

**Traitement et optimisation des conditions aux frontières
pour un modèle de circulation côtière
Application au cas de la Guyane**

Agnès Bourret

Sous la direction de Jean-Luc Devenon et Cristèle Chevalier

Résumé

Le plateau guyanais présente une configuration assez particulière et des caractéristiques hydrodynamiques originales. La côte guyanaise est relativement rectiligne avec une orientation générale Sud-Est/Nord-Ouest et la bathymétrie possède une très faible déclivité en direction du large, les isobathes étant quasiment parallèles à la côte. La circulation sur le plateau subit l'influence des alizés de Nord-Est ou de Sud-Est selon la saison et d'un fort courant côtier induit, en partie, par le courant Nord Brésil. L'influence tidale est également importante avec une marée semi-diurne à inégalité diurne, quasi-stationnaire avec des lignes d'iso-marnage parallèles à la côte. Enfin, l'Amazone induit sur le plateau une forte dessalure des eaux de surface, centrée à 40 km de la côte.

La configuration du plateau guyanais nous a conduits à considérer le domaine étudié comme étant limité par une frontière fermée, la côte, deux frontières ouvertes perpendiculaires à la côte, et une frontière ouverte au large parallèle à la côte. Les courants de marée sont ainsi parallèles aux deux frontières latérales alors que le courant côtier leur est perpendiculaire. Une telle géométrie du domaine vis-à-vis des phénomènes physiques étudiés nous a amenés à tester, dans des situations académiques, toute une série de conditions aux frontières afin de trouver la plus adaptée au domaine guyanais : conditions de radiation, condition de Neumann, méthode aux caractéristiques. La condition de Neumann et la méthode aux caractéristiques donnent des résultats beaucoup plus satisfaisants que les conditions de radiation plus perfectionnées. Les performances des conditions aux frontières varient notablement selon que la situation se rapproche ou non des hypothèses dont elles découlent. Le choix d'une condition aux frontières doit reposer non pas sur l'utilisation de conditions couramment utilisées et ayant fait leurs preuves dans d'autres configurations mais plutôt sur l'adéquation entre la physique des phénomènes hydrodynamiques considérés et la condition aux frontières mise en œuvre.

Cette étude des conditions aux frontières a ensuite débouché sur une étude de processus et en particulier une analyse de l'interaction entre marée et stratification. Au niveau du plateau guyanais, un très faible déphasage existe entre les courants de marée de fond et ceux de surface avec une oscillation verticale et un déplacement horizontal, perpendiculaire à la côte, de la masse d'eau dessalée. Des comparaisons avec des sites de même nature ont été réalisées, notamment avec l'embouchure du Rhin et la baie de Liverpool.

Enfin, la disponibilité de données aux frontières suite à une campagne en mer et leur utilisation dans le modèle numérique en vue de simulations plus réalistes de la circulation sur le plateau nous a amenés à envisager une assimilation de ces données pour une optimisation des conditions aux frontières. Cette assimilation a été réalisée en utilisant un filtre de Kalman. Son originalité repose sur le choix du vecteur d'état constitué des valeurs-frontières des variables d'état du modèle étudié. La taille du vecteur d'état, du vecteur d'observations et des matrices de covariance d'erreurs associées est ainsi considérablement réduite. Un tel filtre de Kalman est constitué, non plus de deux étapes (prédiction et analyse) mais de trois étapes, une étape supplémentaire de feed-back étant nécessaire pour forcer le modèle avec les valeurs-frontières après analyse. La réalisation théorique et la mise en œuvre d'un tel filtre appliqué au problème des conditions aux frontières ont été expérimentées d'abord avec un modèle bidimensionnel de diffusion, puis dans le modèle numérique utilisé pour la modélisation de la circulation sur le plateau. Cette étude a montré la faisabilité de cette nouvelle technique d'assimilation de données et sa mise en œuvre relativement aisée du fait de la faible taille du vecteur d'état.

Mots-Clés : Conditions aux frontières, Assimilation de données, Filtre de Kalman, Circulation côtière, Marée, Plateau guyanais.

Abstract

The French Guiana continental shelf presents a particular configuration and a conjunction of different hydrodynamic factors: strong coastal current flowing along the coast to the Northwest, high stratification due to the Amazon River with a weak salinity tongue located about 40km off the coast and a mixed tide with two daily low and high tides of different amplitudes by day. The particular topography and hydrodynamics lead us to consider the studied area as partly bounded by one southern coastal closed boundary, by two open cross-shore boundaries and one outer long-shore boundary. In this boundaries configuration, tidal currents are essentially parallel to the cross-shore boundaries whereas the coastal current flows perpendicularly to these ones.

The accurate modelling of all these phenomena needs the use of well-suited open boundary conditions (OBC), especially for passive boundaries. A large panel of OBC is implemented and tested: Neumann condition, Orlanski conditions, gravity wave conditions, Roed and Smedstad's condition, Raymond and Kuo's condition, characteristic methods. Experiments are conducted with the three-dimensional, primitive equation, code MOBEEHDYCS and are shared in two parts. First, OBC concerning only barotropic variables are tested in four different situations. Then, combinations of OBC are experimented in two three-dimensional cases. According to our results, the behaviour of OBC is directly influenced by the tidal circulation, which is tangential to the passive boundary under study. Characteristic method and Neumann condition give the best results for the barotropic mode whereas radiation conditions involve a phase lag of the tidal velocity component normal to the boundary.

This OBC study has continued with an analysis of the interaction between tide and stratification. The presence of a halocline involves a decrease of the vertical eddy viscosity coefficient and a decoupling between the movements of the surface layer and the bottom layer. On the French Guiana, there is a very low phase lag between surface and bottom tidal currents with a vertical oscillation of the halocline and a horizontal cross-shore migration of the weak salinity waters.

The availability of current data on the boundaries of the domain under study, acquired during a sea campaign, has focused our attention on their use in modelling, notably thanks to the data assimilation. Indeed, the boundary-variables affect highly the interior solution but a state vector containing these variables is of reduced size. This technique of data assimilation allows to adjust boundary-values between observations and numerical results. We have implemented a new Kalman filter, constituted of three parts: a part of forecasting, a part of analysis and a part of feed-back where the boundary state vector is used to force the model to calculate the interior solution. A first test has been conducted with a two-dimensional diffusion equation in order to analyse the behaviour of this filter in different situations. A second more complex test has been driven with a linear version of two-dimensional hydrodynamic code in case of a coastal current moving progressively into the domain. Tests use the principle of twin-experiments. This study has shown the feasibility of this new technique of data assimilation and the easy implementation and calculation thanks to the weak size of the state vectors.

Keywords: Boundary conditions, data assimilation, Kalman filter, coastal circulation, tide, French Guiana.