones nécessitants une protection spéciale dans le cadre d'une législation communautaire spécifique concernant la protection des eaux de surface, notamment le volet sanitaire des eaux de plaisance, y compris les zones désignées en tant qu'eaux de baignade et eaux conchylicoles, ainsi que les zones de protection des espèces aquatiques importantes d'un point de vue économique. Cette directive est mise en œuvre au travers du SDAGE (schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux) et du programme de mesures qui lui est associé.

- **La directive 2006/113/CE du 12 décembre 2006,** concerne plus spécifiquement la qualité des eaux conchylicoles propices au développement des coquillages. Elle s'applique aux masses d'eau de surface qui incluent les eaux côtières et eaux de transitions (estuaires en particulier) dont la protection ou l'amélioration est nécessaire pour permettre le développement des coquillages et contribuer à la bonne qualité des produits destinés à la consommation humaine. Elle détermine des paramètres applicables aux eaux conchylicoles, ainsi que des valeurs guides, des valeurs impératives, des méthodes d'analyse de référence et la fréquence minimale d'échantillonnage et de mesure. Les Etats membres doivent établir des programmes leur permettant de respecter, au plus tard 6 ans après la désignation des eaux, les valeurs limites qu'ils ont fixées.

La surveillance des eaux conchylicoles découle d'un des règlements (CE) constituants le « Paquet Hygiène » :

- **Le règlement (CE) n°854/2004**, fixe les règles spécifiques d'organisation des contrôles officiels concernant les produits d'origine animale destinés à la consommation humaine. Il demande notamment de :
    - Dresser un inventaire des sources de pollution d'origine humaine ou animale susceptibles de contaminer la zone de production,
    - Examiner les quantités de polluants émises au cours des différentes périodes de l'année, en fonction des variations saisonnières de la population humaine et de la population animale dans le bassin hydrographique, des précipitations, du traitement des eaux résiduaires, etc.
    - Analyser les caractéristiques de transfert de ces polluants jusqu'au littoral, puis de dispersion en mer pour estimer leur impact sur la qualité des zones de production.

Le classement des zones conchylicoles

Le chapitre II de l'annexe II du **règlement (CE) n°854/2004**, prévoit un classement de l'ensemble des zones de production de coquillages selon leur qualité microbiologique (A, B ou C). Trois groupes de coquillages sont définis pour le classement en fonction de leur aptitude à la contamination et à la purification vis-à-vis des contaminants microbiologiques, par l'**arrêté du 6 novembre 2013** :

- Groupe 1 : les gastéropodes (bulots, etc.), les échinodermes (oursins) et les tuniciers (violets),
- Groupe 2 : les bivalves fouisseurs, c'est-à-dire les mollusques bivalves filtreurs dont l'habitat est constitué par les sédiments (palourdes, coques, etc.),
- Groupe 3 : les bivalves non-fouisseurs (huîtres, moules, etc.).

Cet arrêté précise également que les zones de production présentant des dépassements des teneurs maximales des contaminants chimiques établies par le **règlement (CE) n°1881/2006** ne peuvent être classées.

Le classement est donc établi selon des critères microbiologiques (*Escherichia coli*) et chimiques (mercure, cadmium, plomb, dioxines, PCB et HAP). Les zones de production sont classées suite à une étude sanitaire, puis une surveillance régulière de leur qualité microbiologique et chimique est mise en œuvre à travers les réseaux **REMI** (REseau de surveillance MIcrobiologique des zones de production) et **ROCCH** (Réseau d'Observation des Contaminants Chimiques).

Classement	Mesures de gestion avant mise sur le marché	Critères de classement (*E. coli*/100g de chair et liquide intervalvaire (CLI))			
		230	700	4 600	46 000
A	Consommation humaine directe	Au moins 80% des résultats	Tolérance de 20% des résultats		
B	Consommation humaine après purification	Au moins 90% des résultats			Tolérance de 10% des résultats
C	Consommation humaine après reparcage ou traitement thermique	100% des résultats			
Non classée	Interdiction de récolte	Si résultat supérieur à 46 000 *E. coli*/100 g de CLI ou si Seuils dépassés pour les contaminants chimiques (cadmium, mercure, plomb, HAP, dioxines et PCB)			

Figure 1 : Exigences réglementaires du classement de zone (Règlement (CE) n°854/2004, arrêté du 06/11/2013).

Profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole

Au titre de la préservation du littoral, l'amélioration de la qualité des eaux de baignade et de la qualité sanitaire des zones et eaux conchylicoles est inscrite dans les orientations fondamentales du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (**SDAGE**) des Agences de l'Eau Loire-Bretagne (**AELB**) et Adour-Garonne (**AEAG**).

L'élaboration des profils de vulnérabilité des zones de production conchylicole a pour objectif de recenser, de quantifier et hiérarchiser les différentes sources de pollution susceptibles d'impacter les zones de production conchylicole. Ils permettent d'identifier l'origine de la contamination des zones de production conchylicole, d'évaluer et hiérarchiser l'impact des flux de pollution susceptibles de dégrader la qualité des eaux et enfin aboutir à un programme d'actions visant à supprimer ou réduire ces sources de pollution.

Maîtrise d'ouvrage : Conseil Départemental de la Charente-Maritime

La réduction des risques sanitaires de contamination bactériologique dans les zones de production conchylicole est un enjeu économique majeur et prioritaire pour le département de la Charente-Maritime. Les profils de vulnérabilité pour l'ensemble des zones de production conchylicole de la Charente-Maritime est placé en 2016 sous maitrise d'ouvrage du Département de la Charente-Maritime. La cellule qualité des eaux littorales et portuaires du Conseil Départemental de la Charente-Maritime est chargée de conduire ces études.

Définition des zones hydrographiques (expertise Ifremer)

La définition des zones hydrographiques cohérentes ainsi que la priorisation des profils sont deux étapes préalables au déploiement des profils de vulnérabilité permettant notamment de regrouper certaines zones de production dans un même profil.

Suite aux sollicitations des acteurs du territoire en matière de gestion durable du littoral et de reconquête de la qualité des eaux en Charente-Maritime, le LER-PC s'est engagé dans le cadre des profils de vulnérabilité à apporter son expertise sur le domaine de l'environnement et de ces interactions sur les zones de production conchylicole dans les Pertuis Charentais.

Objectifs et méthode

Le projet comporte deux volets, l'un portant sur la recherche de bibliographie non exhaustive sur les sujets, études et historiques de données microbiologiques dans les Pertuis Charentais, et le second concernant la définition d'un zonage hydrographique cohérent de l'influence microbiologique pour les zones de production conchylicole.

Si le premier concerne un relevé bibliographique de travaux ou études (Archimer, voir références bibliographiques), le second l'est moins et nécessite une étude expertise particulière.

L'objectif prioritaire de ce volet est de définir des zones hydrographiques cohérentes en termes de risque microbiologique. Secondairement, le travail doit donner des éléments permettant d'objectiver la priorisation des études de recherche de sources de contamination à venir.

Variables prises en compte

La stratégie consiste à faire une série de simulations et traitements pour caractériser l'hydrographie de l'environnement des Pertuis Charentais de manière spatialisée, en intégrant la variabilité temporelle.

Considérant que i) la qualité microbiologique des eaux côtières est corrélée aux conditions météorologiques dont les précipitations et ii) que la commercialisation des produis issus de la conchyliculture est liée à la saison (métabolisme et cycle de vie des coquillages, conditions envrionnementales etc.) l'évaluation est faite de manière saisonnière pour l'élaboration de cartographies des zones homogènes.

Au vu de la thématique finale, portant sur la microbiologie, les variables incluses dans cette étude sont les suivantes :

1. La **capacité de renouvellement**, intégrant la dynamique temporelle des masses d'eau, qui est un facteur déterminant de la capacité de diffusion des contaminants, ou de leur évacuation. Celles-ci sont essentiellement soumises aux conditions :
    a. De la marée
    b. De la météo (prioritairement le vent)

2. La **température** et la **salinité**[1]. Ces variables fluctuent de façon saisonnière et spatiale importante également sous dépendance de la météo).

Le traitement et l'analyse des différentes variables forçant le système imposent l'utilisation d'outils de modélisation hydrodynamique. Le modèle utilisé dans cette étude est le modèle hydrodynamique de l'Ifremer MARS3D-PC, qui a été développé en raffinement régional du modèle Manche Gascogne (MANGA) fourni par le service PREVIMER (Ifremer). Son emprise s'étend depuis la Vendée au Nord jusqu'à l'estuaire de la Gironde avec une résolution spatiale de 100 mètres, sur 10 niveaux de la masse d'eau.

Les forçages utilisés sont réalistes : la marée est celle du modèle du SHOM (Fes 2004) et la météorologie celle du modèle Arome (Applications de la Recherche à l'Opérationnel à Méso-Echelle)[2] de Météo-France. Les données de débits des fleuves sont ceux de la banque de données Hydro eaufrance[3]

Déroulement des différentes opérations

1. Simulations spécifiques à l'aide du modèle MARS3D Pertuis à 100m (MARS3D_P100), sur plusieurs saisons et années afin d'obtenir les tendances saisonnières spatialisées de température, salinité et courants (Lazure P., 2006 ; Polsenaere P., 2018 ; Le Moine O., 2018).
2. Estimation des temps de renouvellements basée sur des standards bibliographiques (Monsen & al., 2002, Fiandrino 2012), puis estimation des moyennes et écart-type saisonniers sur les sorties du modèle. MARS3D_P100.
3. Classification de vraisemblance maximale de l'espace au regard des variables utilisées. Il s'agit d'une méthode géostatistique, précédée par une analyse « iso cluster » (Iterative Self Organizing) utilisant une optimisation itérative modifiée (migration de moyennes) pour séparer toutes les mailles de calcul en un nombre de classes décidé par l'utilisateur dans les groupes distincts dans l'espace multidimensionnel des canaux en entrée. (Ball, G. H. & al, 1965 ; Richards, J.A. 1986).
4. Post traitement sous Système d'Information Géographique (SIG).
5. Synthèse des résultats d'analyses microbiologiques à l'intérieur des différentes zones estimées homogènes, de manière à extraire les points d'échantillonnages se situant hors de la « norme ».
6. En cas de compatibilité, croisement avec le zonage du classement sanitaire administratif.

[1] Variables qui ne sont pas indépendantes du T90 des bactéries en eau de mer (laps de temps nécessaire à l'élimination de 90% d'entre elles)
2 http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/la-prevision-du-temps/le-modele-a-maille-fine-arome
3 http://www.hydro.eaufrance.fr/

Calcul des temps de renouvellement.

Les évaluations globales du renouvellement des masses d'eau peuvent être faites par estimation du prisme tidal (ratio entre le volume d'eau oscillant échangé par la marée et le volume total d'eau moyen présent dans l'emprise), mais cela ne permet pas de caractériser spatialement la capacité de renouvellement. Des concepts ont donc été développés pour permettre une perception plus synthétique et spatialisée du fonctionnement dynamique de l'écosystème (temps de renouvellement, de résidence, âge des masses d'eau, etc., Braunschweig & al, 2003 ; Stanisière J. Y., 2006 ; Fiandrino & al, 2012 ; Uncles, & al, 2013).

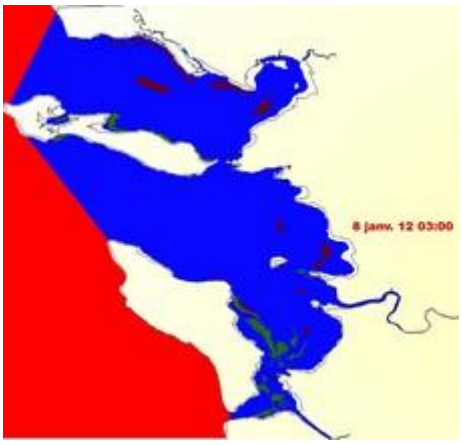
L'évaluation de la capacité de renouvellement des eaux dans les zones conchylicoles apporte des informations pertinentes, puisque ce paramètre dépend :

- la dynamique des nutriments et du phytoplancton qui influence en partie le cycle de vie des organismes filtreurs, dont la croissance, le métabolisme, la capacité de charge, etc.
- le risque zoosanitaire de contaminations des animaux, lié aux transports de contaminants viraux ou autres par l'eau (Polsenaere & al, 2016),
- la capacité de contamination /décontamination microbiologique, contribuant à la santé de l'écosystème et son influence sur la santé humaine.

Le temps de renouvellement est cet indicateur qui rend compte de la circulation et des processus de mélange des masses d'eau. Il est donc important de l'évaluer, en qualité de contributeur à la qualification du milieu comme dans le cadre de l'analyse des performances de croissance ou de mortalités des élevages (Pepin, 2016 ; Koutitonsky, 2006).

L'évaluation de cette variable spatialisée est faite à l'aide de la modélisation hydrodynamique (Fiandrino & al, 2012 ; Lazure & al, 2006 ; Le Moine O., 2018). 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 voir Figure 2).

La méthode utilisée consiste à introduire un traceur en début de simulation sur l'emprise voulue, ici les eaux du Golfe de Gascogne, puis de suivre le transport et la dilution dont il fait l'objet dans les Pertuis au cours du temps (Figure 2). Les contraintes ou variables forçantes du modèle sont celles de la marée, de la météo et les débits des fleuves locaux (Le Moine O., 2018). L'objectif de l'analyse est d'expliquer comment l'eau du Golfe de Gascogne (en rouge sur la Figure 2) au large renouvelle celle des pertuis (en bleu sur la Figure 2).



J0 : Le traceur est initialisé à une valeur de 1 sur l'ensemble de la colonne d'eau à l'extérieur des pertuis (zone en rouge), ainsi que dans les conditions aux limites de l'emprise de manière à ce que toute l'eau « neuve » arrivant de l'océan soit à une concentration de traceur de 1.

Figure 2 : Emprise du traceur à l'origine (en rouge).

Traitements spatialisés de classification zonale

L'objectif étant de définir des zones homogènes vis à vis des différentes variables forçantes ou descripteurs disponibles, sélectionnés et mentionnés précédemment, la méthodologie choisie est une classification non supervisée.

La classification non supervisée est un ensemble de méthodes ayant pour objectif d'identifier une typologie existante caractérisant un ensemble de n observations, à partir de p caractéristiques mesurées sur chacune des observations issues de K populations (Lebarbier et Mary-Huard, 2008).
En classification non supervisée, l'appartenance des observations à l'une des K populations n'est pas connue ; l'appartenance peut être retrouvée à partir des p descripteurs disponibles.

L'algorithme utilisé est proposé par l'outil Esri (ArcGis V10.2) de " Classification de vraisemblance maximale". Il est précédé par une analyse « iso cluster » (Iterative Self Orginizing) : Il utilise une optimisation itérative modifiée (migration de moyennes) pour séparer toutes les mailles de calcul dans un nombre de classes décidé par l'utilisateur dans les groupes distincts dans l'espace multidimensionnel des canaux en entrée (Ball, G. H. & al, 1965 ; Richards, J.A. 1986).

L'analyse est ensuite lancée, de façon à obtenir une classification non supervisée de zones homogènes au regard des différentes variables d'entrée de l'analyse (Figure 3). Ces différentes zones sont polygonisées puis retraitées afin de supprimer les surfaces dites « résiduelles » (superficie < 10 hectares). Ainsi, le résultat de ces traitements peut servir de base spatiale à la synthèse des résultats d'analyse microbiologique.

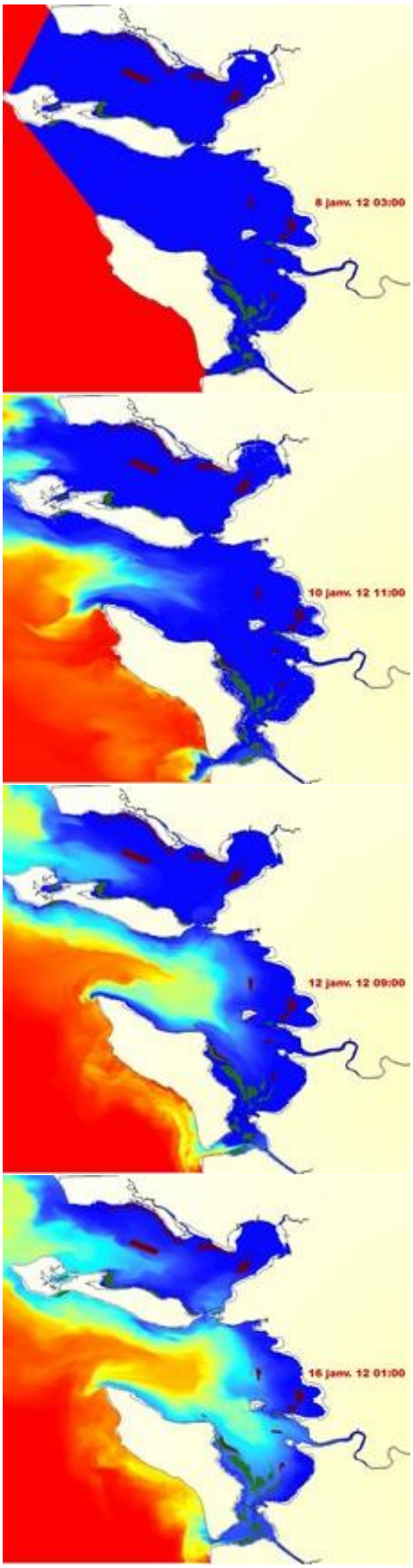


Figure 3 : Emprise initiale du traceur (en rouge) et dispersion – dilution les 8 premiers jours de simulation.

J0 : Le traceur est initialisé à une valeur de 1 (rouge) sur l'ensemble de la colonne d'eau à l'extérieur des Pertuis, ainsi que dans les conditions aux limites de l'emprise de manière à ce que toute l'eau « neuve » arrivant de l'océan soit à cette concentration de traceur de 1. Les Pertuis sont initialisés à 0 (bleu).

J2 : Les jeux concomitants des courants et des marées ont commencé la dispersion et la dilution dans les Pertuis. Le Pertuis d'Antioche est plus rapidement pénétré par le traceur que le Pertuis Breton.

J4 : L'intrusion préférentielle se confirme dans le Pertuis d'Antioche, on note une intrusion préférentielle dans le Sud du Pertuis Breton, le long des côtes de l'Île de Ré.

J8 : Les masses d'eau intra Pertuis sont difficilement évacuées, ce qui allonge le temps de renouvellement. On note la dilution du traceur par les eaux pertuisanes le long des côtes sur la bande océanique proche

Résultats-discussion

Validation du modèle

Le modèle Mars a été validé au large à diverses reprises, en 3D et en 2D (Lazure et al, 2006), y compris à proximité de la côte, et à l'intérieur des Pertuis Charentais (Stanisière, 2006) en 2D. Plus et al (2007) l'ont également utilisé et validé dans le cas de lagunes semi ouvertes. Le modèle MARS3D-PC, utilisé dans cette étude s'appuie sur ces différents travaux.

Dans cette étude, la variable salinité, est plus utilisée comme un traceur des apports terrigènes liés aux fleuves qu'à la salinité *sensu stricto* ; en effet, les débits utilisés en amont sont des débits moyennés sur la journée (Quantité Moyenne Journalière, moyennée en m3/s), issus de la base de données Hydro eau-france, relevés très en amont des derniers ouvrages à la mer, et différents de ceux mesurés à l'estuaire en aval des ouvrages. Le modèle recalculant les apports en continu, sur des moyennes journalières ne peut donc représenter la réalité instantanée auprès des côtes. De plus, Soletchnik et al, 2018 ont démontré les Pertuis sont influencés par les apports des grands fleuves (Gironde, Loire). Ces apports modulés par le temps de transport avant l'arrivée dans les Pertuis se trouvent lissés, et bien représentés dans les Pertuis. (Polsenaere, 2016 ; Soletchnik, 2018).

L'utilisation en moyenne saisonnière lissant encore ces résultats, l'utilisation en traceur des apports terrigènes paraît tout à fait cohérente et pertinente pour correctement retracer la réalité saisonnière de ces derniers.

Calcul des temps de renouvellement

Les simulations estiment la cinétique de dilution du traceur dans les Pertuis. Des circulations préférentielles sont notées dès les premiers jours (Figure 3). En observant la dispersion lors des différentes décades, on constate que les eaux présentes dans les fonds de baies et estuaires sont plus longues à se renouveler (Figure 4, J20-J30 zones bleutées). La baie de l'Aiguillon comme l'estuaire de la Charente, très fermés, restent isolés et peu renouvelés jusqu'en fin de simulation (Figure 4, J90). Hormis le fait de l'effet « entonnoir » dû à la géomorphologie, le fait que des arrivées secondaires d'eau (douce par les fleuves) occupent un certain volume, celui-ci ne peut que contenir moins de traceur marin.

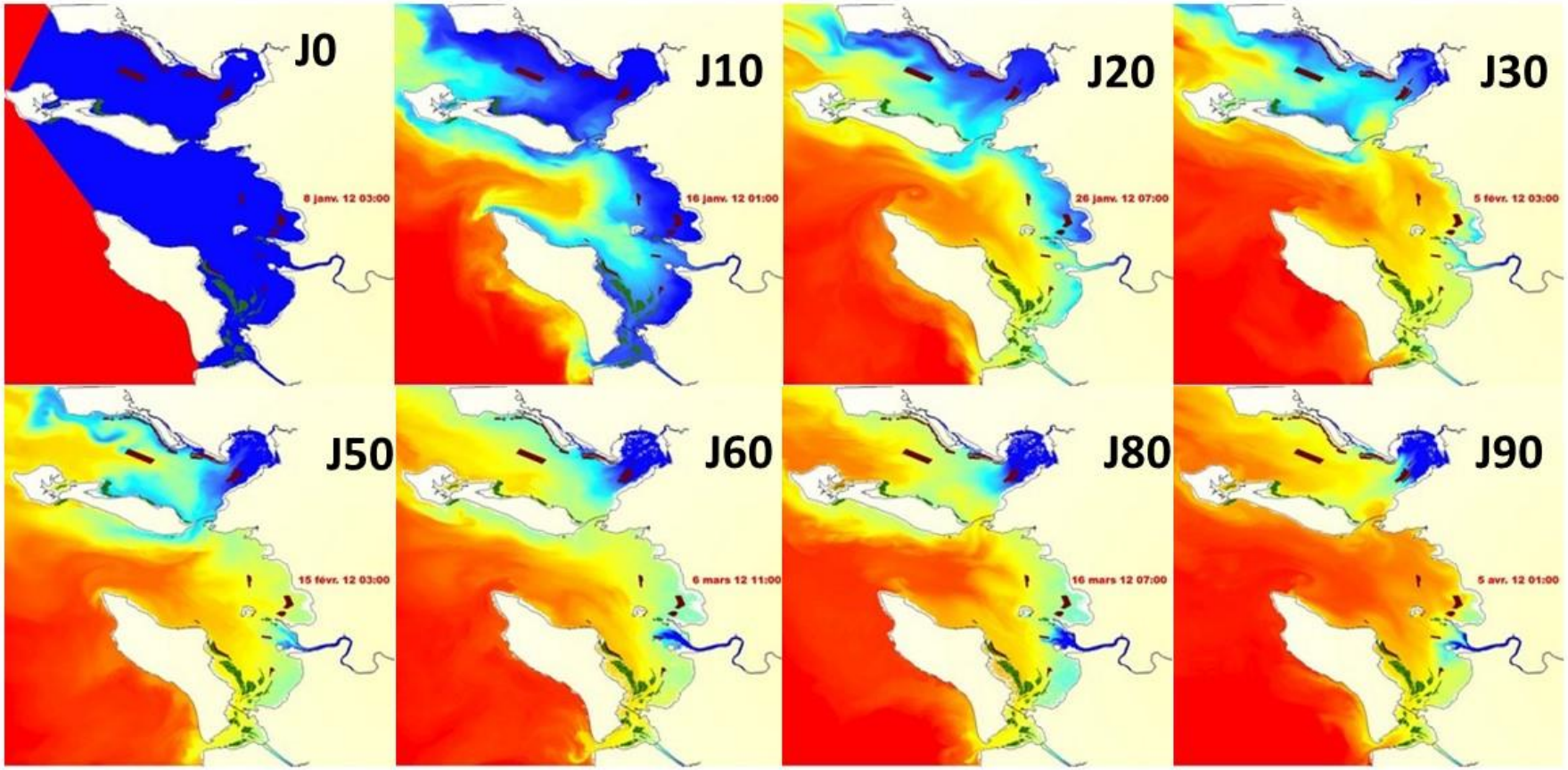


Figure 4 : Cinétique de dispersion du traceur dans les Pertuis, de J0 (début de simulation) à J90.

Si l'on observe la concentration de ce traceur « Océan » à l'intérieur des Pertuis, on note une augmentation progressive, avec des oscillations dues au va et vient imposé par la marée (Cf. Figure 2) jusqu'à une valeur de proche de 1, indiquant le renouvellement total de la masse d'eau.
Le temps de renouvellement est alors estimé par recherche du moment où 63% de la masse d'eau a été renouvelée (Monsen & al., 2002) ; le traceur se trouvant donc à une concentration de 0,63. Conformément à la bibliographie existante, la simulation est initialisée à un coefficient de marée intermédiaire (≈70, 74 dans notre cas). Pour lisser les oscillations de la marée, on calcule une moyenne mobile sur la période de la marée (≈12 h) sur l'ensemble du domaine. L'écart de dates entre le moment où cette valeur est atteinte par la moyenne mobile (courbe noire, Figure.5) et le début de la simulation est le temps de renouvellement du point considéré (soit environ le 18 janvier et 12 jours pour notre exemple).

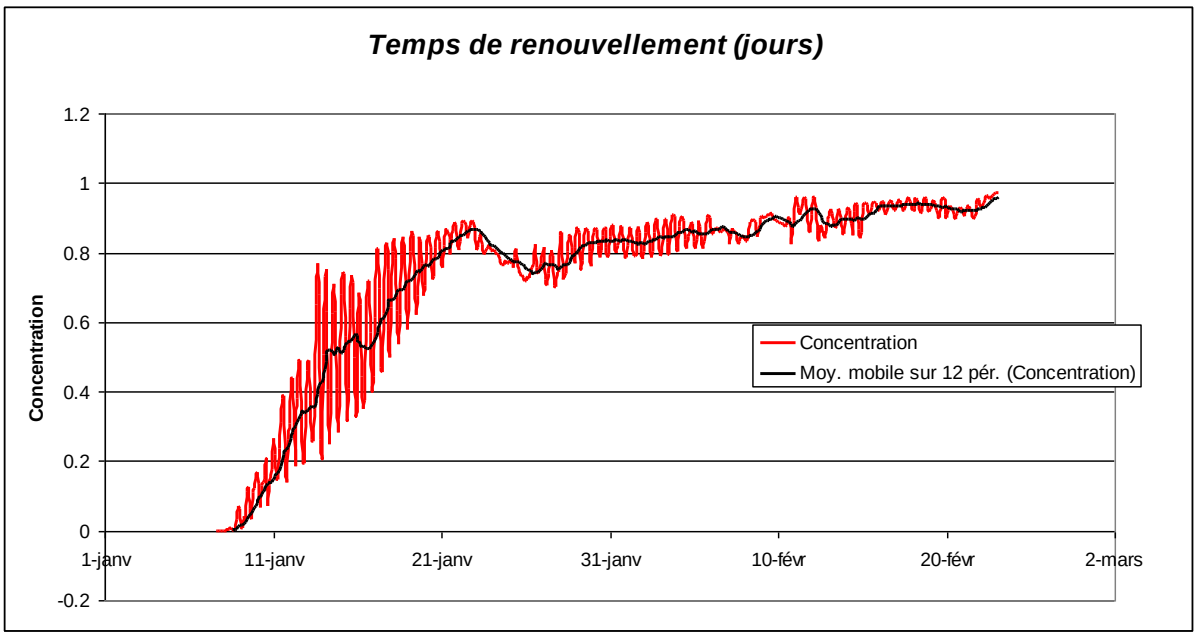


Figure 5 : Evolution du traceur "Océan" aux Filières mytilicoles du Pertuis Breton.

Variabilité due au cycle de marée

Les simulations réalisées (Tableau. 1) sont utilisées pour les calculs de temps de renouvellement, comme pour les évaluations géostatistiques des salinités et températures moyennes.

Le temps de renouvellement est très sensible aux cycles de marée (Stanisière, 2006). Hormis le paramétrage relativement standardisé conformément à la bibliographie, (citées ci-dessus), il était donc nécessaire d'estimer la variabilité apportée par ce cycle, et de calculer le temps de renouvellement en phase de Revif (RE, coefficients de marée en augmentation Figure6, gauche) et de Déchet (DE, coefficients de marée en diminution Figure 6, droite).

Tableau 1 : Simulations réalisées avec le modèle MARS3D_P100. RE = Revif et DE = Déchet.

Pleine mer coef -Heure TU	2012 RE	2012 DE	2013 RE	2013 DE	2014 RE	2014 DE	2015 RE	2015 DE	2016 RE	2016 DE	2017 RE	2017 DE
Hiver TU	75 08/01 15 :23	76 15/01 08 :31	74 09/01 09 :00	74 02/01 08 :06	73 15/01 03 :13	74 07/01 08 :20	73 03/01 2 :34	73 09/01 17 :58	74 08/01 14 :49	74 16/01 08 :27	71 09/01 15 :25	74 03/01 20 :53
Printemps TU	71 04/04 05 :43	70 12/04 12 :08	70 07/04 05 :42	73 14/04 03 :51	74 13/04 02 :27	72 04/04 18 :01	72 02/04 03:38	75 09/04 05 :57	70 04/04 13 :43	73 12/04 19 :08	71 08/04 06 :12	72 02/04 23 :42
Eté TU	75 01/07 17 :49	72 09/07 10 :47	75 08/07 13 :45	73 13/07 10 :16	74 10/07 14:06	73 01/07 05:40	74 30/06 14:34	70 08/07 21 :16	73 01/07 13 :24	75 09/07 06 :26	73 09/07 07 :42	73 28/07 22 :49
Automne TU	73 13/10 05 :44	71 04/10 21 :29	75 03/10 06 :20	75 10/10 10 :39	73 05/10 13 :19	75 13/10 05 :46	72 10/10 14 :28	71 17/10 05 :19	72 13/10 13 :36	75 05/10 05 :19	72 03/10 18 :11	73 11/10 10 :59

Dans la figure 6, les différences d'ordre de grandeur en nombre de jours entre les scénarios en revif (à gauche) et en déchet (à droite) sont observées spatialement et en fonction du cycle de marée. Par exemple, dans la baie de l'Aiguillon, en phase de déchet les temps de renouvellement de 63% de la masse d'eau peuvent atteindre en hiver, de 81 à 112 jours alors qu'ils ne sont que de l'ordre de 73 à 80 jours en phase de revif sur cette zone.

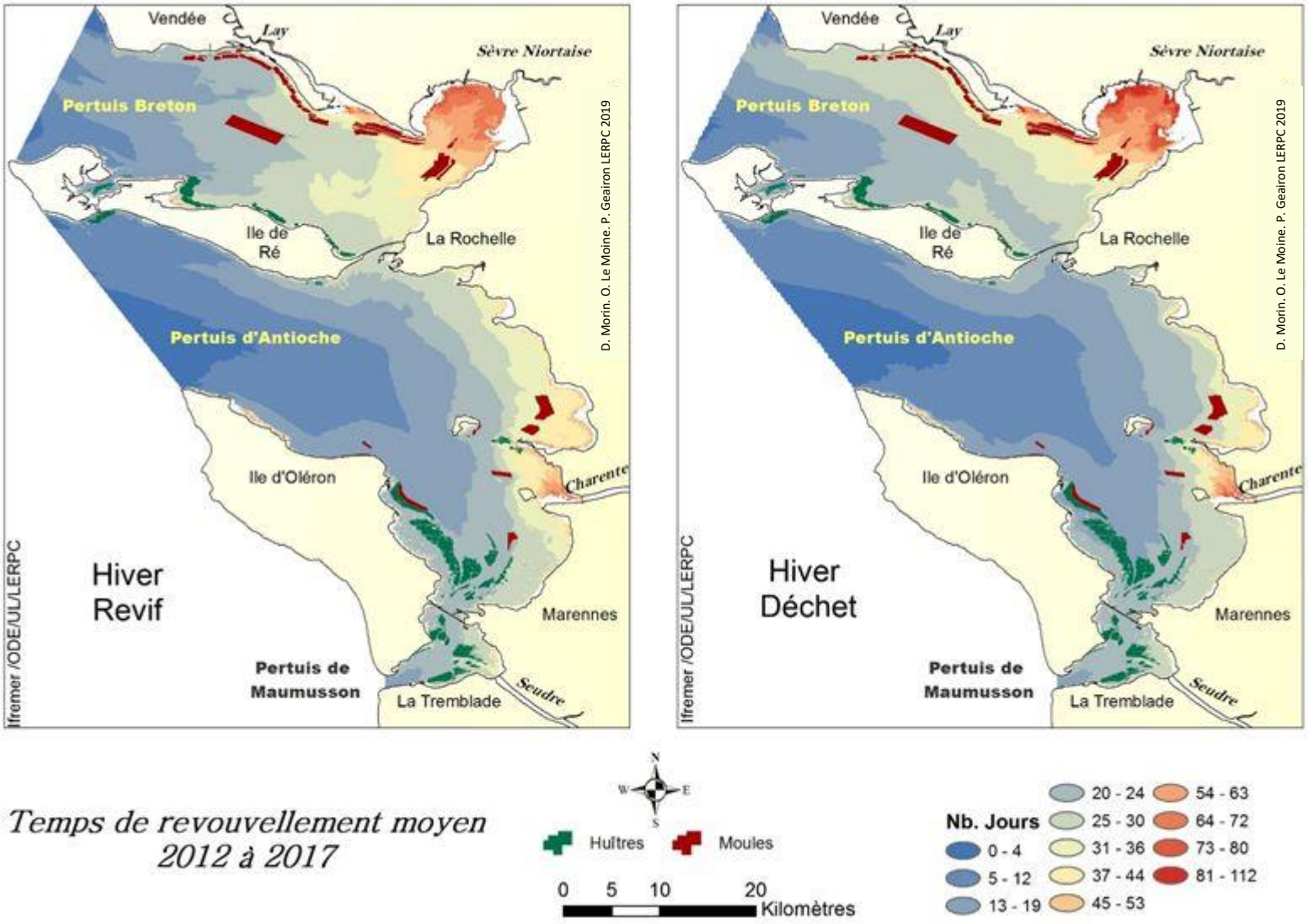


Figure 6 : Variabilité du temps de renouvellement en fonction du cycle de marée

Variabilité spatiale et saisonnière

Temps de renouvellement

Les temps de renouvellement (Figures 7, 10, 13 et 16), observés dans la globalité de l'emprise, ne présentent pas une variabilité saisonnière très importante, le temps de renouvellement moyen variant de 20 à 31 jours (pour des maxima de 87 à 94 jours) suivant les saisons (Tableau 2). Par contre, la variabilité spatiale est plus conséquente, l'écart type maximal sur la moyenne de l'emprise variant pratiquement du simple au triple (31-88).

Tableau 2 : Temps de renouvellement maximum et moyens saisonniers sur l'emprise estimée (nombre de jours), regroupement des données sur 5 années par saison sur l'ensemble des points pris dans les Pertuis.

Temps de renouvellement	Nombre de jours maximum	Nombre de jours moyen	Ecart type maximum	Ecart type moyen
Hiver	88	20	88	21
Printemps	87	21	31	6
Eté	94	20	36	6
Automne	87	31	35	9
Moyenne annuelle	**89**	**23**	**47**	**10**

Spatialement, si l'échelle globale reste similaire, des différences sont notables.

- **En** hiver une gradation dans les temps de renouvellement selon les secteurs est observée ; la Baie de l'Aiguillon, à l'embouchure de la Sèvre Niortaise présente des scores supérieurs à 60 jours indiquant que les eaux à cet endroit sont moins bien renouvelées que le reste des eaux environnantes. L'embouchure de la Charente indique quant à elle des scores de 40 à 50 jours). Hormis la zone très côtière, le reste des pertuis est renouvelé en un temps inférieur à 40 jours (Figure 7).
- **Au printemps**, le temps de renouvellement de l'ensemble des Pertuis diminue de 10 à 20 jours, avec une homogénéité de la variabilité saisonnière dans l'espace (Figure 10).
- **En été**, une gradation dans les temps de renouvellement selon les secteurs est observée ; les zones les moins renouvelées se situent au Nord (baie d'Yves) et au Sud de l'embouchure de la Charente (de la Pointe de la Fumée à Marennes); elles présentent des scores de 40 à 60 jours. Le renouvellement de la baie d'Yves se situe entre 20 et 50 jours (Figure 13). Comme au printemps, on note une variabilité saisonnière très stable dans l'espace.
- **En automne**, la configuration spatiale estivale est reconduite, avec cependant une augmentation générale d'une dizaine de jours en temps de renouvellement (Figure 16). La représentation spatiale de cette variabilité saisonnière reste homogène, comme le laissait supposer l'écart type de 9 jours (Tableau 2).

Salinité et température

Les moyennes de salinité prises sur l'ensemble de l'emprise spatiale varient de 31,3 à 33,7 psu (Tableau 3). Les moyennes de température, varient de 8,9 à 18,1 °C (Tableau 3). On note cependant que la variabilité spatiale intra-saison, évaluée par l'écart type saisonnier, est très limitée (Tableau 3 ; Figures 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17 et 18). Comme indiqué précédemment, ces valeurs doivent être prises avec les précautions voulues (Cf. supra : § Validation du modèle).

Tableau 3 : Salinités et températures, moyennes et écarts types (de la moyenne) saisonniers, regroupement des données sur cinq années, par saison, sur l'ensemble des points pris dans les Pertuis Charentais.

	Salinité Moyenne (en psu)	Salinité Ecart type std. (en psu)	Température Moyenne (en °C)	Température Ecart type std. (en °C)
Hiver	31,3	2,3	8,9	1,2
Printemps	32,3	1,9	13,9	0,9
Eté	33,7	1,2	18,1	1,3
Automne	33,2	1,4	12	1,6
Moyenne annuelle	**32,6**	**1,7**	**13,4**	**1,25**

Spatialement, on note que les eaux proches de la zone continentale sont plus variables tant en salinité qu'en température : moins salées et moins chaudes. La proximité des apports d'eau douce, et les effets de refroidissement / réchauffement sur les estrans lors des cycles de marée expliquent cette variabilité.

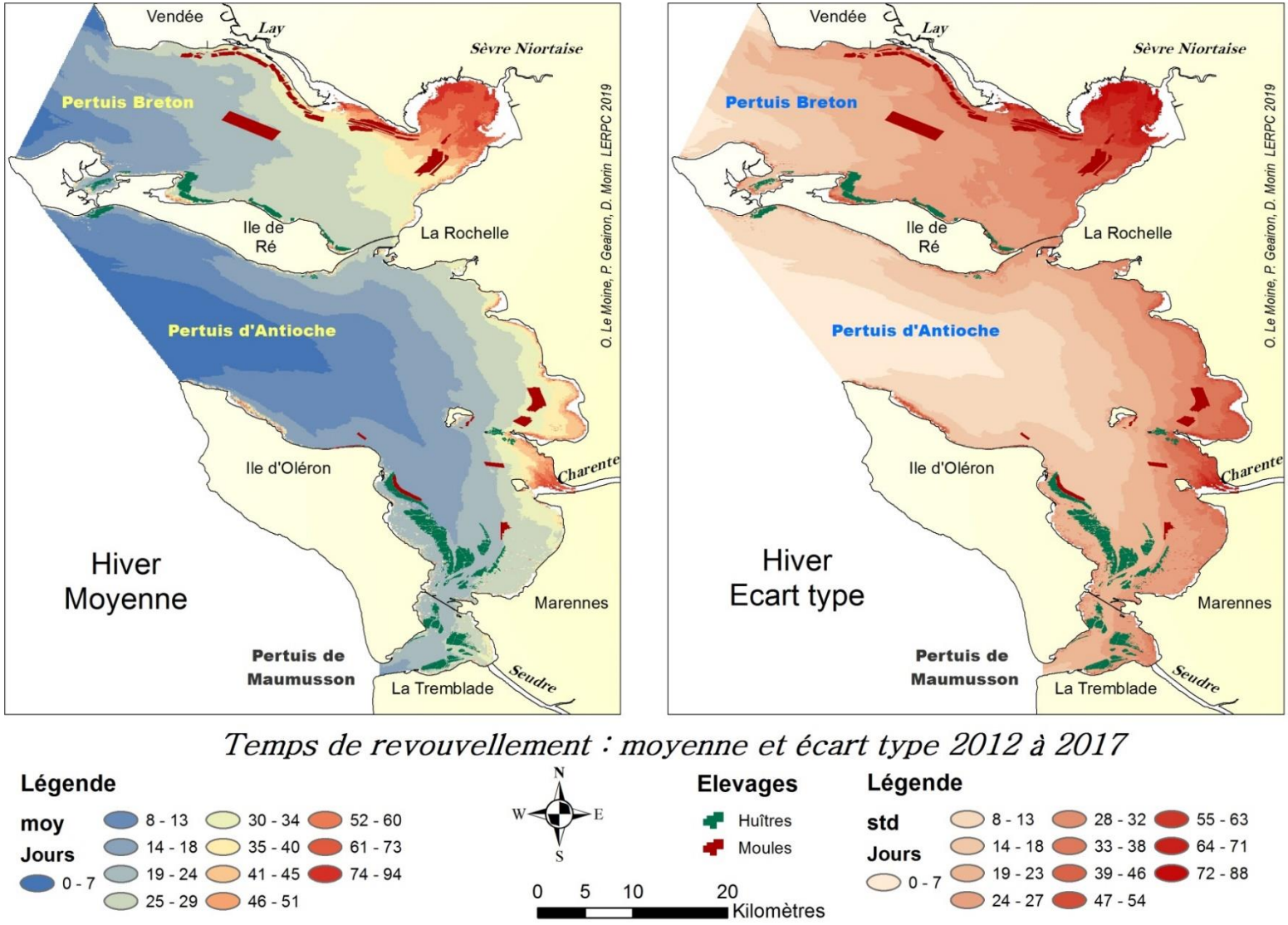


Figure 7 : Temps de renouvellement hivernal, moyenne (gauche) et écart type (droite)

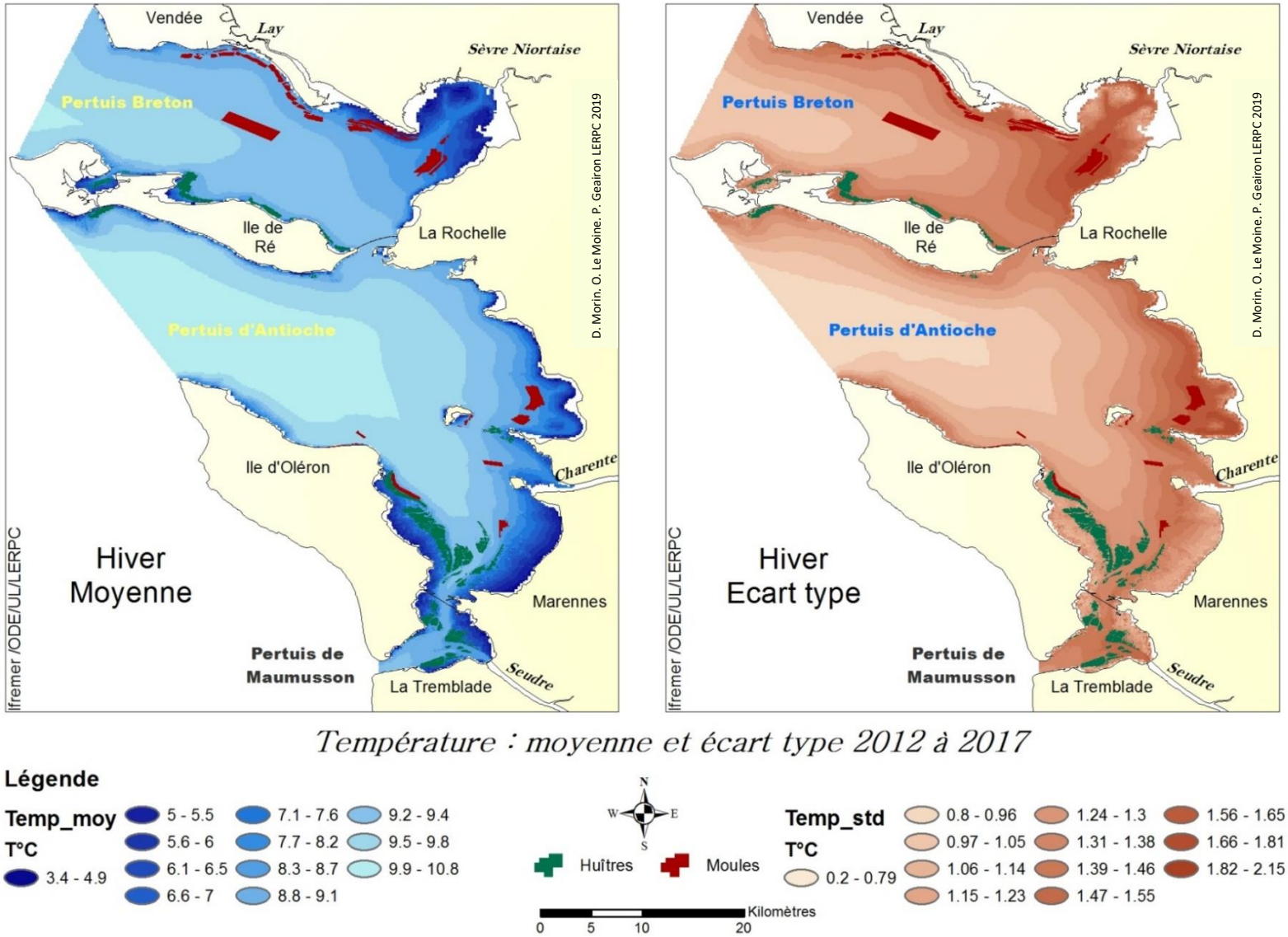


Figure 8 : Température hivernale moyenne (gauche) et écart type (droite)

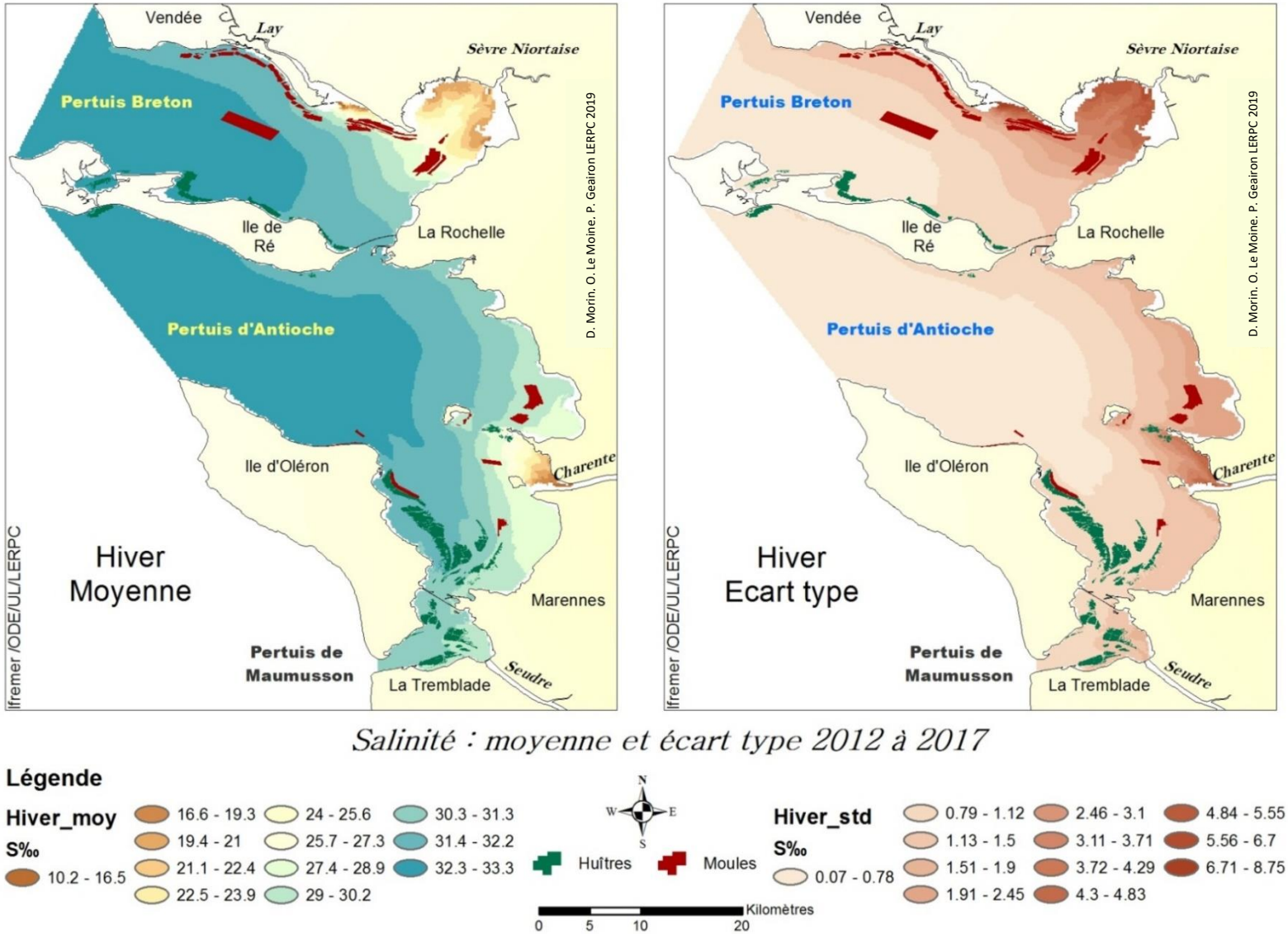


Figure 9 : Salinité hivernale, moyenne (gauche) et écart type (droite)

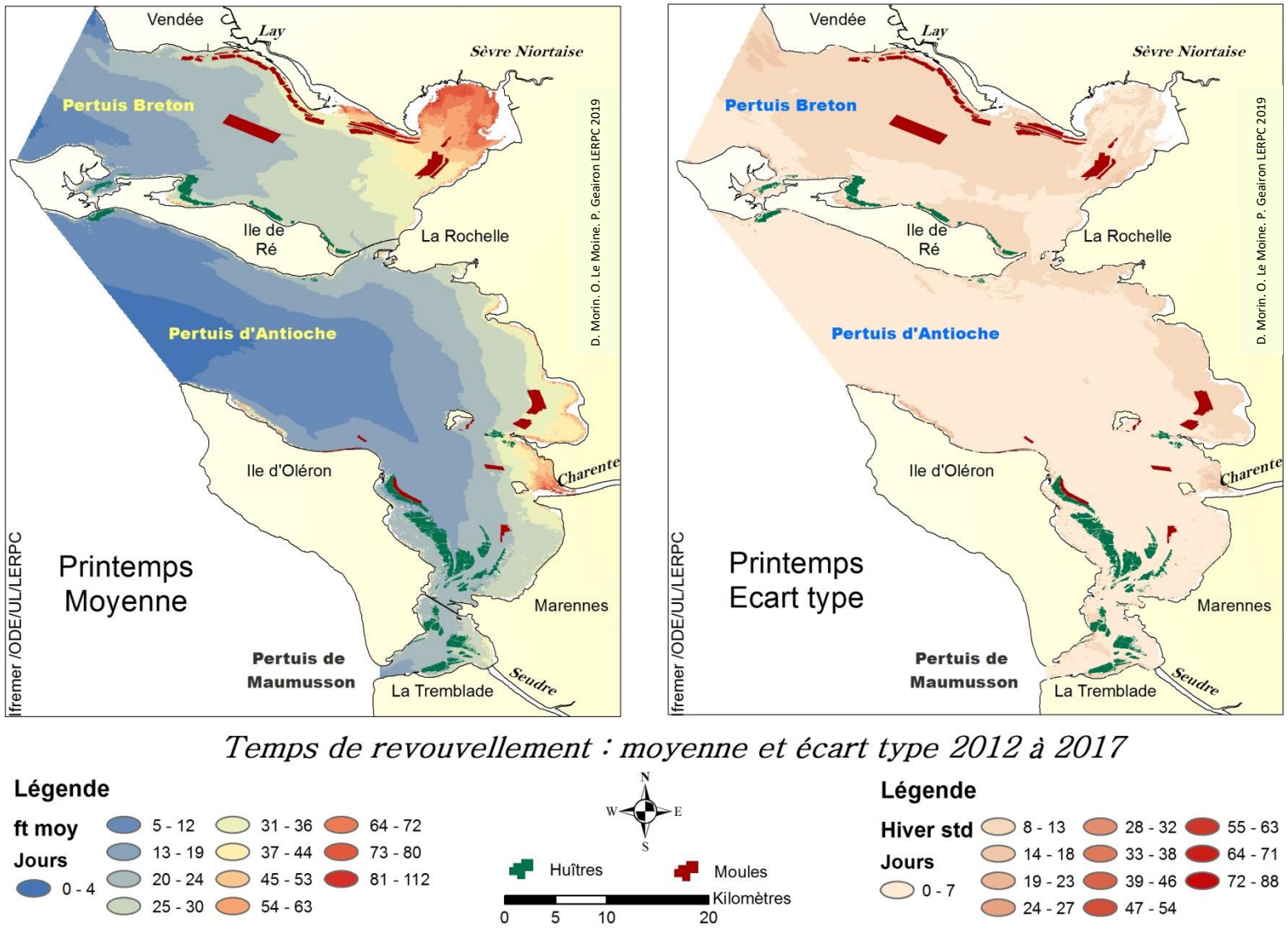


Figure 10 : Temps de renouvellement printaniers, moyenne (gauche) et écart type (droite)

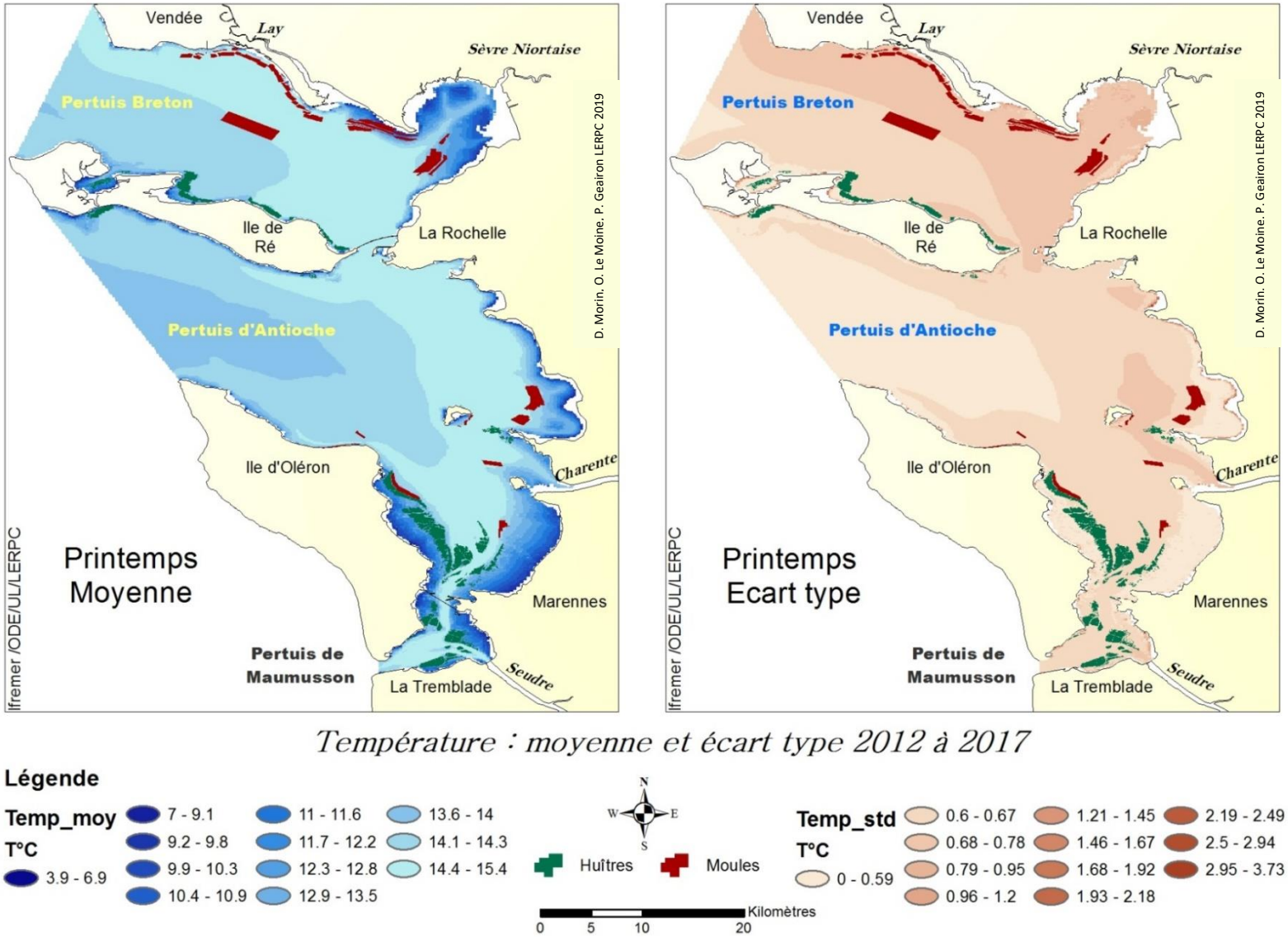


Figure 11 : Température printanière, moyenne (gauche) et écart type (droite)

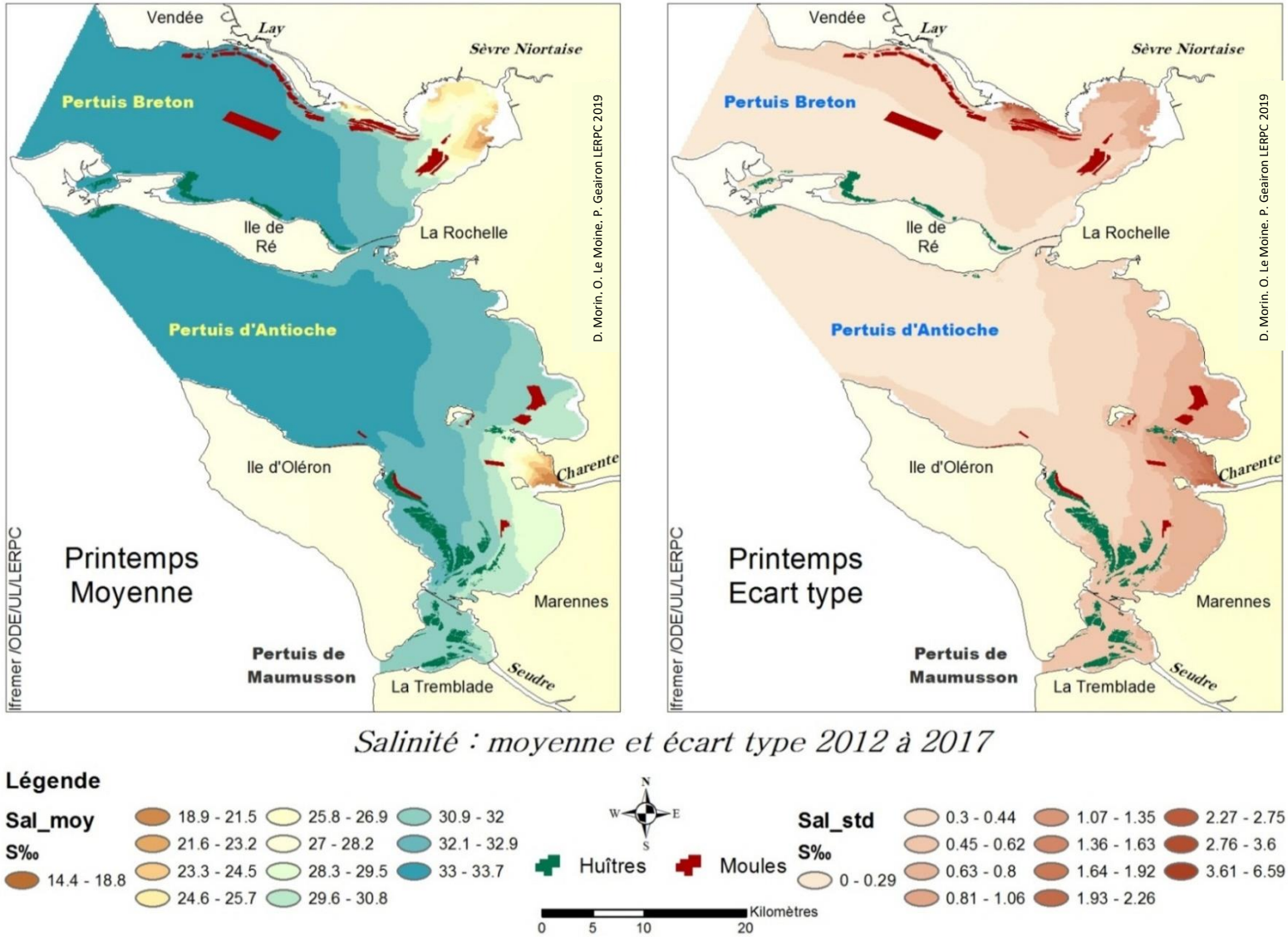


Figure 12 : Salinité printanière, moyenne (gauche) et écart type (droite)

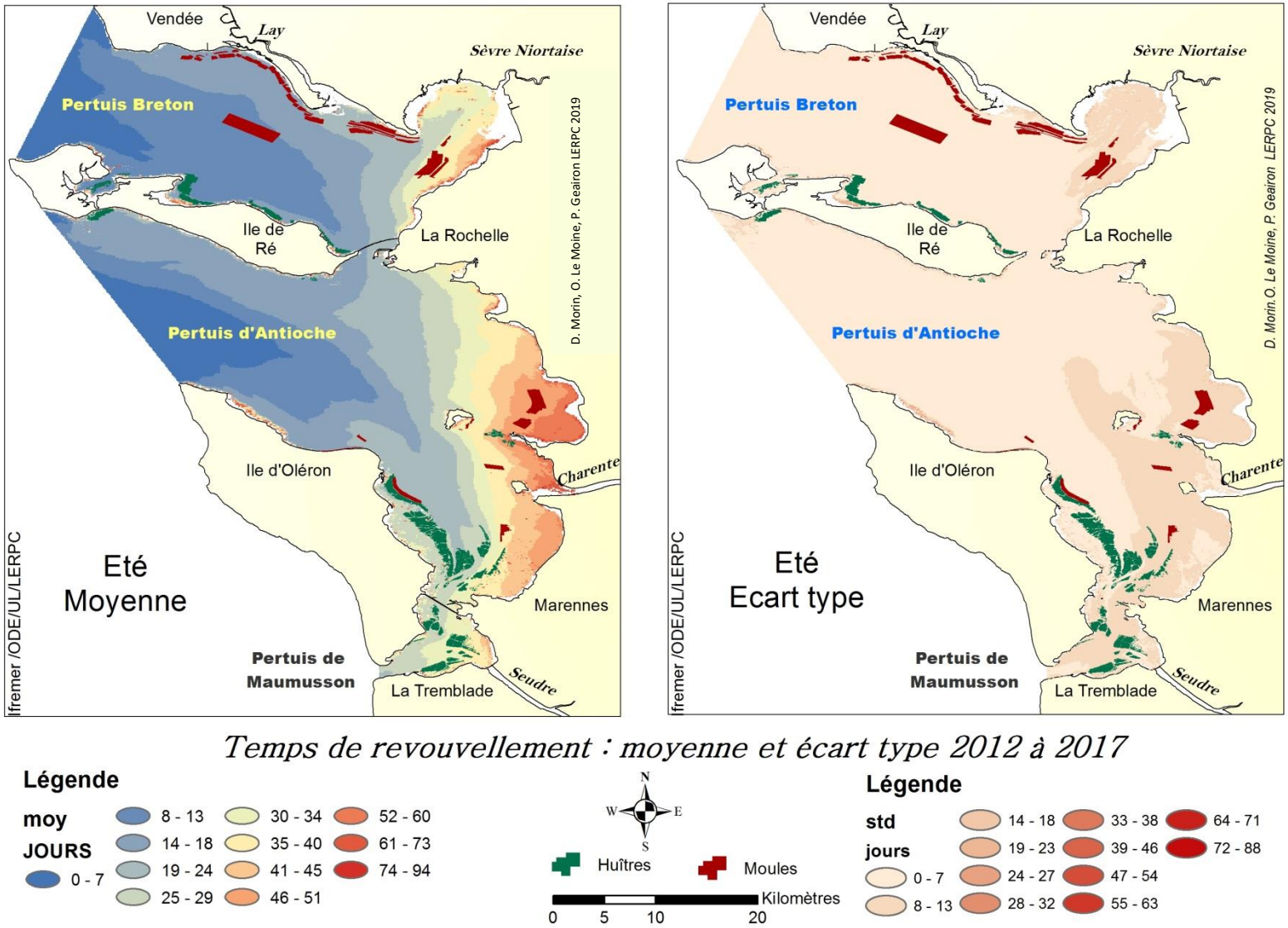


Figure 13 : Temps de renouvellement estival, moyenne (gauche) et écart type droite)

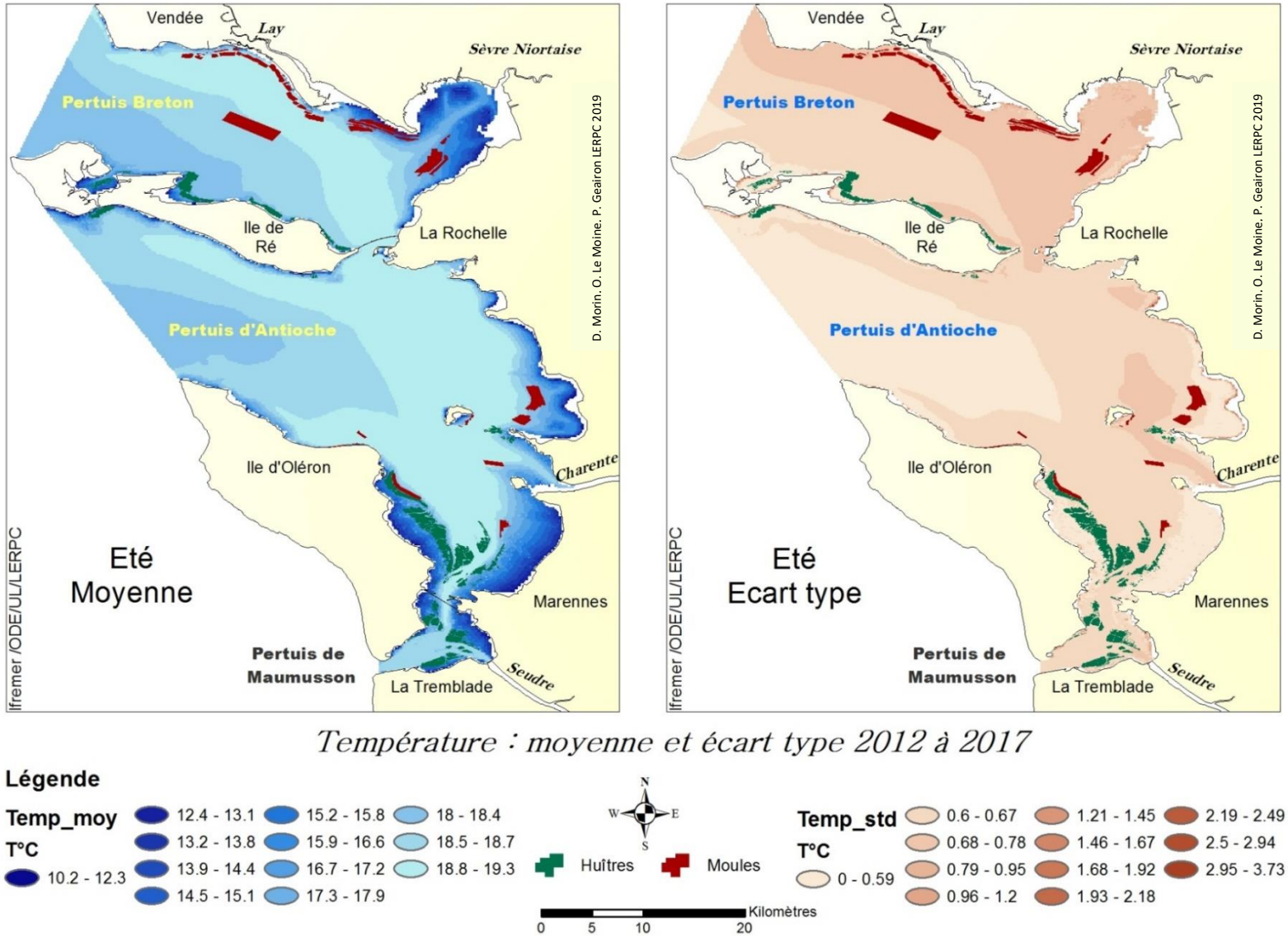


Figure 14 : Température estivale, moyenne (gauche) et écart type (droite)

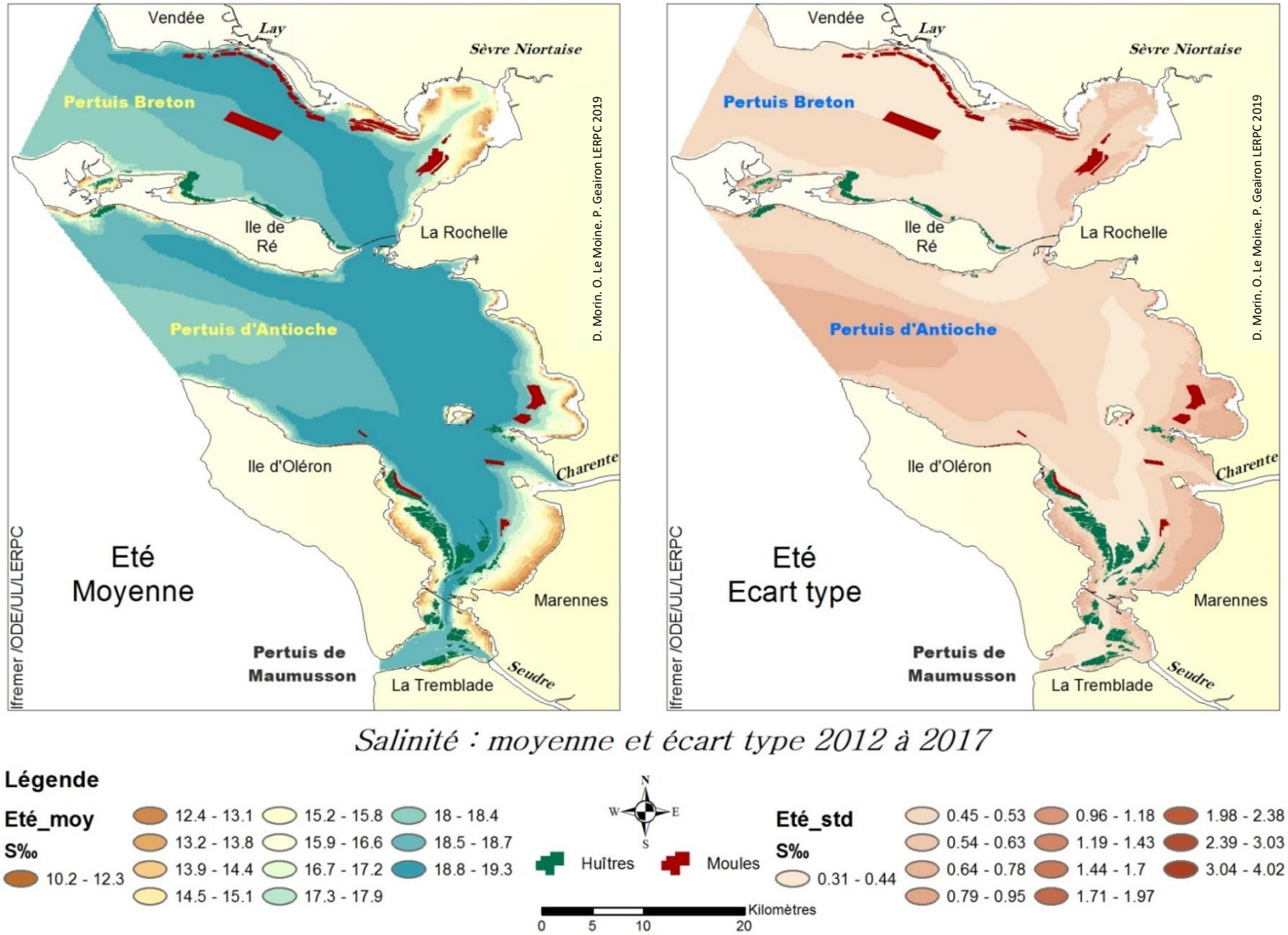


Figure 15 : Salinité estivale, moyenne (gauche) et écart type (droite)

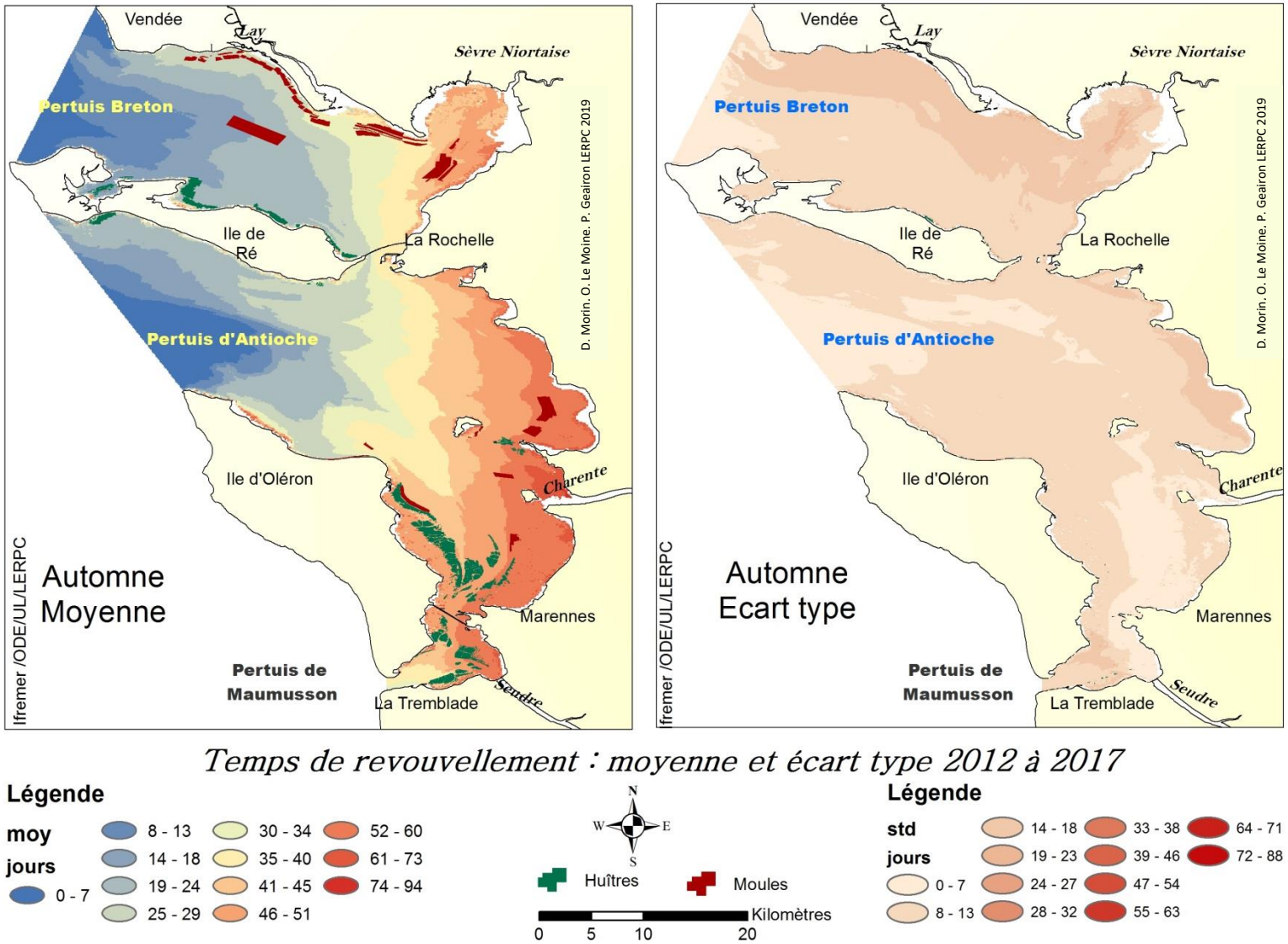


Figure 16 : Temps de renouvellement automnal, moyenne (gauche) et écart type (droite)

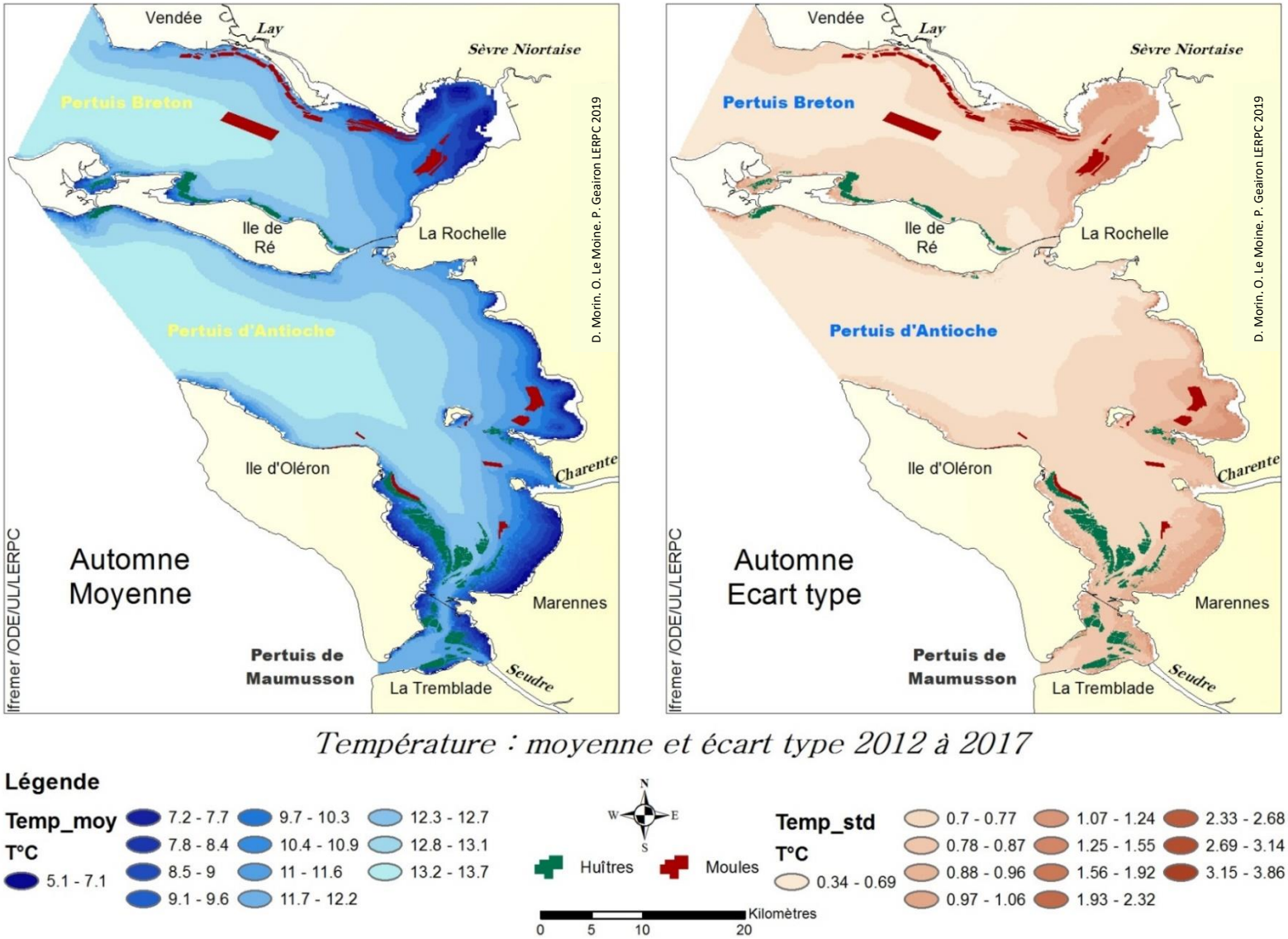


Figure 17 : Température automnale, moyenne (gauche) et écart type (droite)

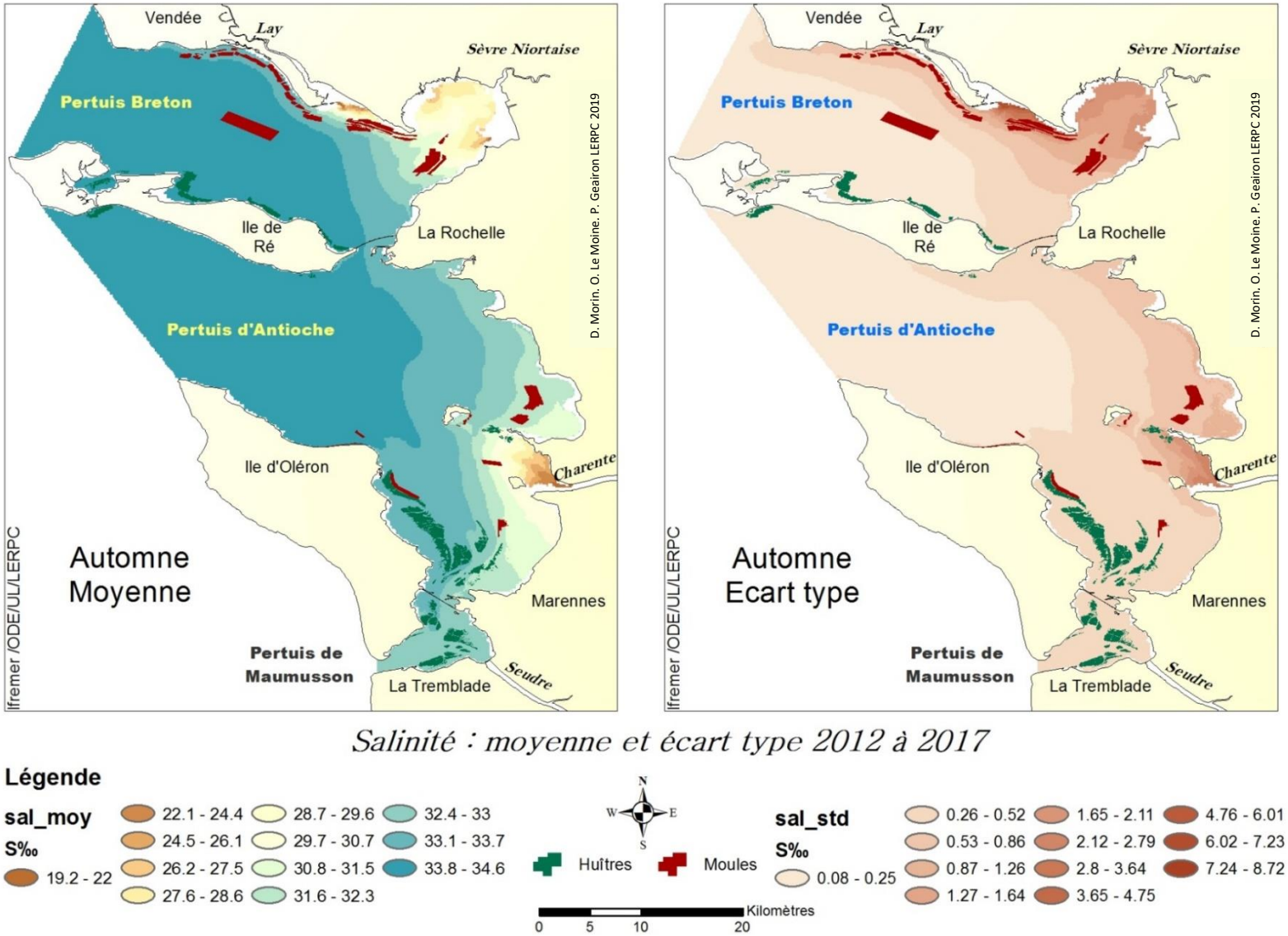


Figure 18 : Salinité automnale, moyenne (gauche) et écart type (droite)

Classification

Les plages de données de variables analysées étant très différentes (une dizaine d'unités pour température et salinité, et presque une centaine de jours pour les temps de renouvellement), il est conseillé par le développeur de l'algorithme de les harmoniser, ce qui a été réalisé à l'aide de la formule suivant :

Z= [{(X-*oldmin*) x (*newmax-newmin*)}/(*oldmax-oldmin*)] + *newmin*

Avec :

- *Z* : valeur du raster de sortie.
- *X* : valeur du raster d'entrée.
- *oldmin* : valeur minimale en entrée.
- *oldmax* : valeur maximale en entrée.
- *newmin* : valeur minimale souhaitée en sortie (mini de la couche de référence).
- *newmax* : valeur minimale souhaitée en sortie (mini de la couche de référence).

Les valeurs utilisées pour faire ces calculs sont consignées Tableau 4.

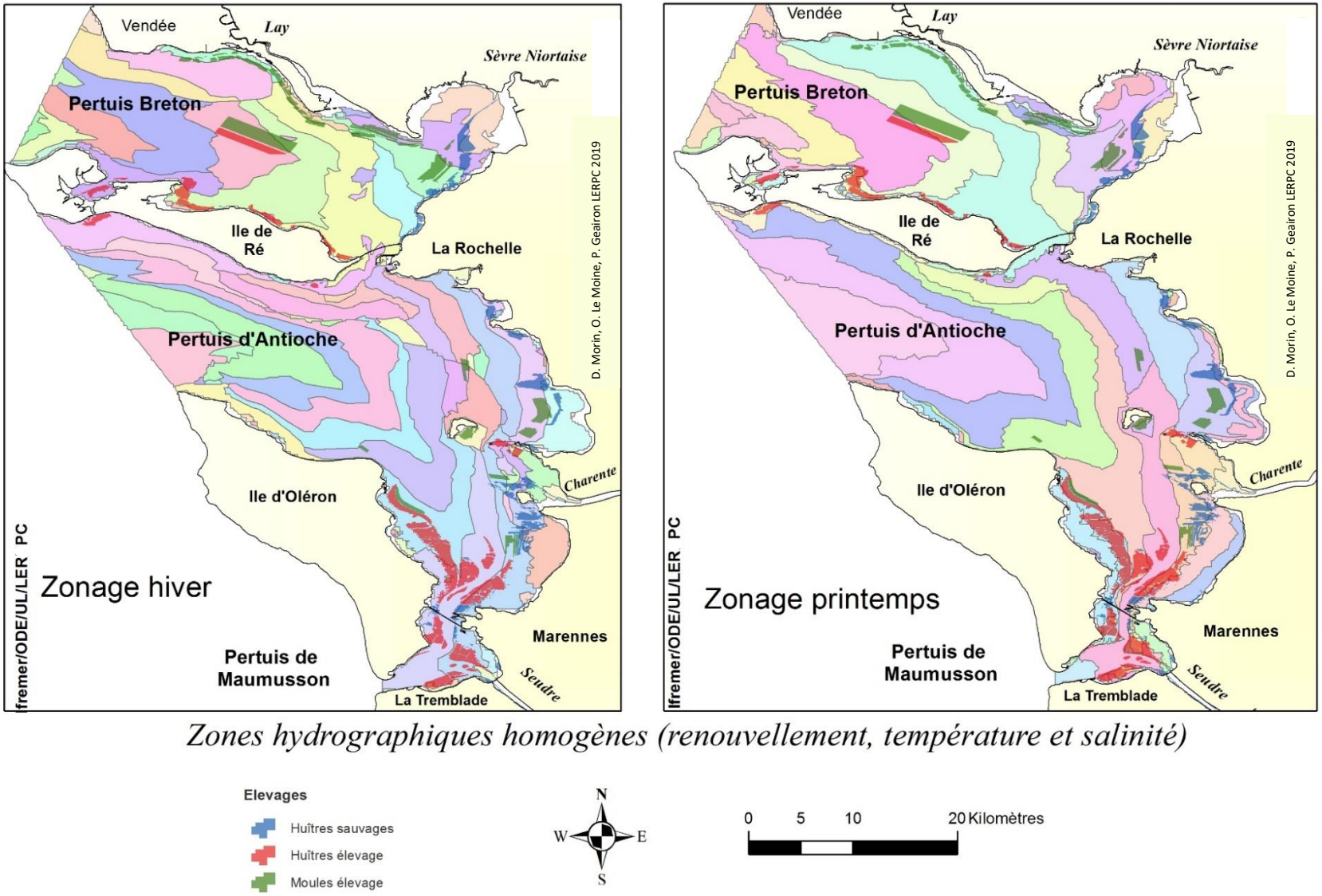
Tableau 4 : Valeurs utilisées pour le paramétrage des plages de données

Saison		Temps de renouvellement		Température		Salinité	
		Moyenne	Moyenne	Moyenne	std	Moyenne	std
Hiver	112.8	112.8	39.28	10.87	2.16	33.26	8.75
	0	0	0	3.4	0.2	10.16	0.07
Printemps	87.37	87.37	33.39	15.45	3.73	33.71	6.6
	0	0	0	3.92	0	14.35	0
Eté	94	94	35.6	19.28	3.73	34.8	4.03
	0	0	0	10.24	0	19.05	0.31
Automne	87.29	87.29	34.8	13.69	3.88	34.6	8.72
	0.47	0.47	0	5.08	0.34	19.18	0.08

Zonages obtenus

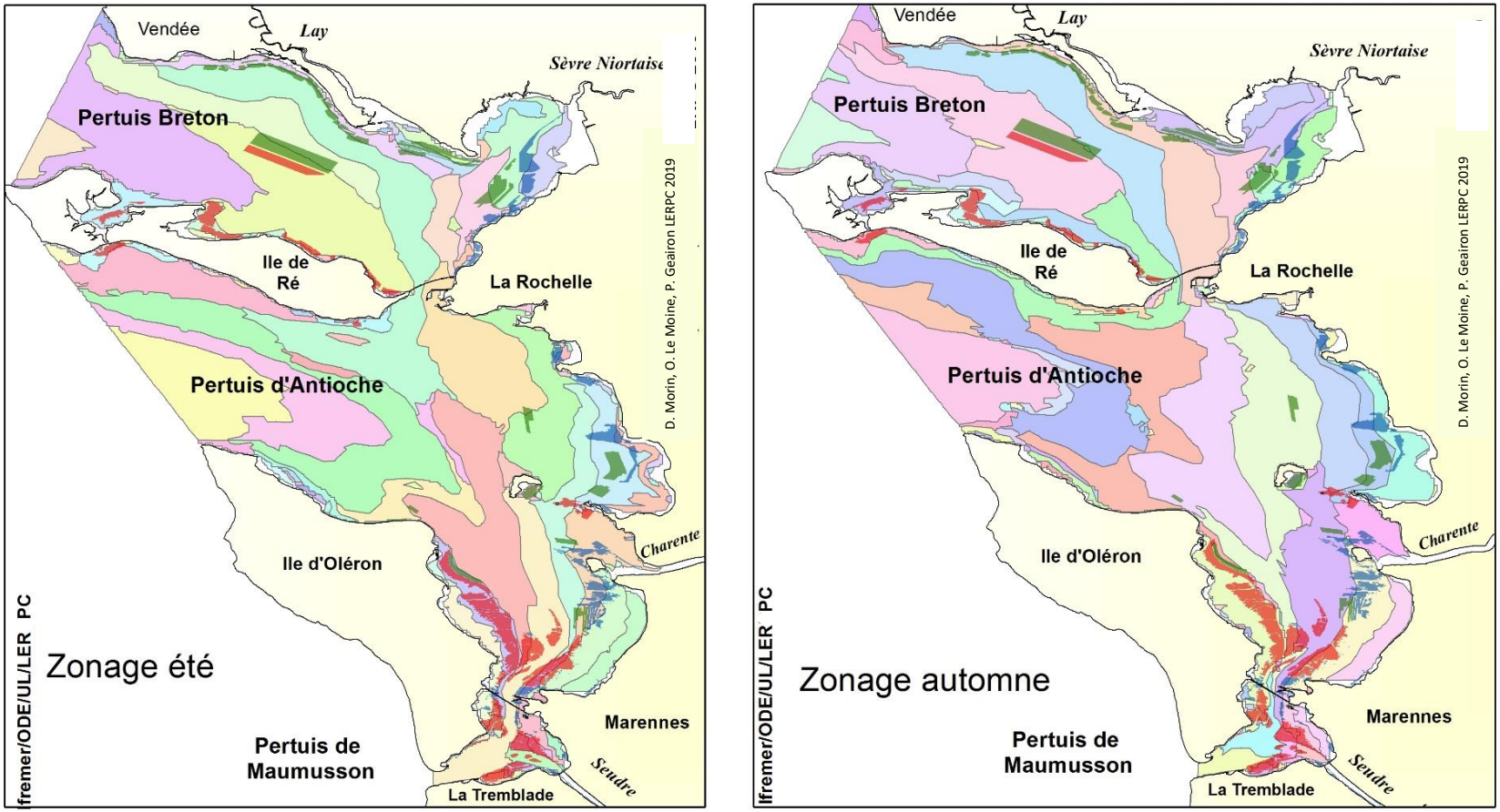
Les zonages sont représentés aux figures 19 (hiver printemps) et 20 (été automne). Ils représentent uniquement les résultats géostatistiques des zones homogènes pour l'ensemble de la zone d'étude sans prendre en compte la présence ou l'absence de productions conchylicoles. Les couleurs n'ont donc qu'une valeur d'aide à la visualisation, et n'ont aucun sens hiérarchique ; elles ne sont donc pas inscrites en légende. Dans la paramétrisation, un total de 25 classes a été demandé ; deux paramètres ont été pris en compte : la nécessité pour le résultat d'avoir une capacité discriminante suffisante pour séparer des zones de surface représentative d'une part, et d'autre part ne pas avoir trop de zones en sortie, pour garder de la pertinence vis-à-vis des objectifs initiaux.

On observe une disparité saisonnière relativement importante, probablement en lien avec les conditions météorologiques ; l'hiver semble donner un résultat plus perturbé que les autres saisons, particulièrement dans le Pertuis d'Antioche. Cette perturbation hivernale est due au temps de renouvellement dépendant des vents de façon importante (Stanisière J.Y., 2006), et à la salinité dépendante quant à elle des précipitations. Les baies côtières, où siège les apports des fleuves côtiers, présentant de plus faibles hauteurs d'eau se retrouvent logiquement isolées des zones centrales des Pertuis. Mis à part dans le Bassin de Marennes Oléron (BMO), les principales zones d'élevage se trouvent dans des zones apparemment différentes, ce qui tend vers la faculté discriminante recherchée.



Zones hydrographiques homogènes (renouvellement, température et salinité)

Figure 19 : Zones hydrographiques homogènes : hiver-printemps



Zones hydrographiques homogènes (renouvellement, température et salinité)

Figure 20 : Zones hydrographiques homogènes : été-automne

Variables environnementales

Temps de renouvellement

Les temps de renouvellement sont représentés aux figures 21 (hiver & printemps) et 22 (été & automne). Ils sont légendés sur les mêmes échelles de valeurs et couleurs, pour faciliter la visualisation des variabilités saisonnières.

Spatialement on note que pour une saison déterminée, les temps de renouvellements ont tendance à diminuer du continent vers les îles et le large. Temporellement, entre l'hiver et l'automne (en passant par le printemps et l'été), il est également remarqué que les temps de renouvellement pour le Pertuis d'Antioche, augmentent du continent vers les îles et le large (Figures 21 et 22). Pour la baie de l'Aiguillon ces temps de renouvellement augmentent entre les saisons avec une légère inflexion en été (Figures 21 et 22). Ceci est observé par le déplacement de la zone des renouvellements intermédiaires (de 20 à 25 jours) vers l'ouest. Il est probable que les brises thermiques, très saisonnières jouent un rôle. Ces brises, comme leur nom l'indique sont directement dépendantes des températures, et des différences qu'on peut observer entre la terre et la mer. Elles soufflent du continent vers le large (d'Est en Ouest) la nuit (« brise de terre »), et en sens inverse le jour, lorsque la terre se réchauffe. Ces va-et-vient longitudinaux doivent donc minimiser les renouvellements de fond de baie et favoriser un va et vient des masses d'eau dans les Pertuis.

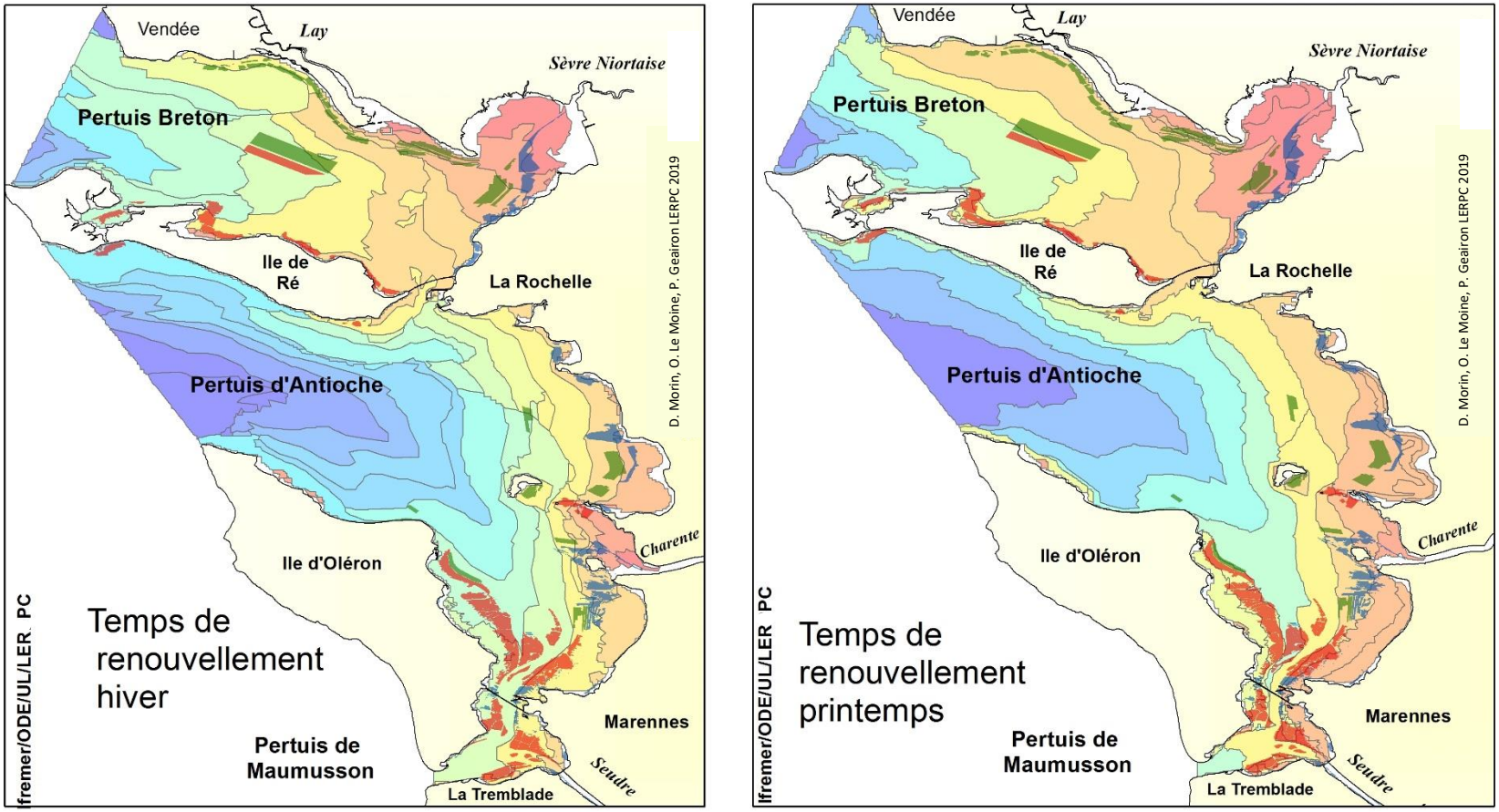
L'évaluation spatiale du temps de renouvellement est estimée par la dilution au cours du temps d'un traceur conservatif sur une emprise donnée (ici l'ensemble des Pertuis Charentais). Le temps de renouvellement pourrait être mis en relation avec une bonne capacité d'apports nutritifs aux organismes filtreurs, les risques subis par les animaux, les durées de contamination (chimique ou biologique) et/ou de transferts de type épidémique, ou de transports de larves.

Températures et salinités

Les températures et les salinités ayant des plages de variations très différentes d'une saison à l'autre, les échelles de valeurs et de couleurs n'ont pas été harmonisées, pour éviter de masquer les variations (Figures 23, 24, 25 et 26).

Les températures océaniques sont toujours plus élevées que sur les côtes, les faibles hauteurs d'eau engendrant des changements de température plus importants au-dessus des estrans. La zone thermiquement la plus élevée est retrouvée : 1) au large en hiver (10,5 °C.), 2) vers la partie est des Pertuis, hors estran au printemps (14,7 °C.), 3) dans la partie centrale des Pertuis en été (19,1 °C.), 4) au large en automne (13,5 °C.).

En règle générale les salinités sont plus faibles à la côte qu'au large quel que soit les saisons. Les zones les plus dessalées au niveau des Pertuis en hiver sont retrouvées dans la baie de l'Aiguillon et l'estuaire de la Charente atteignant des gammes de salinité entre (21,2-25,1 psu), et au nord et au sud de la Charente (25,2-28,4 psu). Comme évoqué précédemment la proximité des apports d'eau douce contribue à expliquer ces niveaux de salinités.



Zones hydrographiques homogènes (renouvellement, température et salinité)

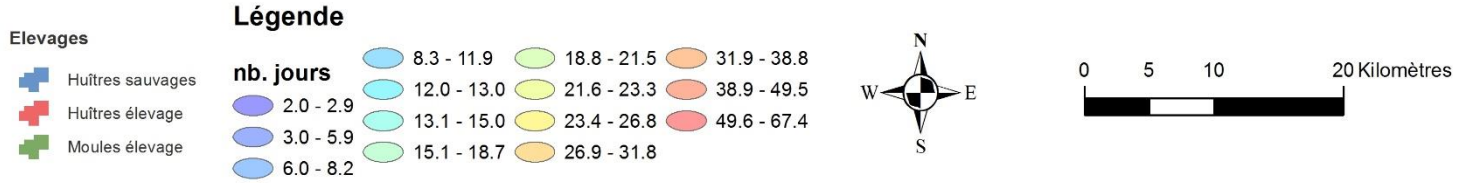
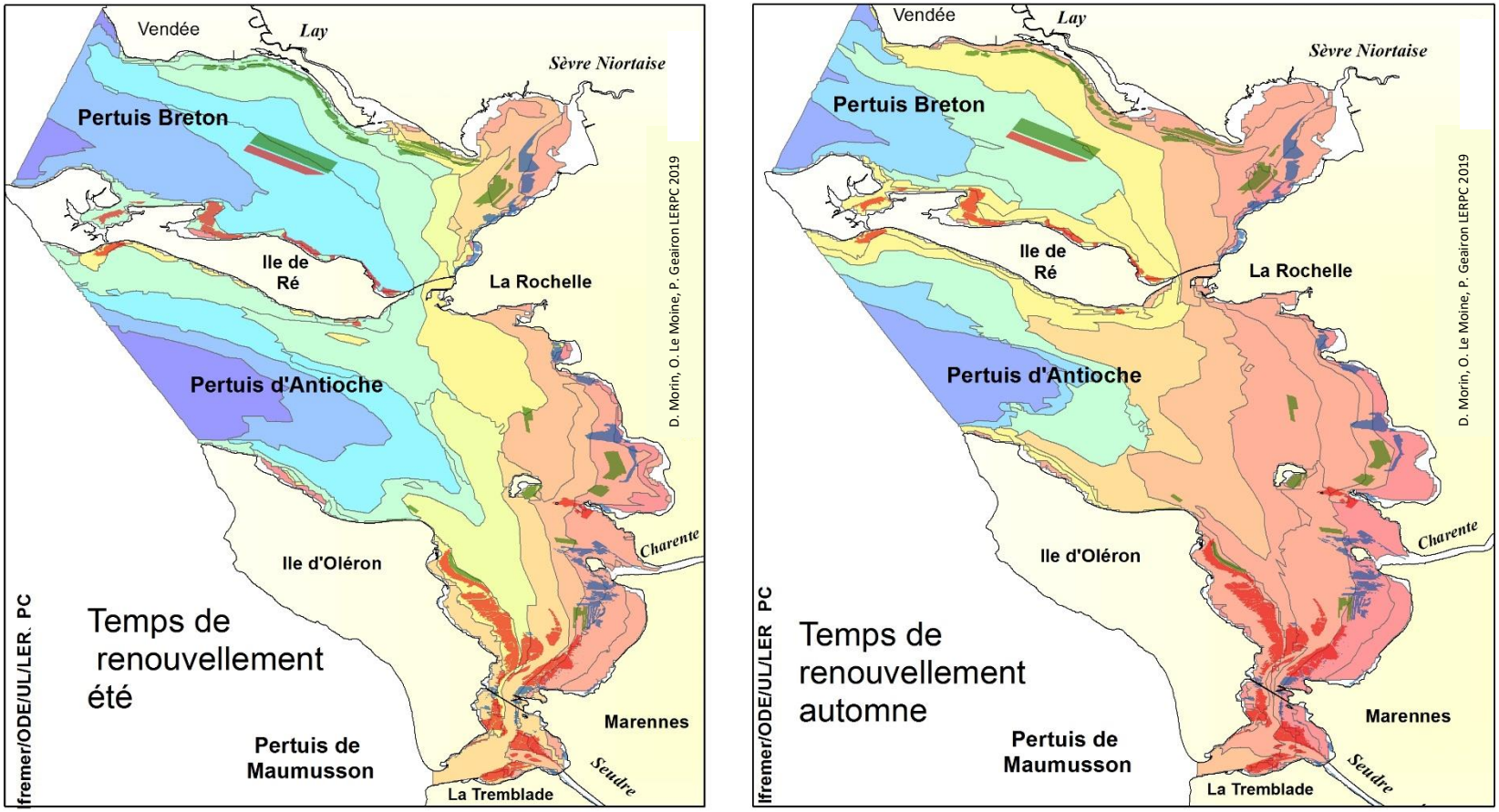


Figure 21 : Temps de renouvellement appliqués au zonage hydrographique homogène : hiver-printemps



Zones hydrographiques homogènes (renouvellement, température et salinité)

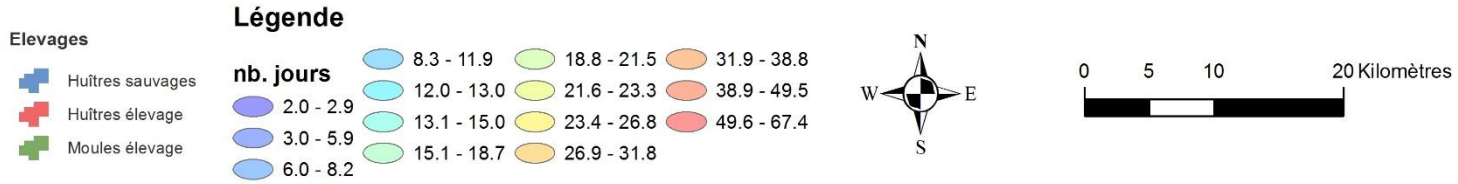


Figure 22 : Temps de renouvellement appliqués au zonage hydrographique homogène : été-automne

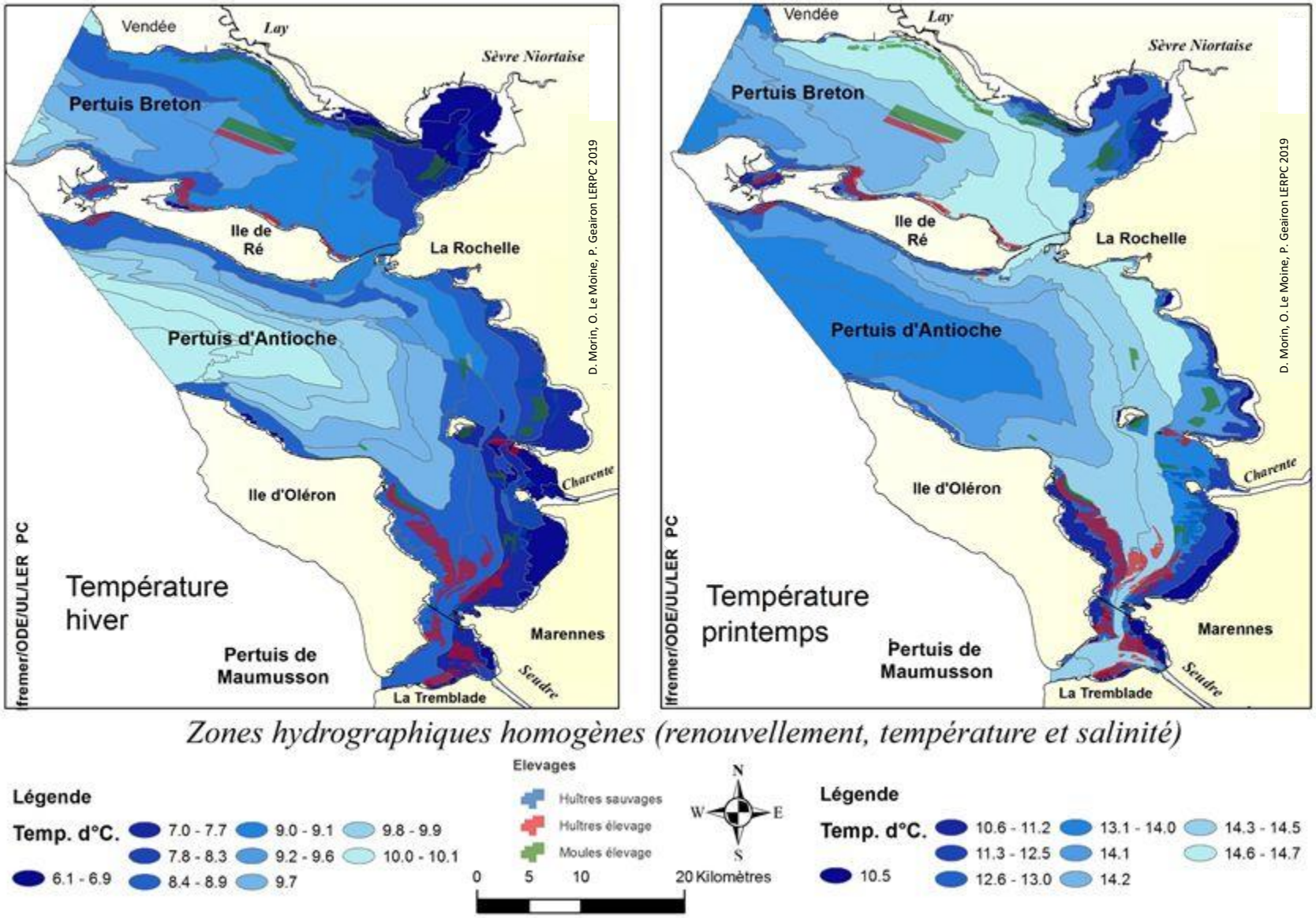


Figure 23 : Température saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : hiver-printemps

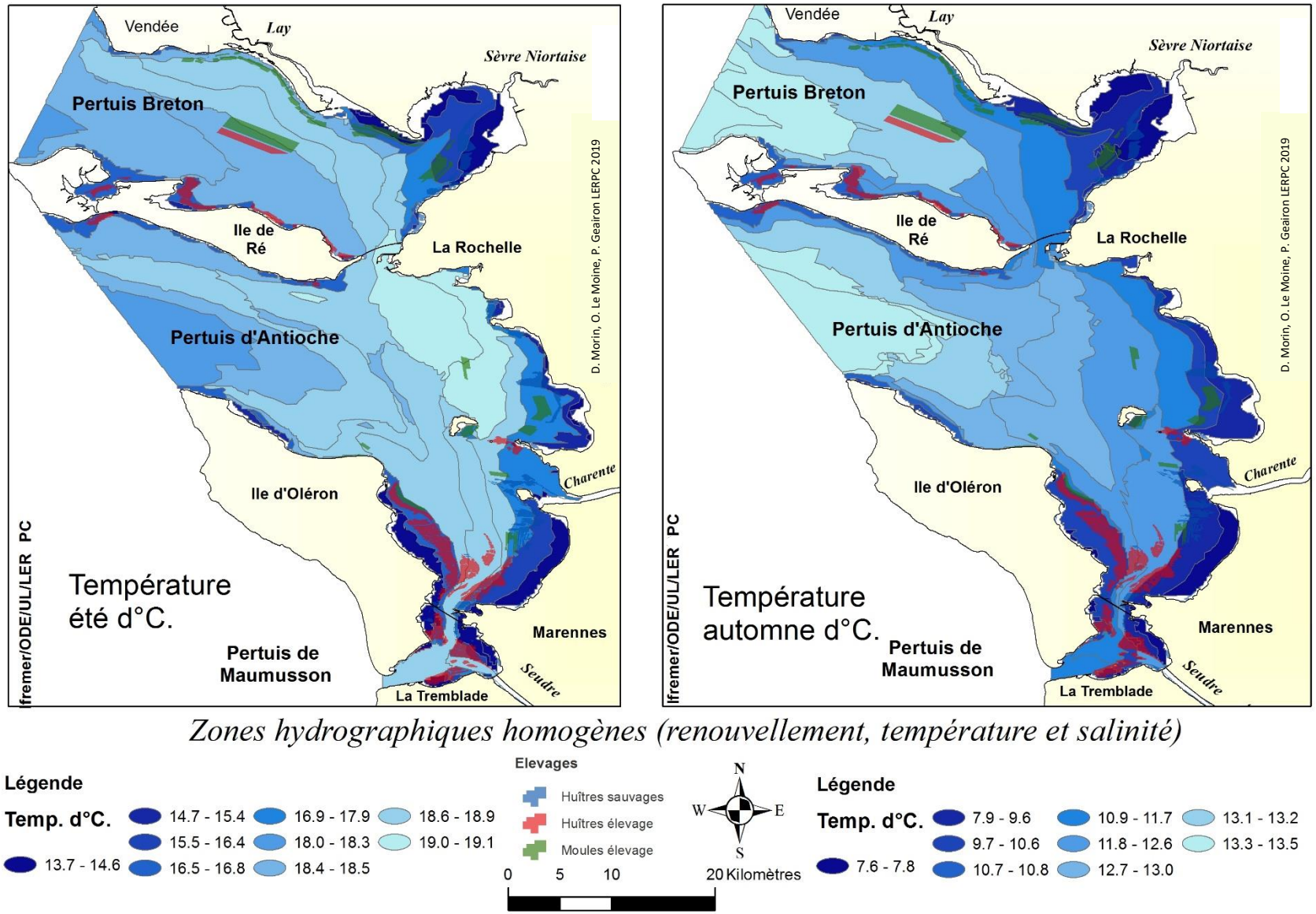


Figure 24 : Température saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : été automne

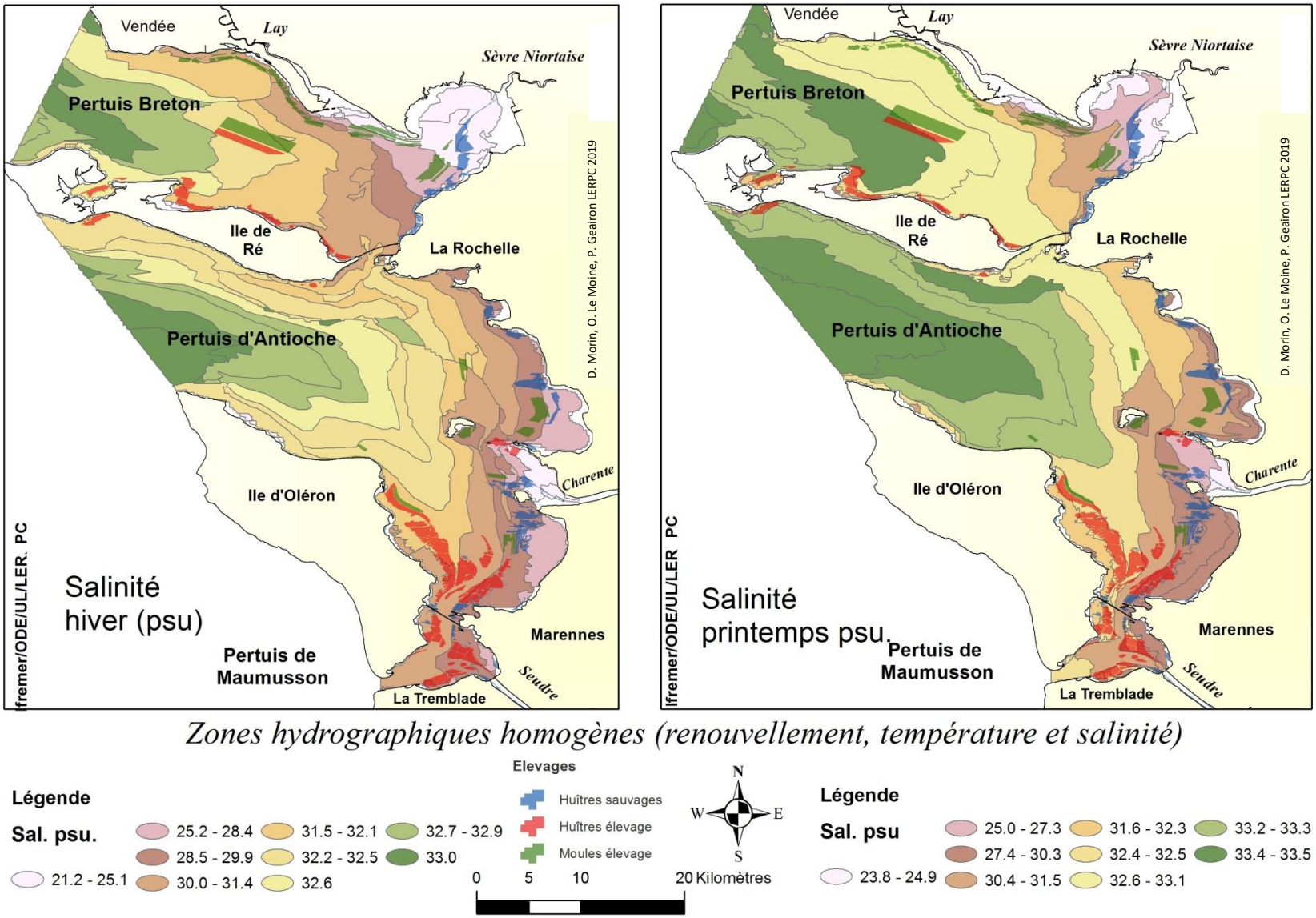


Figure 25 : Salinité saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : hiver printemps

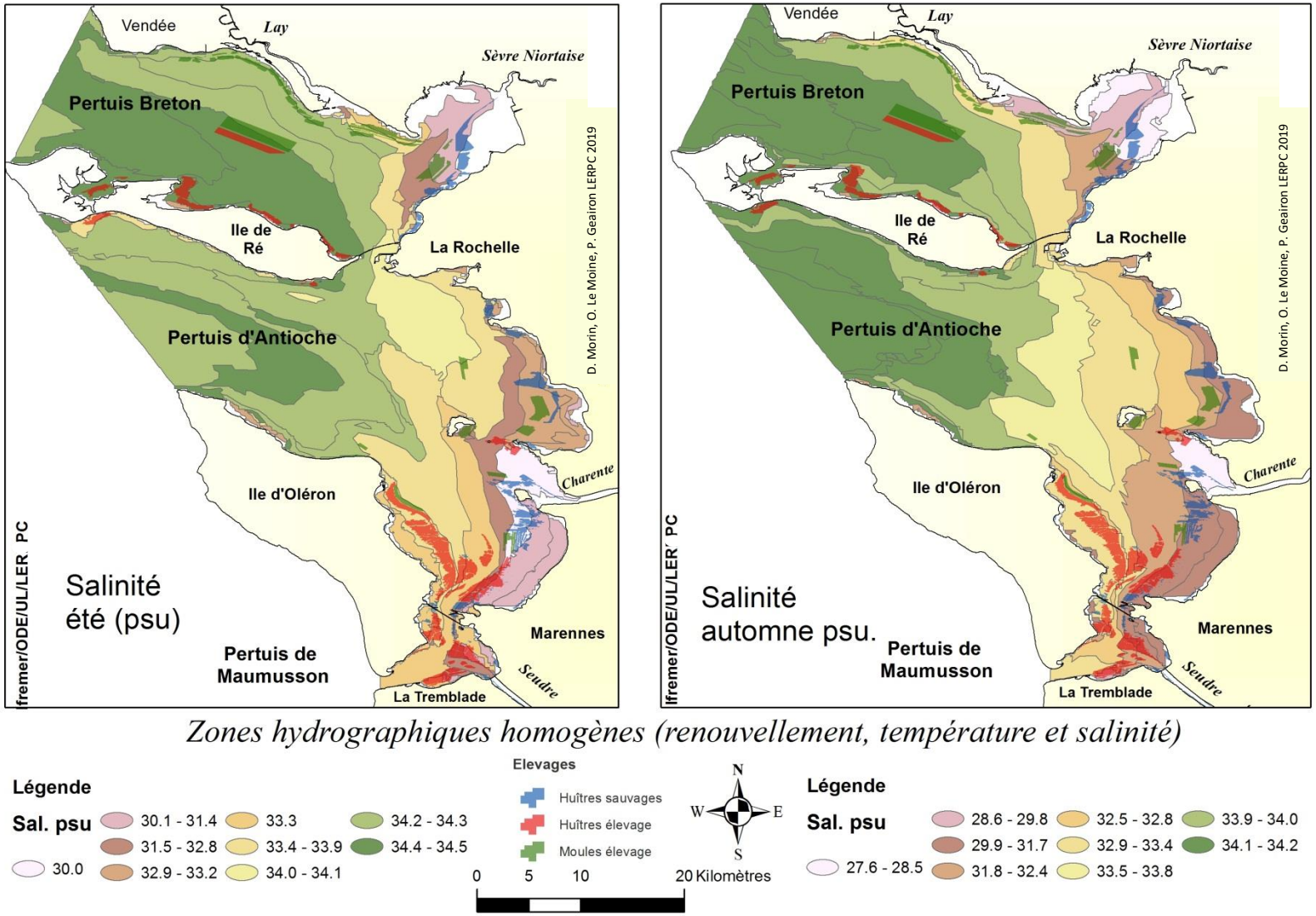


Figure 26 : Salinité saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : été automne

Lien avec les élevages

Afin de prendre en compte la part du risque lié à la densité en élevage présente dans chaque zone, la surface en élevage présente par zone a été calculée. Les surfaces en élevage sont celles définies dans les diverses campagnes Ifremer d'évaluation des stocks conchylicoles (2011), à l'aide de campagnes orthophotographiques et d'échantillonnage terrain. Les figures ci-dessous présentent ces résultats, de façon saisonnière, tous élevages confondus (tables, plat, filières, élevages et demi élevage).

Les figures 27, 28, 29 et 30 de gauche indiquent la surface en hectare couverte par les surfaces en élevage pour une zone homogène définie. Les figures 27, 28, 29 et 30 de droite indiquent le pourcentage de la zone homogène couverte par les surfaces en élevage.

Les zones de captage, à moindre impact sur le risque microbiologique puisque les animaux ne sont pas consommés, ont été regroupées avec les zones délimitées « présence d'animaux sauvages ». Dans le cas d'une analyse pour la pêche à pied, il conviendrait bien sûr de les prendre en compte.

Les différentes cartes (Figures 27 à 30) permettent de mettre en contexte le zonage hydrographique défini dans cette étude avec la densité en élevage.

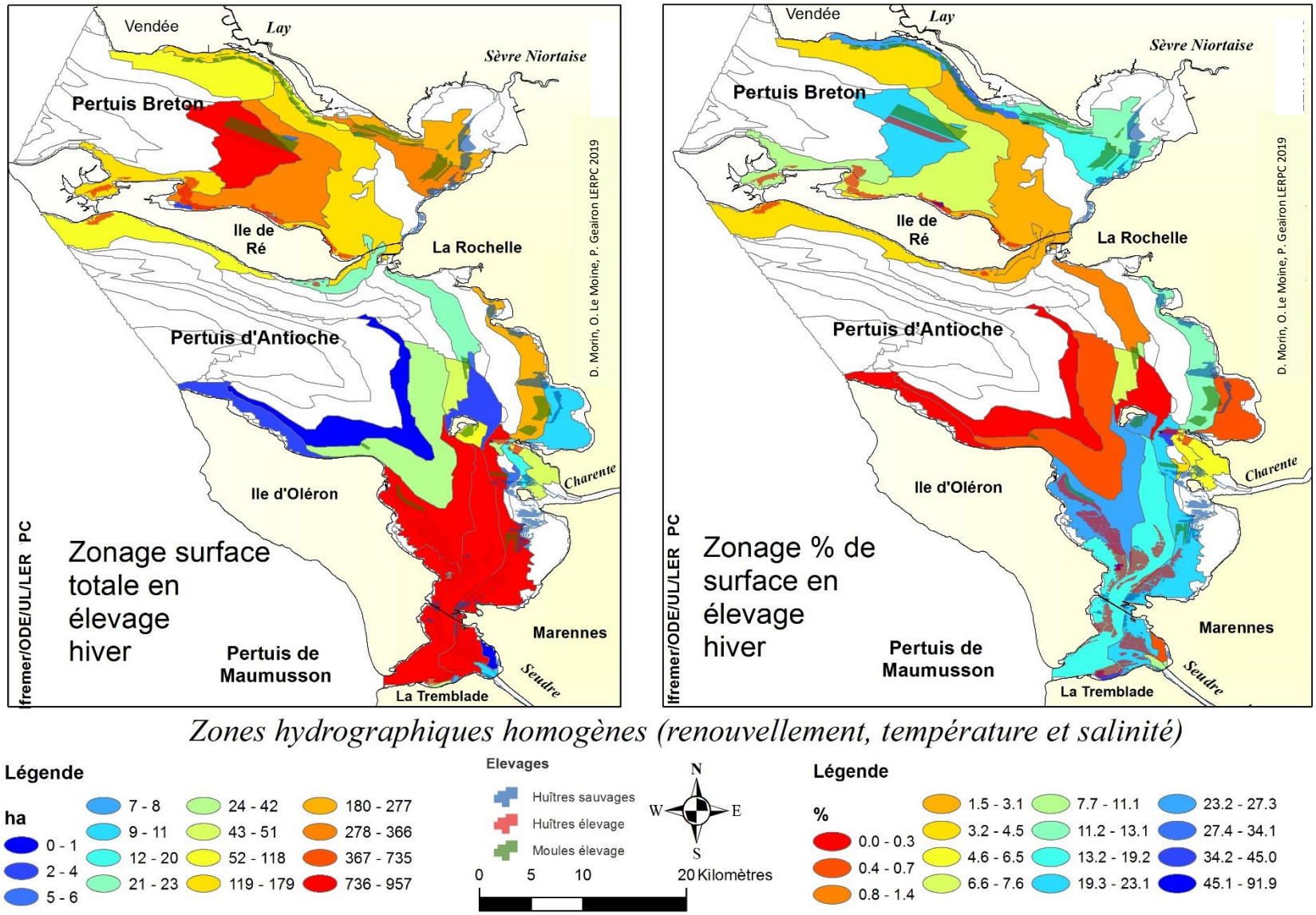


Figure 27 : Zonage appliqué à la surface en élevage en hiver

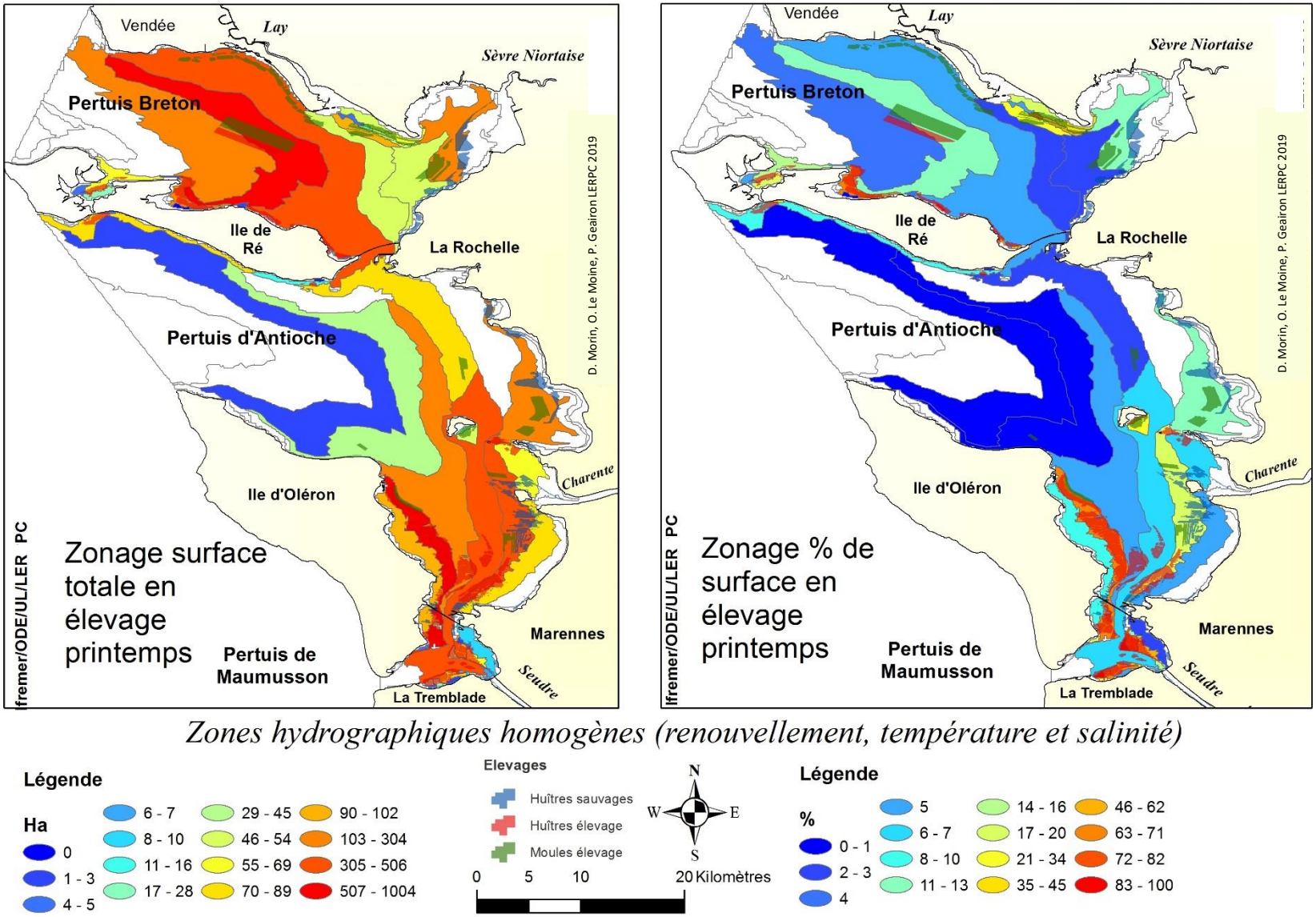


Figure 28 : Zonage appliqué à la surface en élevage au printemps

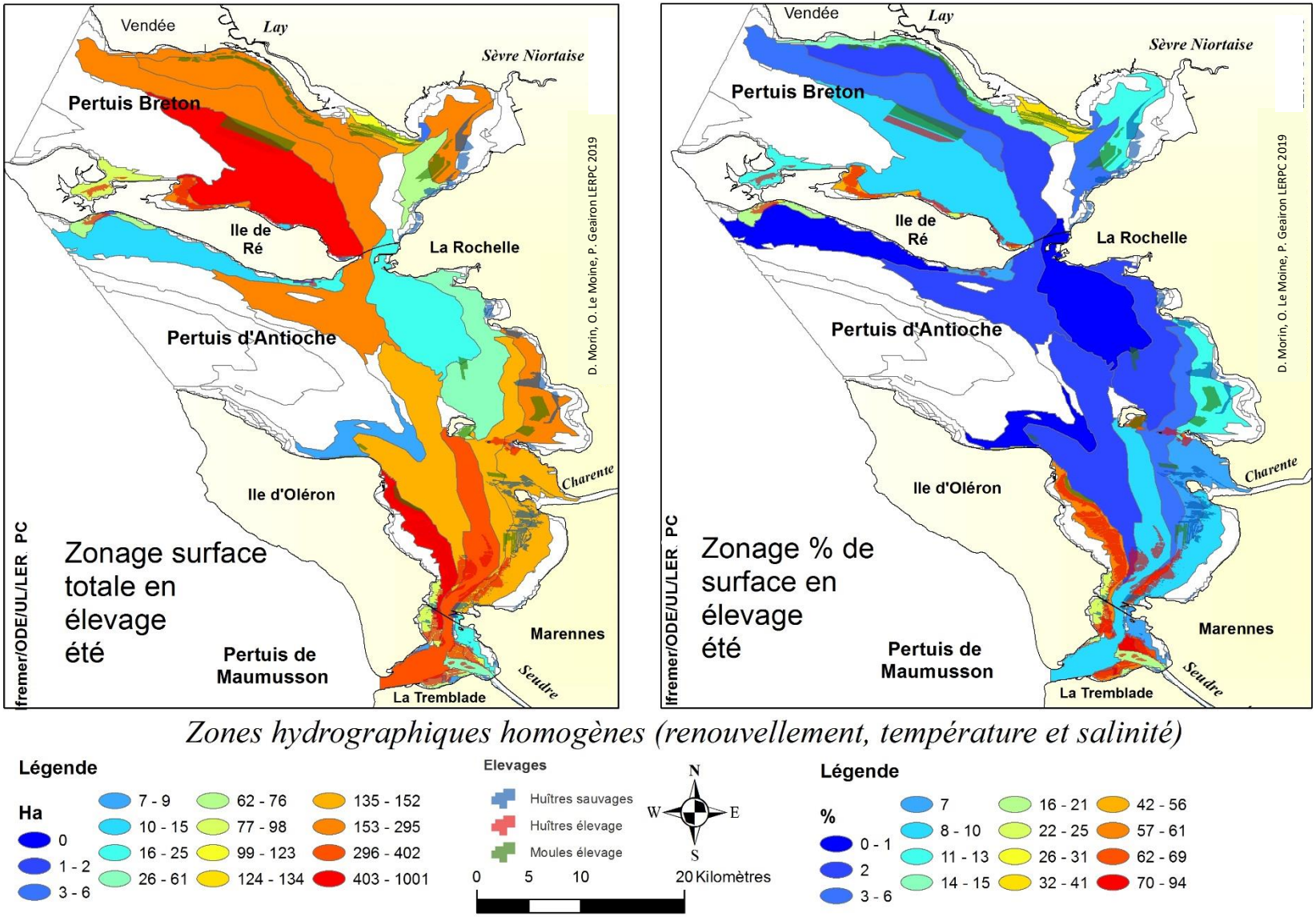


Figure 29 : Zonage appliqué à la surface en élevage en été

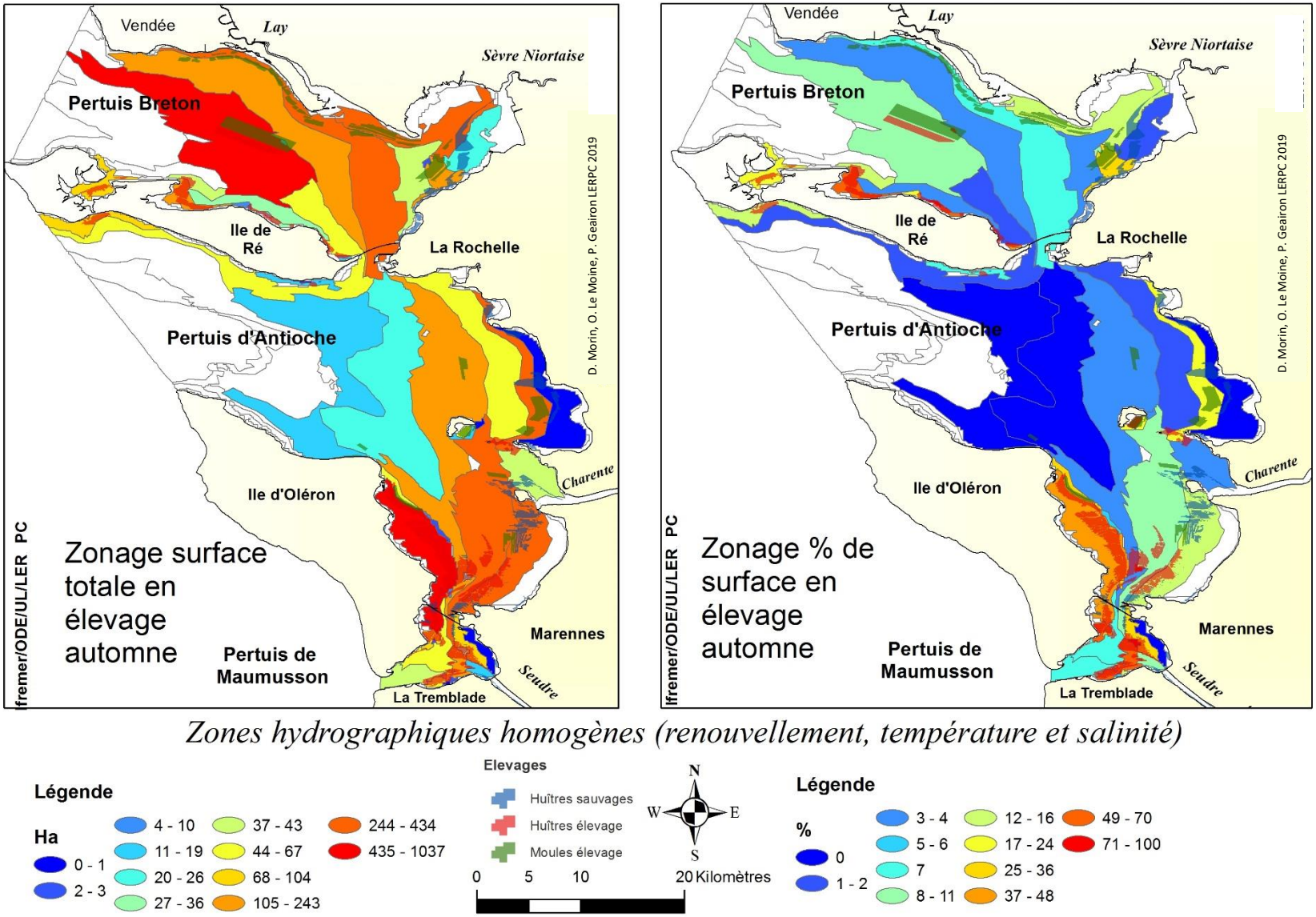


Figure 30 : Zonage appliqué à la surface en élevage en automne

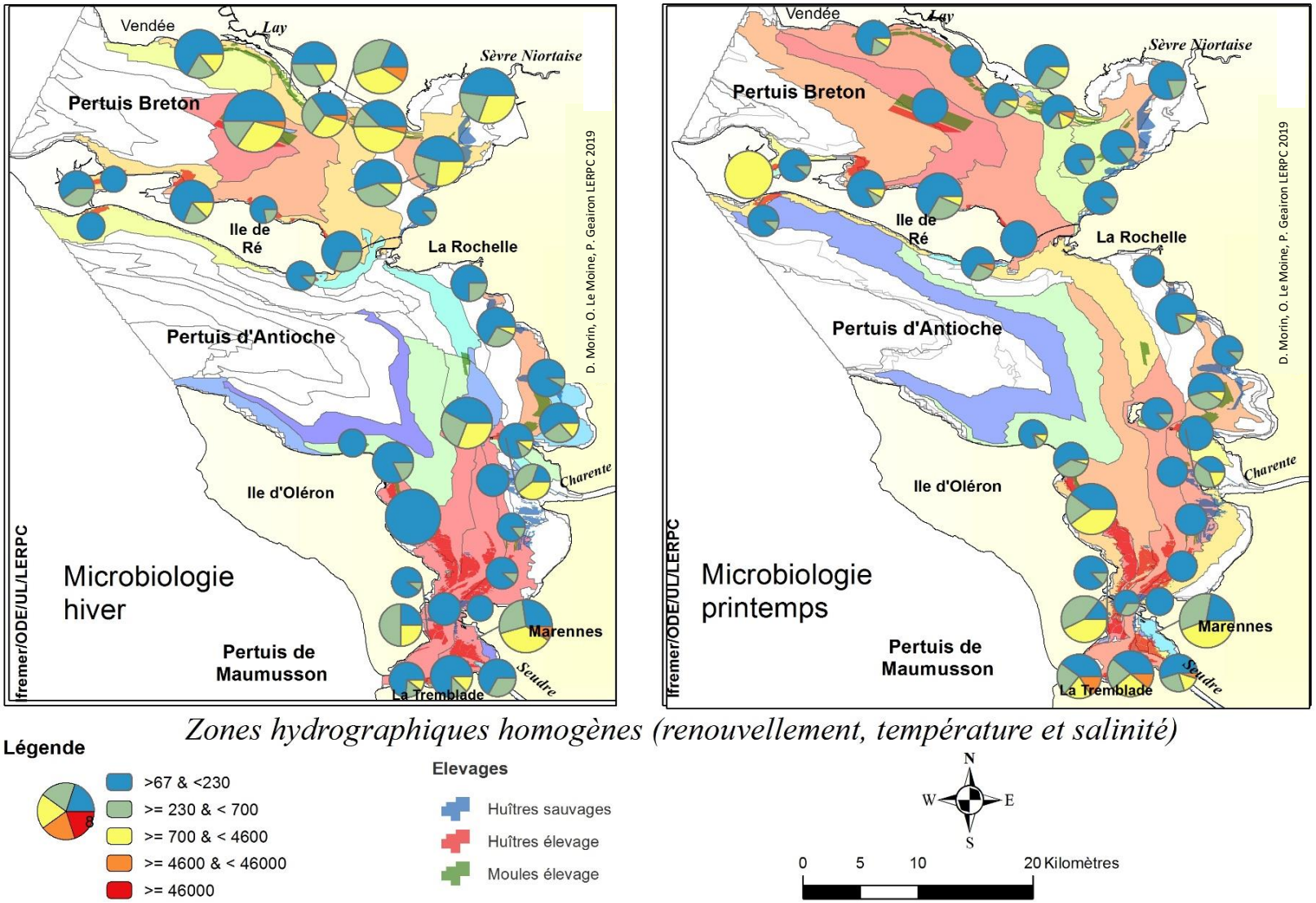
Corrélations spatiales avec la synthèse des résultats des analyses microbiologiques saisonnières

Les résultats microbiologiques de dénombrement des *E.coli* dans les coquillages vivants issus du dispositif de surveillance sanitaire REMI mis en œuvre dans les Pertuis Charentais , ont été synthétisés de manière saisonnière et par classes de façon à pouvoir les superposer aux zonages saisonniers obtenus et décrits précédemment.

Les classes choisies pour la représentation des résultats microbiologiques correspondent aux seuils définis par le Règlement (CE) n°854/2004, exigences réglementaires du classement de zone.

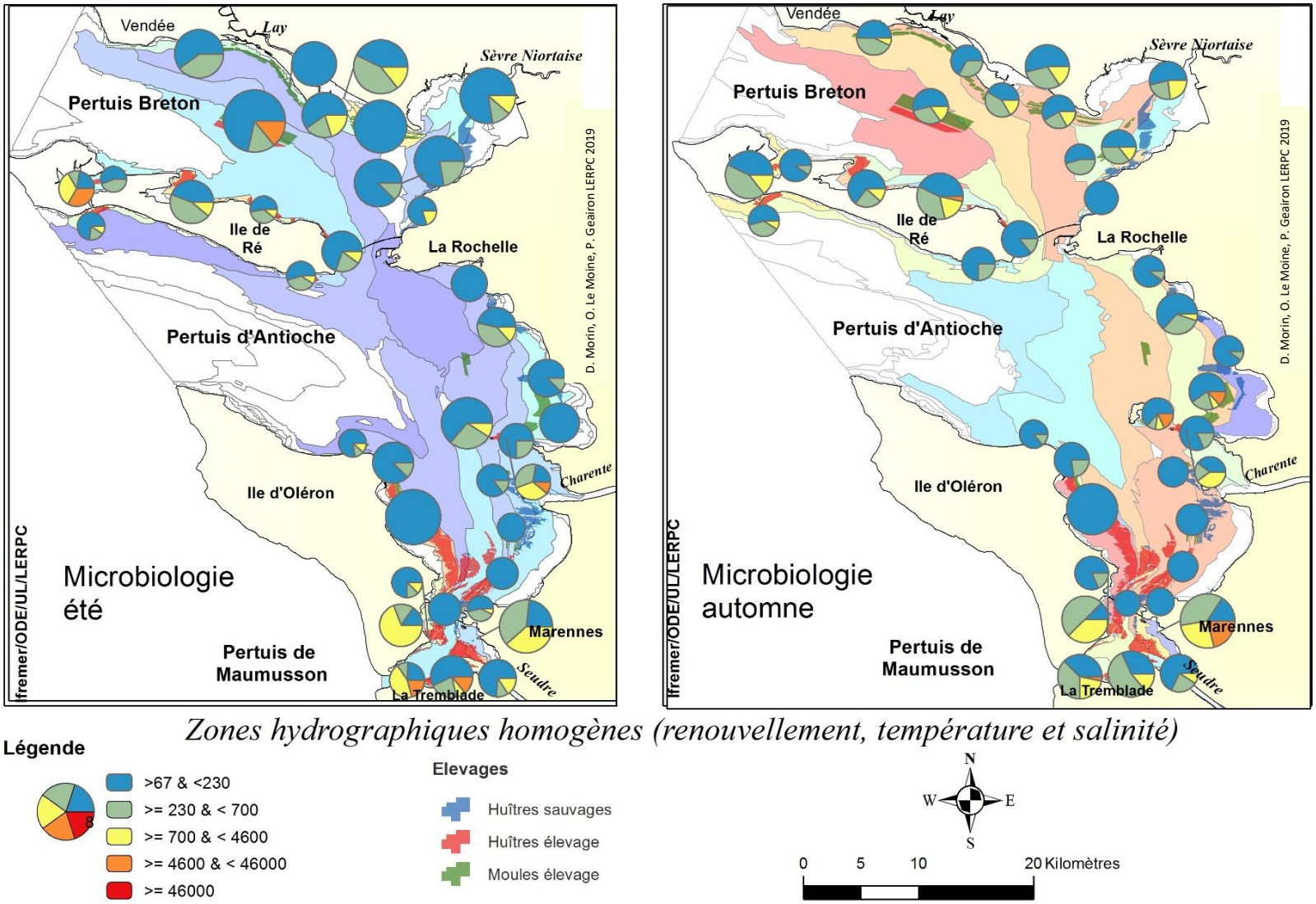
Afin de disposer d'un nombre de données suffisant et d'encadrer la période d'étude (2012-2017), les données REMI ont été cartographiées de manière saisonnalisée sur la période 2009-2018. Pour plus de détails, les analyses de tendance et de qualité microbiologique par zone de production et par point de suivi REMI sont synthétisées dans le rapport annuel intitulé : « Qualité du Milieu Marin Littoral. Bulletin de la surveillance – Edition 2018. Départements de Charente-Maritime et de Vende (sud) ».

Les représentations cartographiques des dépassements de seuils réglementaires saisonniers ont été développées sous forme de diagramme et associées aux zonages saisonniers (Figures. 31 et 32). **La taille des diagrammes est proportionnelle au nombre d'analyses dépassant les seuils règlementaires, normalisée par le nombre total d'analyse effectuées.**



Zones hydrographiques homogènes (renouvellement, température et salinité)

Figure 311 : Synthèse saisonnière des analyses microbiologiques effectuées par zone hydrographique homogène : hiver (gauche) -printemps (droite).



Zones hydrographiques homogènes (renouvellement, température et salinité)

Figure 322 : Synthèse saisonnière des analyses microbiologiques effectuées par zone hydrographique homogène : été (gauche) automne (droite).

Pistes et recommandations

Facteurs de risques (non pris en compte dans la méthodologie précédente)

Impact sur les apports

- Proximité des fleuves (salinité)
- Usages des bassins versants (élevage, tourisme, activités portuaires, etc.)
- Proximité des émissaires directs (STEP, pluvial etc.)
- Population et usages sur le bassin versant
- Variations saisonnières liées :
    - A la météorologie (pluviométrie, température),
    - Aux variations de population (fréquentation touristique)
    - Aux variations de période de commercialisation des coquillages en même temps que des stocks en place
    - Faune sauvage
    - Ressource conchylicole présente sur les sites

Impact sur la diffusion

Qualité environnement

- turbidité, luminosité influence sur T90 (Figure 33 d'après Stanisière & al., 2007)
- temps de renouvellements (marée, météo) si > au T90 estimé (Figure 33 et Tableau 5) risque accru.

Tableau 5 : Estimation du T90 (temps en jours nécessaire à l'élimination de 90% des Escherichia coli dans l'eau) en nombre de jours sur les points de mesures existants : base Razlec-LERPC (approximation d'après Stanisière & al. 2007). Les cases rouges représentent le T90 par saison et par site étudié, le plus grand. Ainsi sur le site de Barrat le T90 est de 22.5 jours en moyenne en Hiver et en Automne.

	Auger			Barrat			Boyard			Chapus			Fontenelle		
	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min
Hiver	5.8	3.1	1.9	22.5	2.9	0.8	11.7	4.2	2.1	5.0	2.5	1.7	14.6	4.2	2.1
Printemps	2.5	1.7	1.0	2.5	1.5	0.8	4.2	2.1	0.8	2.5	1.7	0.8	2.1	0.4	0.0
Eté	1.0	1.0	0.8	1.7	1.0	0.8	3.1	2.1	1.3	1.7	0.8	0.6	5.0	0.4	0.8
Automne	3.1	3.1	2.1	22.5	2.5	1.5	9.2	4.2	2.1	4.2	2.5	1.7	20.8	12.5	2.1

En conclusion, cette étude a permis d'identifier des zones hydrographiques cohérentes en croisant les données de températures, salinités et courants sur cinq années consécutives pour chaque saison et selon les conditions de revif et déchet.

De cette étude, il semble important de considérer les temps de renouvellement des eaux selon les saisons. Temporellement, cette étude a permis d'identifier les zones les plus dessalées et dont les températures sont les plus hautes à travers les saisons. La baie de l'Aiguillon et les zones au Nord et au Sud de l'Estuaire de la Charente présentent des temps de renouvellement longs selon les saisons.

Dans la globalité de l'emprise, le renouvellement des masses d'eau ne présente pas une variabilité saisonnière très importante. Par contre, la variabilité spatiale est plus conséquente, l'écart type maximal sur la moyenne de l'emprise variant pratiquement du simple au triple. De plus, les zones dont les temps de

résidence sont longs sont à considérer en fonction du T90 des bactéries (E.coli) en eau de mer, si le temps de renouvellement est supérieur au T90 estimé d'Escherichia coli le risque sanitaire est accru.

Par ailleurs, cette étude a permis de mettre en contexte les différentes zones hydrographiques cohérentes avec les résultats microbiologiques issus du suivi REMI et avec les données de surfaces conchylicoles permettant une mise en contexte des zones hydrographique cohérentes avec les enjeux microbiologiques et l'élevage conchylicole dans les Pertuis Charentais.

La définition des zones hydrographiques cohérentes est également à prendre en compte dans un contexte d'évolution de l'environnement. En effet, Soletchnik et al, (2017), qui ont étudié les modifications de l'hydroclimat dans le bassin de Marennes Oléron (BMO) durant les 40 dernières années ; ont observé un réchauffement de la période hivernale ainsi qu'un décalage saisonnier. Le mois de juin « ayant perdu ses caractéristiques printanières des années 80 pour prendre des caractéristiques estivales au début du 21ème siècle ». D'autres phénomènes hydroclimatiques d'importance ont été également notés : une diminution des débits des fleuves surtout en hiver et au printemps; une « salinisation» durant le printemps-été, conséquence directe de la diminution des apports.

$$T90 = A\,Io^{B}\left[\left(1-e^{-kh}\right)\right]^{B}$$

Avec :

$$k = C\,SS^{D}$$

k le coefficient d'extinction en m^{-1},

Io l'énergie solaire reçue par unité de surface en $\mu E\,m^{-2}h^{-1}$

SS la teneur en matières en suspensions en mg/l

A=53683

B=-0.666

C=0.189

D=0.799

H profondeur en m

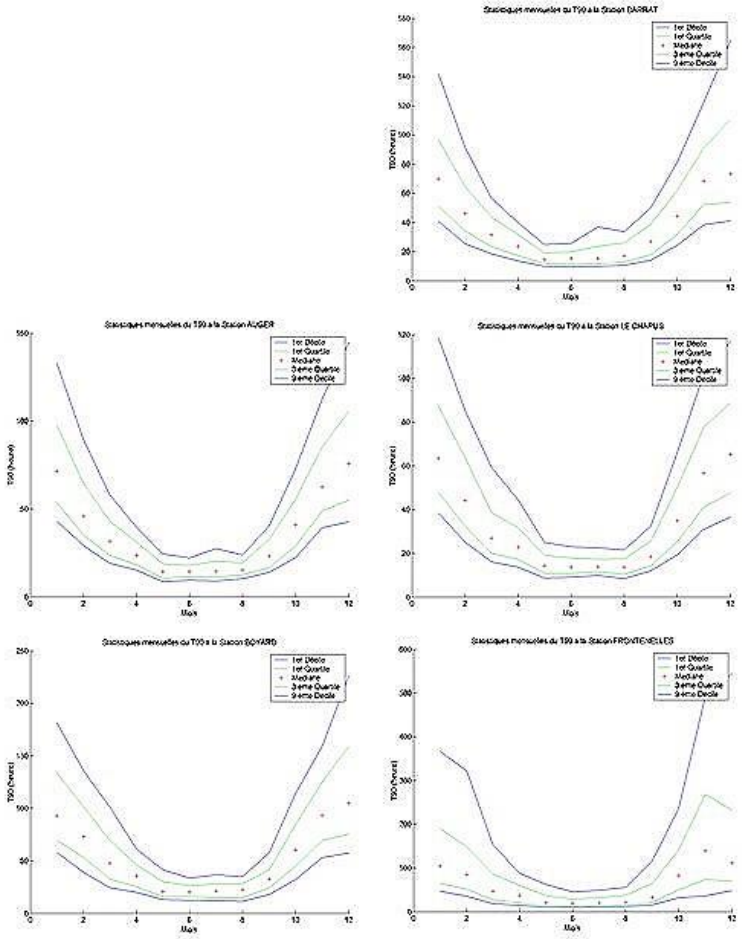


Figure 333 : Estimation du T90 d'Escherichia coli sur les points historiques de mesure (base Razlec, Ifremer). D'après Stanisière, J.Y., & Dumas, F. 2007.

Valorisation : données spatialisées mises à disposition sur le serveur de données géographiques Sextant de l'Ifremer (en cours)

Données rasters :

Cartographie des moyennes de température, salinité et temps de renouvellement : moyennes saisonnières annuelles (hiver printemps été automne) pour chaque variable, soit 12 couches par an. Ces moyennes sont élaborées à partir des données en déchet et en revif pour les années 2012 à 2017 incluses et font un total de 72 couches.

Les moyennes et écarts type interannuels sur la même période sur ces moyennes s'y rajoutent, soit 6 couches supplémentaires.

Données vectorielles :

Données surfaciques :

Un traitement géostatistique a permis un zonage hydrographique cohérent basé sur ces variables qui a été polygonisé par saison, soit 4 couches vectorielles.

Sur ces zones cohérentes ont été synthétisés :

- Les moyennes saisonnières de température, salinité et temps de renouvellement soit 12 couches supplémentaires
- Les données surfaciques de zones en élevage (huitres et moules, tous types d'élevages confondus) en surface et pourcentage de la surface de la zone, soit 8 couches de plus.

Données ponctuelles :

Les données de la surveillance REMI ont été traitées et cartographiées également de manière saisonnalisée sur la période 2009-2018, encadrant la période d'étude. Des représentations cartographiques des dépassements de seuils réglementaires saisonniers sous forme de diagramme ont été développées, soit 4 couches ponctuelles.

Cela représente donc un total de 106 couches mises à disposition du Département de la Charente-Maritime à l'issue de ce projet.

Bibliographie

Ascione Kenov, I.,Muttin, F., Campbell, R., Rodrigo, F., Campuzano, F., Machado, F., Guilherme, F., Neves R.,(2015). Water fluxes and renewal rates at Pertuis d'Antioche/Marennes-Oleron Bay, France,Estuarine, Coastal and Shelf Science , 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 A., Robin S., Pinatel C. (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),p. 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 Quebec. Raport 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 N., James E. Cloern, L., Lucas, V.. A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales Limnol. Oceanogr.,47(5), 2002, p.1545–1553.

Pepin J.-F., Travers M.-A., Bechemin C., Soletchnik P., Le Moine O., Guesdon S., Lapegue S., Benabdelmouna A., Hervio Heath D., Bierne N. (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.

Polsenaere P., Soletchnik P., Le Moine O., Gohin F., Bechemin C. (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 P., Soletchnik P., Le Moine O., Gohin F., Robert S., Pépin J.-F., Stanisière J.-Y., Dumas F., Béchemin C., Goulletquer P. 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

Soletchnik P., Le Moine O., Polsenaere P. (2017). Evolution de l'environnement hydroclimatique du bassin de Marennes-Oléron dans le contexte du changement global . RST/ ODE / LER / LERPC – juin 2017 . https://archimer.ifremer.fr/doc/00387/49815/

Stanisière J.Y., Fillon, A., Thomas, G. 2004. Modélisation de l'impact sanitaire de la station d'épuration de Fouras avant et après déplacement du point de rejet. Rapport final de contrat Syndicat des Eaux, mars 2004, 33 p. + annexes**.**

Stanisiere 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/

Stanisiere J.Y., Dumas F., (2007). Rapport final, modélisation de l'impact sanitaire de la station d'épuration de Fouras en configuration de lagunage. Rapport de contrat Rese 17.

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.

Thomas G., Piquet J.-C., Ryckaert M., Masson D., Pepin J.-F., Polsenaere P., Fillon A. (2015). Qualité microbiologique des zones conchylicoles dans les Pertuis Charentais. 63p. ODE/UL/LERPC/15-2. https://archimer.ifremer.fr/doc/00302/41299/

Travers M.-A., Pepin Jean-F., Soletchnik P., Le Moine O., Guesdon S., Lapegue S., Benabdelmouna A., Hervio Heath D., Bierne N. (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,p. 3 -12.

Liste des Figures

Figure 1 : Exigences réglementaires du classement de zone (Règlement (CE) n°854/2004, arrêté du 06/11/2013). 9
Figure 2 : Emprise du traceur à l'origine (en rouge)..... 13
Figure 3 : Emprise initiale du traceur (en rouge) et dispersion – dilution les 8 premiers jours de simulation.J0 : Le traceur est initialisé à une valeur de 1 (rouge) sur l'ensemble de la colonne d'eau à l'extérieur des Pertuis, ainsi que dans les conditions aux limites de l'emprise de manière à ce que toute l'eau « neuve » arrivant de l'océan soit à cette concentration de traceur de 1. Les Pertuis sont initialisés à 0 (bleu)..... 14
Figure 4 : Cinétique de dispersion du traceur dans les Pertuis, de J0 (début de simulation) à J90. 16
Figure 5 : Evolution du traceur "Océan" aux Filières mytilicoles du Pertuis Breton. 17
Figure 6 : Variabilité du temps de renouvellement en fonction du cycle de marée..... 19
Figure 7 : Temps de renouvellement hivernal, moyenne (gauche) et écart type (droite)..... 22
Figure 8 : Température hivernale moyenne (gauche) et écart type (droite) 23
Figure 9 : Salinité hivernale, moyenne (gauche) et écart type (droite) 24
Figure 10 : Temps de renouvellement printaniers, moyenne (gauche) et écart type (droite) 25
Figure 11 : Température printanière, moyenne (gauche) et écart type (droite)..... 26
Figure 12 : Salinité printanière, moyenne (gauche) et écart type (droite) 27
Figure 13 : Temps de renouvellement estival, moyenne (gauche) et écart type droite)..... 28
Figure 14 : Température estivale, moyenne (gauche) et écart type (droite)..... 29
Figure 15 : Salinité estivale, moyenne (gauche) et écart type (droite) 30
Figure 16 : Temps de renouvellement automnal, moyenne (gauche) et écart type (droite) 31
Figure 17 : Température automnale, moyenne (gauche) et écart type (droite) 32
Figure 18 : Salinité automnale, moyenne (gauche) et écart type (droite)..... 33
Figure 19 : Zones hydrographiques homogènes : hiver-printemps 36
Figure 20 : Zones hydrographiques homogènes : été-automne 37
Figure 21 : Temps de renouvellement appliqués au zonage hydrographique homogène : hiver-printemps 39
Figure 22 : Temps de renouvellement appliqués au zonage hydrographique homogène : été-automne 40
Figure 23 : Température saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : hiver-printemps..... 41
Figure 24 : Température saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : été automne 42
Figure 25 : Salinité saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : hiver printemps 43
Figure 26 : Salinité saisonnière moyenne appliquée au zonage hydrographique homogène : été automne 44
Figure 27 : Zonage appliqué à la surface en élevage en hiver 46
Figure 28 : Zonage appliqué à la surface en élevage au printemps 47
Figure 29 : Zonage appliqué à la surface en élevage en été 48
Figure 30 : Zonage appliqué à la surface en élevage en automne 49
Figure 31 : Synthèse saisonnière des analyses microbiologiques effectuées par zone hydrographique homogène : hiver (gauche) -printemps (droite). 52

Figure 32 : Synthèse saisonnière des analyses microbiologiques effectuées par zone hydrographique homogène : été (gauche) automne (droite). 53
Figure 33 : Estimation de la demi-vie des bactéries (T90) sur les points historiques de mesure (base Razlec, Ifremer). D'après Stanisière, J.Y., & Dumas, F. 2007. 56

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Simulations réalisées avec le modèle MARS3D_P100. RE = Revif et DE = Déchet. 18
Tableau 2 : Temps de renouvellement maximum et moyens saisonniers sur l'emprise estimée (nombre de jours), regroupement des données sur 5 années par saison sur l'ensemble des points pris dans les Pertuis. 20
Tableau 3 : Salinités et températures, moyennes et écarts types (de la moyenne) saisonniers, regroupement des données sur cinq années, par saison, sur l'ensemble des points pris dans les Pertuis Charentais. 21
Tableau 4 : Valeurs utilisées pour le paramétrage des plages de données..... 34
Tableau 5 : Estimation du T90 (temps en jours nécessaire à l'élimination de 90% des Escherichia coli dans l'eau) en nombre de jours sur les points de mesures existants : base Razlec-LERPC (approximation d'après Stanisière & al. 2007). Les cases rouges représentent le T90 par saison et par site étudié, le plus grand. Ainsi sur le site de Barrat le T90 est de 22.5 jours en moyenne en Hiver et en Automne. 54