

# ÉVALUATION DES NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES DU FUTUR SUR L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

## *Evaluation of future extreme water levels in Gironde Estuary*

Vanessya LABORIE<sup>1,2</sup>, François HISSEL<sup>3</sup>

Philippe SERGENT<sup>4</sup>

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

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

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

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

*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, les débits à la Réole pour la Garonne, à Pessac pour la Dordogne et à Libourne pour l'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.*

*An overflowing model of Gironde Estuary has been used to evaluate future surge levels at Le Verdon and future water levels at 6 specific sites of the estuary : le Verdon, Richard, Laména, Pauillac, Le Marquis and Bordeaux. In this study, no breaching and no modification in the elevation of the dike was considered. It has been fed by several data sources : wind fields at Royan and Mérignac interpolated from the grid of the European Climatologic Model CLM/SGA, the global signal (tide + surge level) at Le Verdon, the discharges of the Garonne (at La Réole), of the Dordogne (at Pessac) and of the river Isle (at Libourne). A simplified mathematical model of surge levels has been adjusted at Le Verdon with 10 surge storms and by using wind and pressure fields given by the European Climatologic Model CLM/SGA. This adjustment was led so that the statistical analysis of the global signal at Le Verdon gives the same quantiles as the same analysis driven on marigraphic measures for the period [1960 ; 2000]. The model was then used to study the evolution of extreme water levels towards 2100. The assumption used for sea level rise was the pessimist one of the ONERC : 60 cm in 2100. The analysis of future surge levels at Le Verdon shows a decrease in surge levels quantiles which is coherent with the analysis of climatologic fields. The analysis of future water levels shows that the increase in mean water levels quantiles represents only a part of sea level rise in Gironde Estuary. Moreover this effect seems to decrease from the maritime limit of the model to the upstream of Gironde Estuary.*

## I 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 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

## II LOCALISATION DU SITE D'ÉTUDE ET DESCRIPTION DU MODÈLE

L'estuaire de la Gironde constitue le site de l'étude. Un modèle bidimensionnel fondé sur les équations de Saint-Venant et la méthode des éléments finis a été utilisé. Le SMIDDEST et l'État ont commandité le développement de ce modèle hydraulique de l'estuaire de la Gironde dont l'objectif est principalement l'évaluation des impacts de la construction de nouveaux aménagements, tels que des épis, des digues ou des champs de débordement. 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.

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-dessous. Il s'étend sur 115 km environ d'est en ouest.

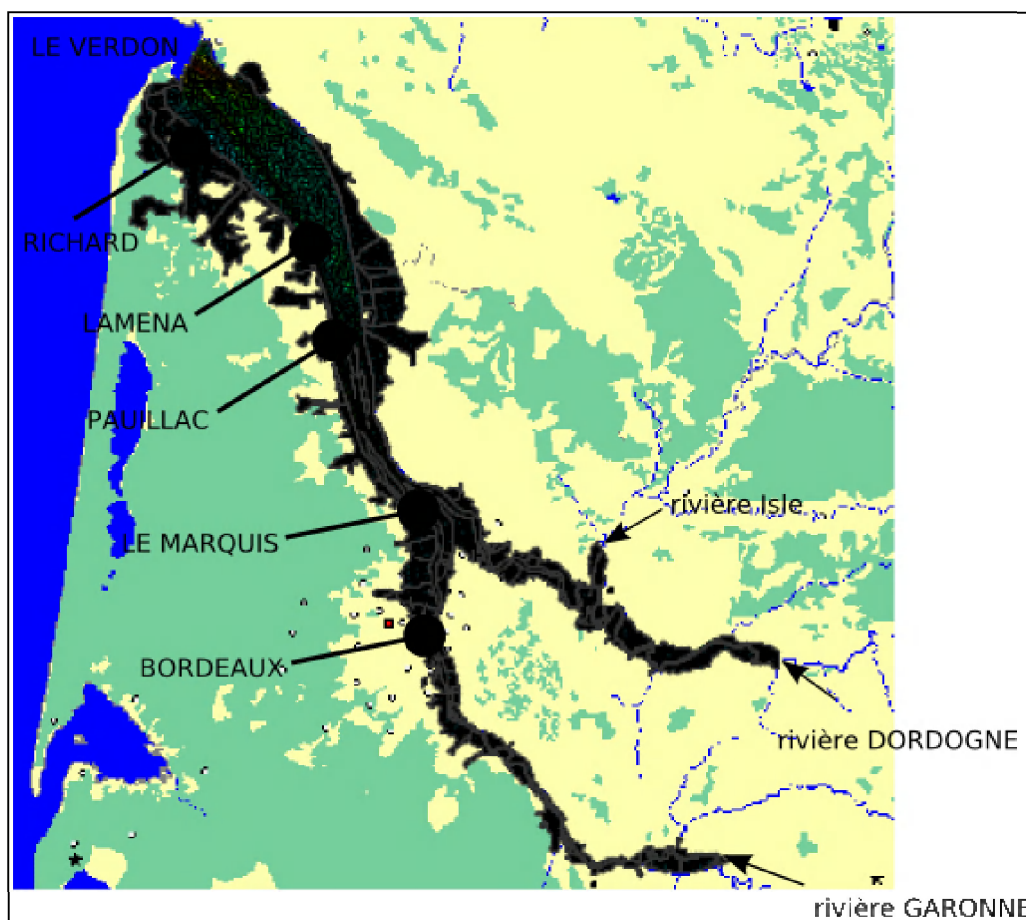


Figure 1: Localisation et emprise du modèle de l'estuaire de la Gironde

## III DONNÉES ET PARAMÈTRES DE SIMULATION

Des données d'entrée ont été rassemblées afin d'alimenter le modèle entre 1960 et 2100 : les champs de vent à Royan et Mérignac, le signal de marée et les débits des rivières Dordogne, Isle, Dronne et Garonne pour la période [1960 ; 2009]. Aucune hypothèse liée au changement climatique n'a été considérée pour les débits fluviaux. Ils sont issus des chroniques journalières de débits sur la Garonne et la Dordogne sur 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 et la Dronne, ce sont les débits mensuels issus de la banque HYDRO qui ont alimenté le modèle.

### **III.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, lui-même forcé par le modèle global ECHAM5. Un scénario de changement climatique et une période de contrôle ont été utilisés : C20 pour la période [1960 ; 2000] et A1B pour la période [2001 ; 2100].

Le scénario A1B de l'IPCC considéré correspond à un modèle économique d'évolution de la pression anthropique entre 2000 et 2100 relié à la concentration en CO<sub>2</sub> mesurée dans l'atmosphère. Le scénario A1B considéré ici fait partie d'un canevas et d'une famille décrivant un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Concernant les directions possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique, le scénario A1B décrit un équilibre entre les sources (où "équilibre" signifie que l'on ne s'appuie pas excessivement sur une source d'énergie particulière, en supposant que des taux d'amélioration similaires s'appliquent à toutes les technologies de l'approvisionnement énergétique et des utilisations finales).

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.

### **III.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'ONERC. L'ONERC recommande de prendre en compte la même élévation du niveau de la mer dans les projets d'aménagement nationaux indépendamment du scénario de changement climatique considéré. Il propose 3 hypothèses qualifiées d'optimiste, de pessimiste et d'« extrême ». En utilisant une fonction d'interpolation parabolique sur la période [2010 ; 2100] associée à l'élévation cible de 60 cm pour 2100, il est possible de quantifier pour chaque année comprise entre 2010 et 2100 l'élévation correspondante du niveau de la mer.

### **III.3 Signal global imposé à la frontière maritime du modèle – modèle simplifié de surcotes**

La frontière maritime du modèle utilisé est située au niveau de la Pointe de la Grave – Le Verdon. En ce point de sortie du modèle, le signal global imposé est composé de la marée prédite et d'une surcote météorologique instantanée.

Le signal de marée au Verdon a été obtenu sur la période [1960 ; 2100] à l'aide du logiciel PREDIT© du SHOM.

#### **III.3.1 Construction d'un modèle simplifié de surcotes/décotes au Verdon**

Un modèle simplifié de surcote météorologique maximale sur 3 heures au Verdon a été obtenu en deux temps :

1. une analyse des surcotes météorologiques instantanées pour 10 événements significatifs sur l'estuaire de la Gironde s'étant produit au cours des années 1981, 1988, 1995, 1996, 1998, 1999, 2003, 2004 ou 2006 a été faite. Un ajustement aux moindres carrés ordinaire de la surcote maximale sur une fenêtre de 3 heures a ensuite été réalisé sur les champs de vent et de pression correspondants issus du modèle climatologique ALADIN de METEO-FRANCE. Un tel ajustement ne permet pas d'obtenir les surcotes météorologiques maximales extrêmes, mesurées puisque, dans ce cas, la valeur maximale de surcote sur 3 heures calculée par cet ajustement est inférieure à 1 m, quand celle mesurée avoisine les 1,60 m.

2. Les coefficients de cet ajustement aux moindres carrés des surcotes météorologiques maximales sur 3 heures issus des mesures marégraphiques au Verdon ont ensuite été recalés l'un après l'autre en utilisant les champs de vent  $v_{\text{moy}}$  et de pression  $p_{\text{moy}}$  moyens sur l'estuaire issus du modèle climatologique européen CLM/SGA de telle sorte que la distribution statistique du signal global (marée + surcotes) obtenu au Verdon

sur la période [1960;2000] soit cohérente avec celle issue de l'analyse statistique des mesures marégraphiques au Verdon.

Les quantiles extrêmes répertoriés dans [SOGREAH ; 2010] et fondés sur l'analyse statistique des mesures marégraphiques au Verdon par méthode du renouvellement au-dessus d'un seuil de 3,08 m avec ajustement statistique à une loi de Gumbel sont indiqués dans le Tableau 1 ci-dessous.

Période de retour (ans)	2	5	10	50	100
Quantile (m NGF 69) au Verdon (mesures marégraphiques)	3,23	3,34	3,41	3,57	3,64
<i>(marée PREDIT + surcotes obtenues par ajustement sur les données du CLM/SGA)</i>	<i>(3,23)</i>	<i>(3,33)</i>	<i>(3,41)</i>	<i>(3,57)</i>	<i>(3,64)</i>

Tableau 1: quantiles extrêmes au Verdon obtenus par analyse statistique des mesures marégraphiques ou en utilisant un signal global où les surcotes sont obtenues par un ajustement sur les champs climatologiques du CLM/SGA.

La relation (1) suivante a été utilisée :

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

où  $\delta$  indique la surcote/décote au Verdon,  $v_{moy}$  indique la valeur moyenne du vent sur l'estuaire de la Gironde,  $p_{moy}$  indique la pression moyenne sur l'estuaire de la Gironde,  $a_{CLM}$ ,  $b_{CLM}$  et  $c_{CLM}$  sont les coefficients de l'ajustement calés sur les quantiles statistiques du signal global au Verdon (avec :  $a_{CLM} = 0,0025502$  ;  $b_{CLM} = -0,0000978$  ;  $c_{CLM} = 9.8930925$ ).

Les quantiles du signal global obtenu au Verdon en utilisant la relation (1) pour ce qui concerne le calcul des surcotes maximales sur 3 heures sont indiquées dans le Tableau 1 ci-dessus. Le modèle simplifié de surcotes/décotes météorologiques au Verdon permet donc d'alimenter le modèle de l'estuaire de la Gironde avec un signal dont l'analyse statistique par méthode du renouvellement et ajustement de Gumbel aboutit à des quantiles pour des périodes de retour allant de 2 à 100 ans sensiblement égaux à ceux obtenus par la même méthode appliquée aux mesures marégraphiques au Verdon.

### III.3.2 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 indiqués dans le Tableau 3 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].

	Surcote de pleine-mer (cm)		Période [1960 ; 2000]
Période de retour (années)	Étude SOGREAH	Étude CETMEF	Modèle simplifié de surcotes/décotes au Verdon (cm)
2	76	72	70
5	92	78	82
10	104	85	90
50	129	103	109
100	140	109	117

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

Le Tableau 3 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.

## IV 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).

	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

Tableau 3: 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

Le Tableau 3 présente les résultats en termes de quantiles de surcote au Verdon pour la période de référence [1960 ; 2000] et l'évolution de ces quantiles pour les 3 périodes futures par rapport à la période passée. On constate que pour chacune des périodes futures, les quantiles diminuent : d'une dizaine de cm pour toutes les périodes de retour associées aux périodes futures [2010 ; 2039] et [2070 ; 2099] et de plus de 10 cm pour les périodes de retour comprises entre 2 et 10 ans pour la période future [2040 ; 2069].

Cette diminution des surcotes à l'horizon 2100 s'accompagne d'une baisse sensible (moins d'1 événement par an pour la période [2040 ; 2069]) et d'une légère baisse pour la période [2070 ; 2099]) du nombre de tempêtes présentant des surcotes atteignant ou dépassant les 50 cm.

L'analyse statistique des champs de vent sur la baie de Gascogne issus du modèle climatologique européen peut contribuer à expliquer ces résultats. En effet, l'analyse des champs de vent moyens à l'horizon 2030 et 2085 montre qu'ils décroissent sur l'ensemble de la façade méditerranéenne et sur le golfe de Gascogne. Concernant les champs de vent extrêmes, les conclusions sont les mêmes que pour les champs de vent moyens.

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

## V 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.

### V.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.

L'étude de la période actuelle [1960 ; 2000] a montré 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. Ainsi, pour les périodes de retour de 2 à 100 ans, l'erreur sur les quantiles n'excède pas 3 cm sur tous les points de sortie situés en amont du Marquis (excepté Laména pour les périodes de retour de 50 et 100 ans). A Bordeaux, l'erreur sur les

quantiles vaut 6 cm pour une période de retour de 2 ans et 4 cm pour les autres périodes de retour considérées, ce qui paraît acceptable. Ceci valide la méthodologie et les données de forçage du modèle.

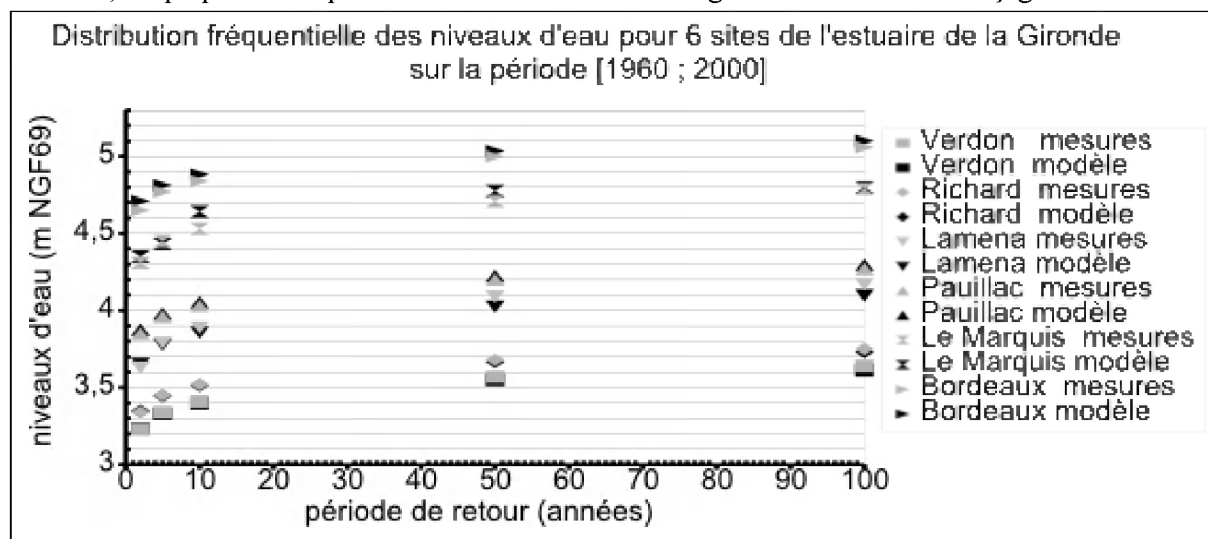


Figure 2: Distribution fréquentielle des niveaux d'eau pour 6 sites de l'estuaire de la Gironde sur la période [1960 ; 2000]

## V.2 Niveaux d'eau du futur à l'horizon 2100 sur 6 points de sortie particuliers de l'estuaire de la Gironde.

Comme le représente la Figure 3, 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].

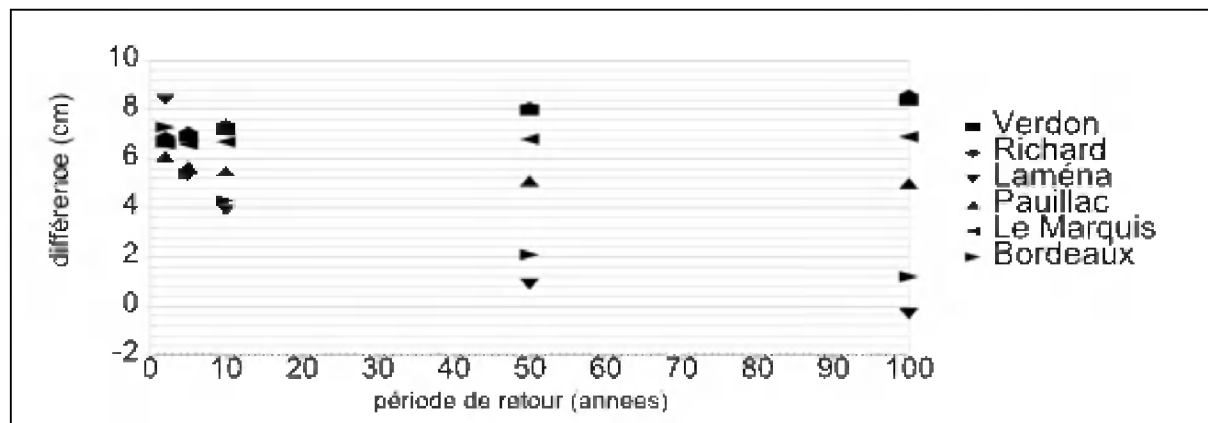


Figure 3: Comparaison de la distribution fréquentielle des niveaux d'eau pour différentes périodes de retour sur 6 sites de l'estuaire de la Gironde entre les périodes [2010 ; 2039] et la période passée

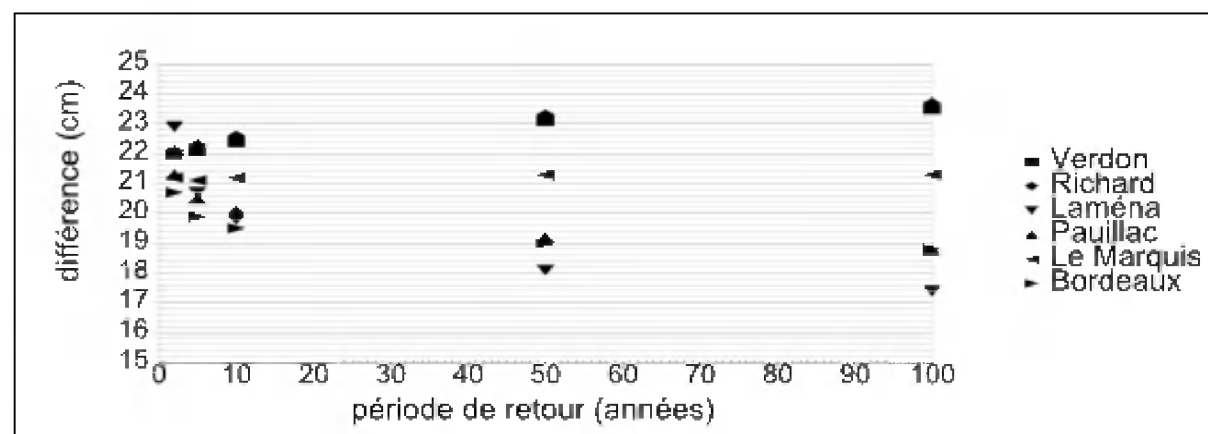


Figure 4: Comparaison de la distribution fréquentielle des niveaux d'eau pour différentes périodes de retour sur 6 sites de l'estuaire de la Gironde entre les périodes [2040 ; 2069] et la période passée

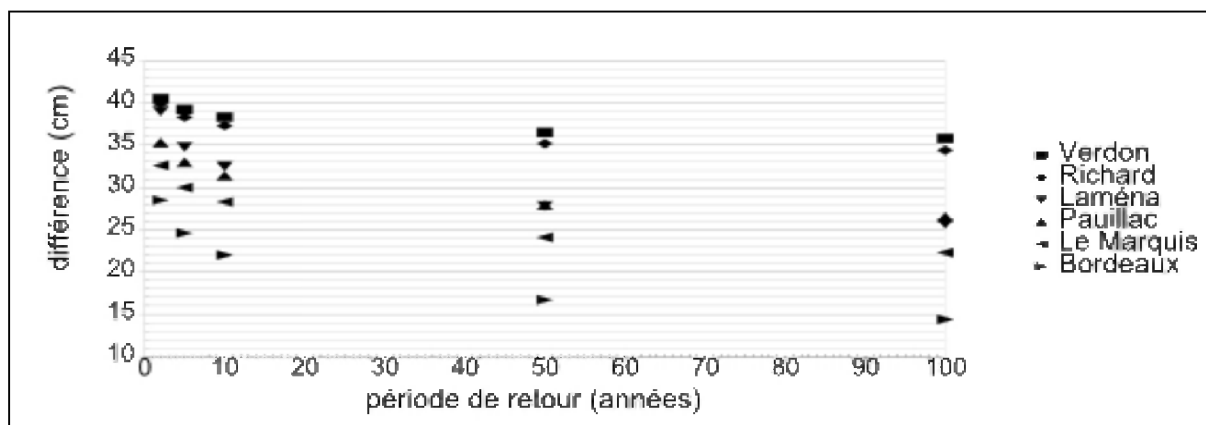


Figure 5: Comparaison de la distribution fréquentielle des niveaux d'eau pour différentes périodes de retour sur 6 sites de l'estuaire de la Gironde entre les périodes [2070 ; 2099] et la période passée

Pour la période [2040 ; 2069], en considérant la Figure 4 ci-dessus, on s'aperçoit que 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.

Pour la période [2070 ; 2099], les résultats sont représentés sur la Figure 5 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 6). 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.

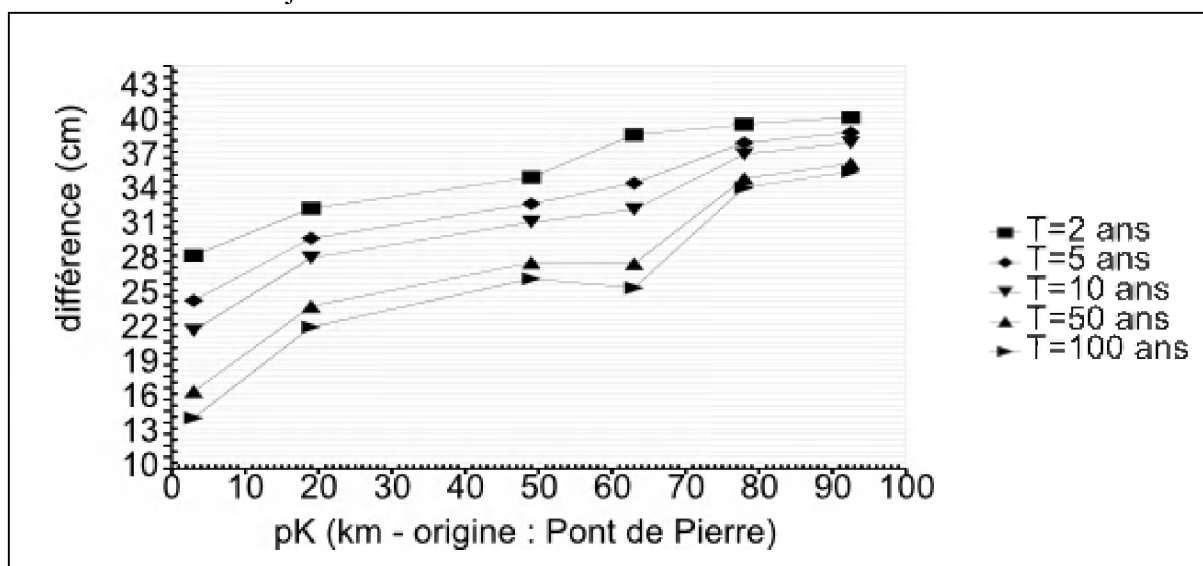


Figure 6: différence entre les quantiles de la période [2070 ; 2099] et ceux de la période passée de l'amont vers l'aval de l'estuaire de la Gironde

Pour 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.

## VI 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.

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.

## VII NOMENCLATURE

L'ONERC est l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique.

PREDIT est un logiciel de prédiction de la marée développé par le SHOM.

## VIII REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à adresser leurs remerciements au Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Bordeaux qui leur a fourni les informations et les données concernant le modèle RIG utilisé dans cette étude, aux Services de Prévision des Crues Littoral Atlantique et Dordogne pour les données de débits, à SOGREAH pour son aide dans le déploiement du modèle et à METEO-FRANCE pour les données de vent et de pression sur l'estuaire de la Gironde sur 10 événements.

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

## IX REFERENCES ET CITATIONS

Morellato D. (2011), Wave modeling in the Gironde Estuary from 1960 to 2100, in *Rapport THESEUS ID1.11 « Database including recent characteristics of regional and local climate variations and extreme events associated with climate change – Annex 2 »*. 215 pages

ONERC (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 pages

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 pages