

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

Vanessya LABORIE^{1,2}, François HISSEL³, Philippe SERGENT⁴

¹ CETMEF – 2, boulevard GAMBETTA BP 60039, 60321 COMPIEGNE Cedex - vanessya.laborie@developpement-durable.gouv.fr

² Laboratoire Saint-Venant (EDF R&D, CETMEF, École des Ponts ParisTech) - 6, quai WATIER, BP49, 78401 CHATOU

³ CETMEF – 2, boulevard GAMBETTA BP 60039, 60321 COMPIEGNE Cedex - francois.hissel@developpement-durable.gouv.fr

⁴ CETMEF – 2, boulevard GAMBETTA BP 60039, 60321 COMPIEGNE Cedex - philippe.sergent@developpement-durable.gouv.fr

Résumé

Dans le cadre du projet européen THESEUS, un modèle avec débordement de l'estuaire de la Gironde a été utilisé pour évaluer les niveaux d'eau du futur (sans prise en compte de rupture de digues et sans modification de l'altitude de celles-ci) sur 6 points de sortie de l'estuaire depuis Le Verdon jusqu'à Bordeaux

Les données d'entrée du modèle sont : les champs de vent à Royan et Mérignac, le signal global (marée + surcotes) au Verdon et les débits des 3 rivières (Garonne, Dordogne et Isle).

Un modèle simplifié de surcotes a été ajusté au Verdon en utilisant des mesures instantanées disponibles pour 10 événements et les champs de vent et de pression du CLM/SGA, de telle sorte que le signal global (marée+surcotes) au Verdon obtenu présente les mêmes quantiles extrêmes que les mesures marégraphiques sur ce même point de sortie pour la période passée [1960 ; 2000].

Ainsi alimenté, le modèle a été utilisé pour étudier l'évolution des quantiles de niveaux d'eau à l'horizon 2100 en utilisant l'hypothèse pessimiste d'élévation du niveau de la mer de l'ONERC (60 cm). L'analyse des surcotes du futur montre une décroissance des quantiles de surcotes au Verdon, en cohérence avec l'analyse des champs climatologiques fournis par le modèle CLM/SGA. L'analyse des niveaux d'eau du futur montre que l'augmentation des quantiles est égale à un pourcentage plus ou moins grand de celle du niveau de la mer et une décroissance de cet effet de l'aval vers l'amont de l'estuaire.

Les cartes d'inondation correspondant aux périodes de retour de 2 à 100 ans pour les périodes [1960 ; 1999], [2010 ; 2039], [2040 ; 2069] et [2070 ; 2099] dans la région de Bordeaux ont également été construites et les quantiles de niveaux d'eau dans le lit majeur de l'estuaire calculées. Compte-tenu des hypothèses faites, l'impact du changement climatique sur l'évolution de l'emprise des zones inondées dans l'estuaire de la Gironde et sur les quantiles de hauteur d'eau dans le lit majeur dépend principalement de l'élévation du niveau de la mer sur la période considérée. Des zones qui ne sont aujourd'hui pas inondées pour de faibles périodes de retour le deviennent à l'horizon 2100. L'influence des débits et des ruptures de digues devra être étudiée afin de préciser ces résultats.

Mots clés

Estuaire de la Gironde – Changement climatique – Niveaux d'eau extrêmes – Surcotes – Cartographie – Zones inondables – Méthode statistique du renouvellement

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet Européen THESEUS ("Innovative technologies for safer European coasts in a changing climate"), dont l'objectif est de mettre au point des structures de protection côtière innovantes dans un contexte de changement climatique, les niveaux d'eau extrêmes et l'évolution de l'emprise des champs d'expansion de crue à l'horizon 2100 ont été étudiés sur l'estuaire de la Gironde. Aucune rupture de digue, ni aucune modification dans leur élévation n'ont été prises en compte.

Les objectifs de cette étude sont de :

- ▲ calculer les niveaux d'eau sur l'estuaire de la Gironde et en particulier dans le lit majeur de l'estuaire en étudiant la période comprise entre 1960 et 2100 ;
- ▲ étudier l'influence du changement climatique associé à un scénario économique de pression anthropique et une hypothèse d'élévation du niveau moyen de la mer ;
- ▲ analyser l'évolution des niveaux d'eau moyens et extrêmes dans l'estuaire de la Gironde ;
- ▲ cartographier l'évolution de l'emprise des champs d'expansion de crue.

2. LOCALISATION DU SITE D'ÉTUDE ET DESCRIPTION DU MODÈLE

L'estuaire de la Gironde constitue le site de l'étude. Pour produire des cartes des niveaux d'eau sur chaque point de l'estuaire de la Gironde pour des périodes de retour de 2 à 100 ans à l'horizon 2100 et évaluer l'évolution des quantiles de niveaux d'eau dans le lit mineur et le lit majeur de l'estuaire à court, moyen et long termes par rapport à la période actuelle, un modèle numérique bidimensionnel et fondé sur les équations de Saint-Venant de l'estuaire de la Gironde a été utilisé (LABORIE & al., 2012). Ce modèle est aujourd'hui intégré au référentiel inondations de la Gironde. Il a permis de tester les impacts de nouveaux aménagements sur l'estuaire et s'appuie sur le logiciel Telemac 2D.

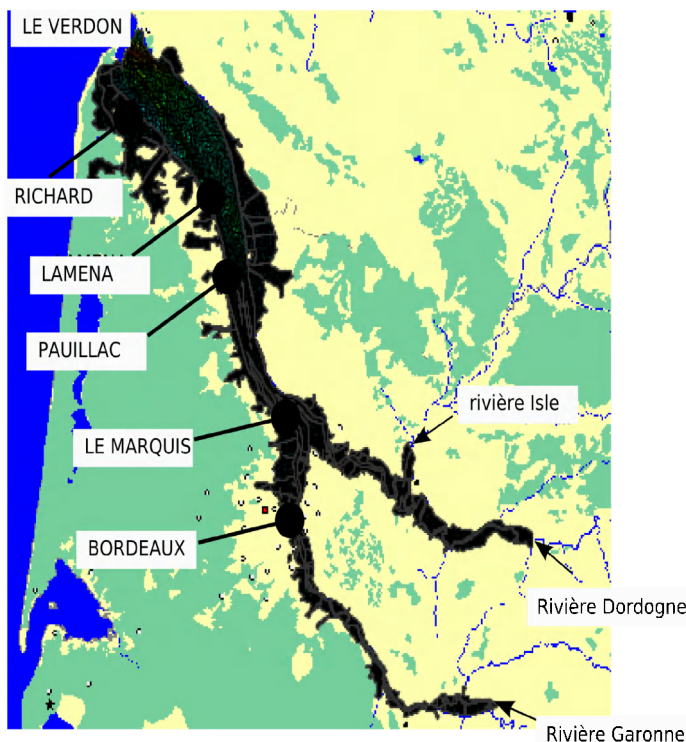


Figure 1: Localisation et emprise du modèle de l'estuaire de la Gironde

Le modèle couvre l'ensemble de l'estuaire depuis la Réole sur la Garonne et Pessac sur la Dordogne. Sa frontière maritime se situe à la Pointe du Verdon. A l'amont, il prend en compte les débits d'apport de l'Isle à Libourne au droit de sa confluence avec la Dordogne et s'étend sur l'Isle jusqu'en aval de sa confluence avec la Dronne.

Ce modèle bidimensionnel présente la particularité de prendre en compte les débordements du lit mineur de l'estuaire ou des quatre rivières (Dordogne, Garonne, Isle, Dronne) vers le lit majeur. Constitué de 21304 éléments, il comprend 13621 nœuds. Son emprise est représentée sur la Figure 1 ci-dessus. Il s'étend sur 115 km environ d'est en ouest.

3. DONNÉES ET PARAMÈTRES DE SIMULATION

Des données d'entrée ont été rassemblées afin d'alimenter le modèle entre 1960 et 2100.

3.1 Champs de vent et de pression et scénario climatique étudié

Les vents utilisés dans le cadre de cette étude sont fournis par le modèle climatologique européen CLM/SGA, développé par le Max Planck Institut (MPI). Une période de référence et un scénario de changement climatique ont été utilisés : C20 pour la période [1960 ; 2000] et A1B pour la période [2010 ; 2100].

Les champs de vent et de pression pour la période passée C20 et le scénario A1B sur la période [2000;2100] ont permis, d'une part, de générer la chronique des surcotes (reconstruite statistiquement) au Verdon et, d'autre part, après interpolation, d'alimenter le modèle pour ce qui concerne les vents à Royan et à Mérignac tant en termes d'intensité que de direction.

3.2 Élévation du niveau de la mer

Le scénario de changement climatique décrit dans le paragraphe précédent a été associé à l'hypothèse pessimiste d'élévation du niveau de la mer (60 cm en 2100) de l' Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC, 2010).

3.3 Débits fluviaux sur l'Isle, la Garonne et la Dordogne

Les débits de la Garonne et de la Dordogne sur la partie amont du modèle ont été fournis par le Grand Port Maritime de Bordeaux pour la période [1960 ; 2009]. Ils ont été recalés de telle sorte que, pour la période passée [1960-2000], les quantiles de niveaux d'eau au Marquis et à Bordeaux (tous deux sous influence fluviale) soient cohérents avec la bibliographie sur le sujet (en particulier, (SOGREAH, 2010)). Pour la période [2010 ; 2100], les chroniques passées des débits ainsi recalés ont été rejouées, sans prendre en compte les effets du changement climatique. En ce qui concerne l'Isle, ce sont les débits mensuels issus de la banque HYDRO qui ont alimenté le modèle.

3.4 Signal global imposé à la frontière maritime du modèle – modèle simplifié de surcotes

Le signal global à la frontière maritime du Verdon est la somme de deux composantes : la marée prédite obtenue grâce au code de calcul PREDIT© (développé par le SHOM) et la surcote météorologique, obtenue à l'aide du modèle empirique de surcotes construit et validé dans le cadre de cette étude et décrit ci-dessous.

3.4.1 Construction d'un modèle simplifié de surcotes/décotes au Verdon

En utilisant les champs de vent et de pression du modèle climatologique CLM/SGA moyennés sur l'emprise du modèle et la relation de régression suivante :

$$\delta = a_{CLM} * v_{moy}^2 + b_{CLM} * p_{moy} + c_{CLM} \quad (1)$$

où :

δ = surcote instantanée maximale sur 3 h (m) ;

v_{moy} = norme moyenne de la vitesse du vent sur l'ensemble de l'estuaire de la Gironde ;

p_{moy} = pression moyenne sur l'estuaire de la Gironde ;

a_{CLM} , b_{CLM} and c_{CLM} = coefficients obtenus par ajustement sur les quantiles statistiques de niveaux d'eau au Verdon ($a_{CLM} = 3,32 \times 10^{-3}$; $b_{CLM} = -9,95 \times 10^{-5}$; $c_{CLM} = 9,89$),

le signal global (marée + surcote) injecté dans le modèle numérique au Verdon sur la période [1960 ; 2000] vérifie la même distribution statistique que celle obtenue en utilisant les mesures marégraphiques et décrite dans (SOGREAH, 2010).

Sur la période [1960 ; 2100] le signal de surcotes au Verdon a été produit en utilisant la relation (1) qui relie les champs de vent et de pression du modèle climatologique européen CLM/SGA à la surcote météorologique au Verdon. Le signal global composé de la marée prédite et de la surcote est alors imposé sur la frontière maritime du modèle numérique de l'estuaire de la Gironde.

3.4.2 Validation du modèle simplifié de surcotes/décotes au Verdon

Le signal de surcotes/décotes obtenu à l'aide de la relation (1) et des champs de vent et de pression moyens issus du modèle climatologique européen CLM/SGA sur la période [1960 ; 2000] a été analysé statistiquement, afin de vérifier la cohérence des résultats avec des analyses statistiques réalisées sur des chroniques de surcotes de pleine-mer extraites de mesures marégraphiques (SOGREAH, 2010).

Ainsi, les surcotes de pleine-mer ont été extraites de l'échantillon précédent, puis analysées par une méthode du renouvellement (seuil de 50 cm). Les résultats sont représentés sur la Figure 2 ci-dessous, ainsi que les valeurs de référence correspondant aux résultats de deux études sur les surcotes de pleine-mer menées par SOGREAH en 1992 et le CETMEF en 2000 respectivement pour les périodes [1974 ; 1989] et [1980 ; 1993].

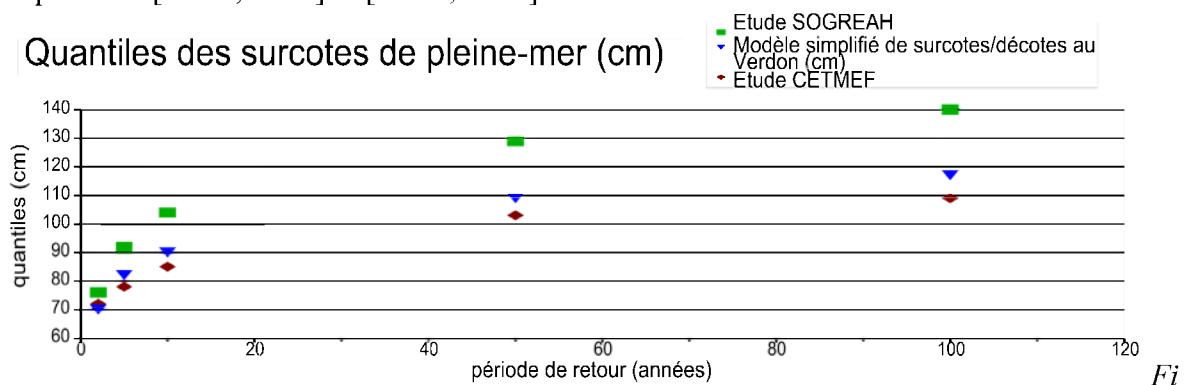


Figure 2: quantiles de surcotes au Verdon pour la période 1960-2000

La Figure 2 montre que le modèle simplifié de surcotes/décotes au Verdon fondé sur une relation entre champs de pression et de vents moyens sur l'estuaire de la Gironde issus du modèle

CLM/SGA et la surcote/décote maximale sur 3 heures fournit une distribution des quantiles en accord avec les deux études de référence.

4. ÉTUDE DES SURCOTES EXTRÊMES DU FUTUR

Ce modèle simplifié a été utilisé pour étudier l'évolution par rapport aux conditions actuelles de la distribution statistique des surcotes/décotes au Verdon pour les 3 périodes : [2010 ; 2039], [2040 ; 2069] et [2070 ; 2099]. La même méthode d'analyse statistique que pour l'étude de la période [1960 ; 2000] a été utilisée (méthode du renouvellement avec seuil de 50 cm et ajustement à une loi de Gumbel pour la détermination des quantiles).

Tableau 1

Quantiles de surcotes au Verdon pour la période passée et évolution à l'horizon 2100 en utilisant le modèle simplifié de surcotes/décotes et nombre d'événements

	Quantiles de surcotes au Verdon (cm)	Différence entre les quantiles de surcotes au Verdon (cm) pour la période ci-dessous et ceux de [1960 ; 2000]		
Période de retour (années)	Période [1960 ; 2000] de référence	Période [2010 ; 2039]	Période [2040 ; 2069]	Période [2070 ; 2100]
2	70	-8	-16	-11
5	82	-9	-11	-9
10	90	-9	-10	-9
50	109	-11	-6	-8
100	117	-12	-5	-8
Nombre d'événements	46	35	22	30

Les normes des champs de vitesses fournis par le modèle CLM/SGA du MPI décroissent ou subissent une évolution peu prononcée d'ici 2100 sur la plus grande partie de la façade méditerranéenne et sur le golfe de Gascogne (IMGW & al, 2011). Les surcotes météorologiques issues du modèle simplifié sont corrélées aux vitesses du vent, il n'est ainsi pas étonnant que les quantiles de surcotes au Verdon suivent cette même tendance (décroissante) à l'horizon 2100, comme le montre le Tableau 1 (LABORIE & al, 2012). En conséquence, l'élévation du niveau de la mer est directement responsable de l'augmentation des quantiles de niveaux d'eau à l'intérieur de l'estuaire de la Gironde et, en particulier, à sa frontière maritime, située au Verdon.

Les résultats obtenus pour la prédiction des surcotes du futur seront affinés par un modèle numérique de surcotes.

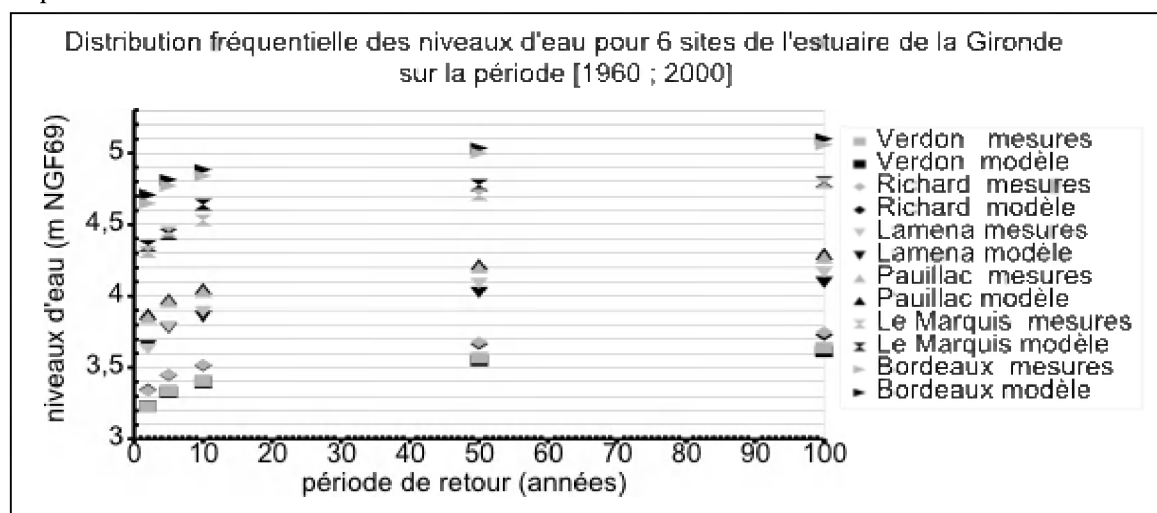
5. ÉTUDE DES NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES DU FUTUR

Le modèle de débordement de l'estuaire de la Gironde ainsi alimenté a été utilisé pour étudier l'impact du changement climatique lié au scénario A1B et à un scénario pessimiste d'élévation du niveau de la mer sur les niveaux d'eau et leurs évolutions pour les trois périodes futures : [2010 ; 2039], [2040 ; 2069] et [2070 ; 2099].

Les niveaux d'eau du futur ont été étudiés au droit de 6 points de sortie de l'estuaire de la Gironde pour lesquels la distribution statistique des quantiles extrêmes est répertoriée dans (SOGREAH, 2010) : Le Verdon, Richard, Lamena, Pauillac, Le Marquis et Bordeaux.

5.1 Validation du modèle de l'estuaire de la Gironde sur la période [1960 ; 2000]

Pour chaque point de sortie du modèle, une analyse statistique des résultats du modèle numérique par méthode du renouvellement au-dessus d'un seuil et un ajustement à une loi de Gumbel ont été réalisés. Le seuil choisi pour chaque point de sortie correspond à celui indiqué dans (SOGREAH, 2010) dans le cadre de l'étude similaire menée sur les mesures marégraphiques aux points de sortie cités plus haut.



Fig

ure 3: Distribution fréquentielle des niveaux d'eau pour 6 sites de l'estuaire de la Gironde sur la période [1960 ; 2000]

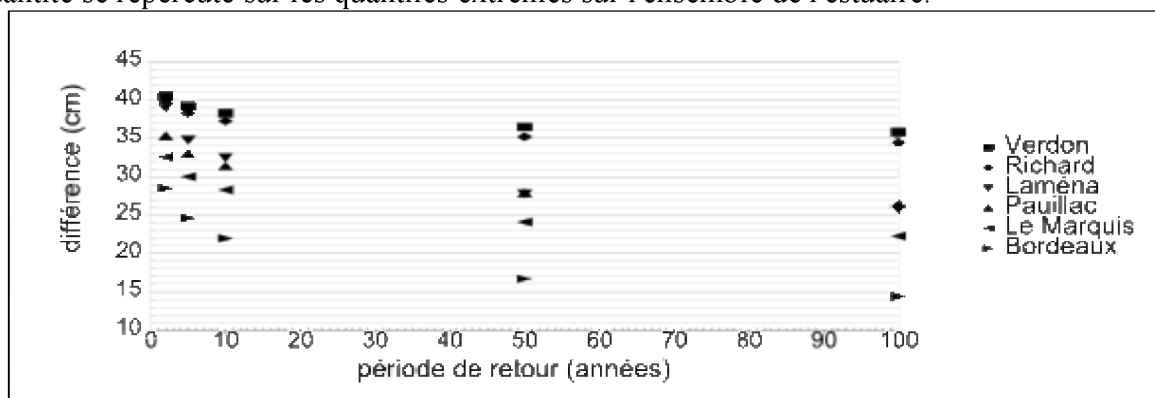
Comme le montre la Figure 3 ci-dessus, l'étude de la période actuelle [1960 ; 2000] montre une bonne adéquation entre la distribution statistique issue de la méthode du renouvellement obtenue pour les résultats du modèle numérique et les résultats statistiques issus des mesures marégraphiques sur les différents points de sortie. Ceci valide la méthodologie et les données de forçage du modèle.

5.2 Niveaux d'eau du futur à l'horizon 2100 sur 6 points de sortie particuliers de l'estuaire de la Gironde.

Les résultats statistiques fondés sur la même méthode pour la période [2010 ; 2039] montrent une augmentation légère des quantiles de niveaux d'eau (entre 4 et 8 cm pour des périodes de retour de 2 à 10 ans). Pour les périodes de retour de 50 et 100 ans, l'augmentation est comprise entre 5 et 8 cm à l'amont de Bordeaux (sauf pour Laména) et n'est pas significative sur Bordeaux (1 ou 2 cm). Il faut noter que l'élévation moyenne du niveau moyen de la mer pendant cette période égale 9 cm. Ainsi, sauf pour Laména et Bordeaux pour des périodes de retour de 50 ou 100 ans, compte-tenu du modèle simplifié des surcotes/décotes au Verdon et des champs de vent et de pression fournis par le CLM/SGA pour le scénario A1B, 43 à 93 % de la surélévation du niveau de la mer liée au

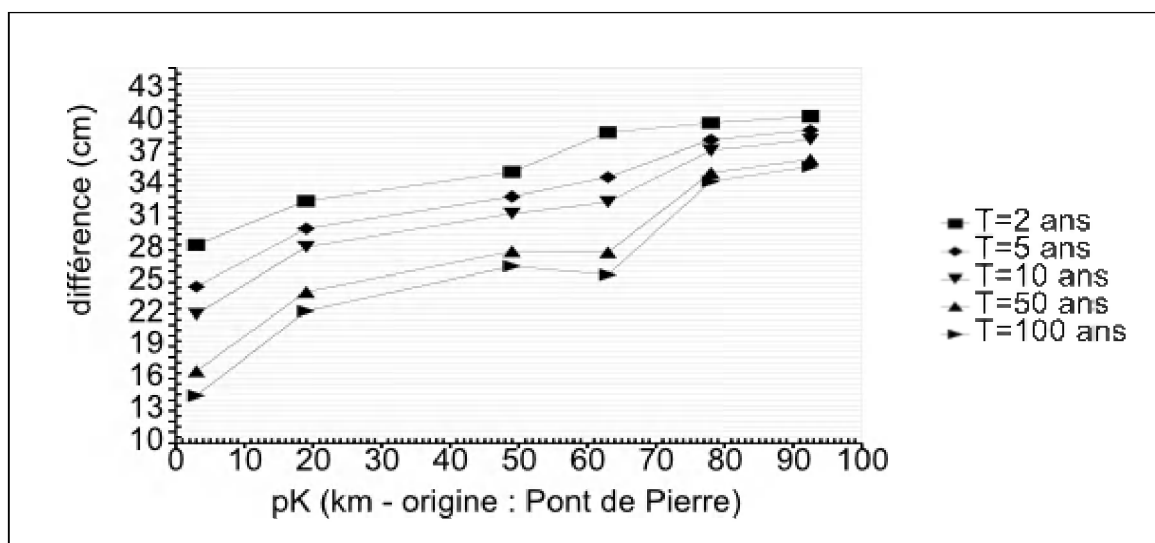
changement climatique se répercute sur les quantiles de niveaux d'eau pour la période [2010 ; 2039].

Pour la période [2040 ; 2069], ces mêmes quantiles augmentent d'une vingtaine de cm sur l'ensemble des sites pour toutes les périodes de retour considérées. Ainsi, comme l'élévation moyenne du niveau de la mer sur cette période égale 29 cm, il apparaît que 60 à 80 % de cette quantité se répercute sur les quantiles extrêmes sur l'ensemble de l'estuaire.



Fig

ure 4: Comparaison de la distribution fréquentielle des niveaux d'eau pour différentes périodes de retour sur 6 sites de l'estuaire de la Gironde entre les périodes [2070 ; 2099] et la période passée



Fig

ure 5: différence entre les quantiles de la période [2070 ; 2099] et ceux de la période passée de l'amont vers l'aval de l'estuaire de la Gironde

Pour la période [2070 ; 2099], les résultats sont représentés sur la Figure 4 ci-dessus. Trois zones homogènes se distinguent de part l'impact du changement climatique sur les quantiles obtenus. En remontant vers l'intérieur de l'estuaire, on observe que : i) de la pointe du Verdon à Richard, les quantiles augmentent d'environ 38 cm en moyenne (minimum pour Richard de 34 cm pour une période de retour de 100 ans et maximum pour le Verdon pour une période de retour de 2 ans) ; ii) de Laména au Marquis, les quantiles augmentent en moyenne de 30 cm avec un écart-type de 5 cm environ ; iii) à Bordeaux, les valeurs extrêmes augmentent de 20 à 30 cm pour des périodes de retour de 2 à 10 ans et d'une quinzaine de cm pour des périodes de retour de 50 et 100 ans.

Pour cette période, on observe que l'impact du changement climatique diminue depuis le Verdon vers Bordeaux (Figure 5). Cette tendance est moins sensible pour les autres périodes étudiées, en particulier sur la période [2010 ; 2039]. Cet amortissement peut être lié à l'écroulement des niveaux d'eau extrêmes par débordement dans le lit majeur.

Pour cette dernière période, l'élévation moyenne du niveau de la mer est de 49 cm, ainsi, sur la partie maritime (de Pauillac au Verdon), de 50 à 80 % de cette quantité se répercute sur les quantiles pour toutes les périodes de retour. En amont de la confluence de la Dordogne avec la Garonne, de 40 à 66 % sont répercutés. Enfin, sur Bordeaux, entre 45 % et 60 % se transforment en augmentation des quantiles pour les périodes de retour de 2 à 10 ans, seulement 30 % pour les périodes de retour de 50 et 100 ans.

Au vu de ces résultats, il apparaît, d'une part, que l'impact du changement climatique pour chacune des périodes considérées est lié à l'élévation du niveau de la mer et, d'autre part, qu'il est atténué par la décroissance des tempêtes et de leurs intensités dont l'influence sur les surcotes est directe. Les effets du scénario A1B obtenus ici sont donc des résultantes du modèle climatologique CLM/SGA pour le golfe de Gascogne.

6. CARTOGRAPHIE DES CARTES D'INONDATION À L'HORIZON 2100

6.1 Calcul des quantiles en chaque point de l'estuaire de la Gironde

Une méthode du renouvellement a été utilisée en chaque nœud du maillage du modèle numérique de l'estuaire de la Gironde pour obtenir les quantiles correspondant à des périodes de retour de 1 à 100 ans.

Pour des périodes de retour inférieures à 30 ans (2, 5, 10 et 20 ans), les quantiles statistiques ont été utilisés directement. Pour des périodes de retour supérieures à 50 ans (50 et 100 ans), un ajustement à une loi de Gumbel a été utilisé.

6.2 Impact du changement climatique sur les zones inondables de l'estuaire de la Gironde dans la région de Bordeaux

Du fait de l'étendue du secteur d'étude, les hauteurs d'eau correspondant aux périodes de retour de 2 à 100 ans ont été cartographiées sur 3 sites particuliers de l'estuaire situés : à la frontière maritime de l'estuaire autour du Verdon ; à la confluence entre la Dordogne et la Garonne, au niveau de la presqu'île d'Ambès ; autour de Bordeaux (LABORIE & al, 2012). Seule l'évolution à Bordeaux est présentée ici.

Dans la région de Bordeaux, les quantiles de hauteurs d'eau correspondant à une période de retour de 100 ans sont représentés sur la figure 6.

Dans cette zone, les résultats sont fortement influencés par la diminution du débit d'apport de la Garonne (au niveau de la Réole) tel que choisi dans le modèle et il est possible que les quantiles de hauteur d'eau sur la rive droite du méandre de la Garonne, au droit de Bordeaux, soient sous-estimés par notre méthode et nos hypothèses.

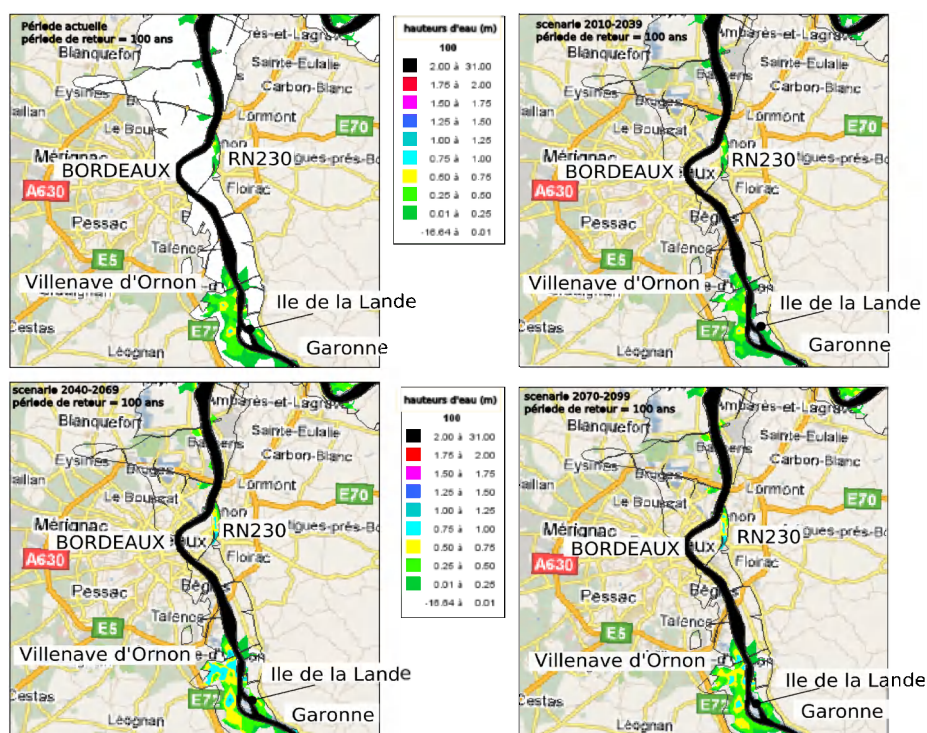


Figure 6: Quantiles de hauteur d'eau simulés pour une période de retour de 100 ans dans la région de Bordeaux pour la période actuelle et à court, moyen et long termes.

A l'horizon 2100, le lit majeur de la Garonne n'évolue pas significativement. Au droit de Bordeaux, les quantiles de hauteur d'eau augmentent cependant de 80 cm le long de la route nationale RN230 pour une période de retour de 100 ans. Pour une période de retour de 2 ans, ce secteur devient inondable à court terme. Les quantiles de hauteurs d'eau augmentent d'environ 50 cm à l'horizon 2100. Les zones encaissées se remplissent un peu plus du fait de l'impact de l'élévation du niveau de la mer dans le lit mineur (LABORIE & al, 2012) et concentrent ainsi les masses d'eau supplémentaires lors des événements débordants.

Sur la rive gauche de la Garonne, la région située au sud immédiat de Villenave d'Ornon subit également un fort impact du changement climatique. En effet, le champ d'expansion des crues s'étend pour une période de retour de 2 ans et les quantiles de hauteur d'eau augmentent d'environ 25 cm à l'horizon 2100. L'augmentation des quantiles est plus prononcée à moyen terme et il y a lieu de s'interroger sur le rôle que jouent les chroniques de débits utilisées dans ces résultats. La rive droite de la Garonne est également particulièrement impactée dans la périphérie de l'Ile de la Lande.

7. CONCLUSIONS

Un modèle simplifié de surcotes/décotes au Verdon a été construit sur l'estuaire de la Gironde en fonction des champs de vent et de pression moyens sur l'estuaire de la Gironde. Injectée dans le modèle numérique au Verdon, cette chronique de surcotes/décotes permet de reproduire une distribution fréquentielle des niveaux d'eau cohérente avec la distribution fréquentielle issue des mesures sur 6 sites de l'estuaire. L'analyse statistique des chroniques de surcotes/décotes obtenues

au Verdon montre une décroissance des quantiles extrêmes pour les 3 périodes considérées. A l'horizon 2100, l'augmentation des quantiles des niveaux d'eau est alors une conséquence de la surélévation du niveau de la mer. Ainsi, la partie qui se répercute se situe pour des périodes de retour inférieures à 10 ans autour de 7 cm pour la période [2010 ; 2039], autour de 20 cm pour la période [2040 ; 2069] et entre 20 et 40 cm pour la période [2070 ; 2099]. Un amortissement de l'impact de l'augmentation du niveau de la mer a été constaté depuis l'aval de l'estuaire vers l'amont pour cette dernière période. Concernant l'évolution des champs d'expansion des crues de l'estuaire de la Gironde pour la période actuelle et à court, moyen et long termes, à l'horizon 2100, l'impact du scénario de changement climatique étudié est important et des régions actuellement non situées en zone inondable pour une période de retour de 2 ans le deviennent. Ainsi, des changements significatifs sont observés au droit de Bordeaux, en rive droite le long de la RN230, et sur la rive gauche au sud de Villenave d'Ornon.

Compte-tenu de l'influence à la fois du modèle climatologique qui alimente le modèle hydraulique et des chroniques de surcotes/décotes injectées au Verdon, il apparaît également nécessaire dans l'avenir de tester la sensibilité de ces résultats en utilisant, d'une part, d'autres données climatologiques (celles de METEO-FRANCE par exemple) et un modèle plus robuste de surcotes/décotes sur la façade Atlantique. Pour affiner cette analyse, les effets liés aux chroniques de débits utilisées et aux ruptures de digues doivent être étudiés.

8. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à adresser leurs remerciements au Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud-Ouest, aux Services de Prévision des Crues Littoral Atlantique et Dordogne, à SOGREAH et à METEO-FRANCE.

Cette étude a lieu dans le cadre du projet européen THESEUS.

9. REFERENCES ET CITATIONS

IMGW, IBW PAN, MHI, UC, IORAS, CETMEF, UoP, CORILA, IO-BAS, BRGM, K.U.LEUVEN (2011), Database including recent characteristics of regional and local climate variations and extreme events associated with climate change, THESEUS Internal Deliverable 1.11, 31 p.

LABORIE V., HISSEL F., SERGENT P. (2012). *Évaluation des niveaux d'eau extrêmes du futur sur l'estuaire de la Gironde*. Colloque SHF « événements extrêmes fluviaux et maritimes », Paris, 8 p.

LABORIE V., HISSEL F., SERGENT P. (2012). *Évolution de l'emprise des zones inondables de l'estuaire de la Gironde sous l'influence du changement climatique*. Colloque Génie Civil Génie Côtier, Cherbourg, 8 p.

ONERC -Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique- (2010). *Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles. Synthèse n°2*, 6 p.

SOGREAH (2010). *Référentiel de protection contre les inondations le long de l'estuaire de la Gironde, de la Garonne et de la Dordogne, Rapport d'étape 4 : définition des événements de référence, Version I*. Rapport n° 4310990 –1 74 0638, 199 p.