



Caractérisation de la houle de tempête à Loreto, Mexique

ROSALES-SIERRA Victor^(a), GARCIA-GOVEA M. Cristina^(b).

^(a)Docteur, Université de Caen, UMR 6143 CNRS Morphodynamique Continentale et Côtière, 24, Av des Tilleuls, 14 000 Caen, France, Téléphone +33 231565709, Fax : +33 231565709

E-mail : victor.rosales@hidraulica.org

^(b)Docteur, Instituto Mexicano del Petroleo, Eje Central Lazaro Cardenas No. 152, Col. San Bartolo Atepehuacan, Edificio 5, PB., cubiculo 022, CP 07730, Mexico D.F. Mexico,

Téléphone: +52 55 91 75 63 78, Fax: +52 55 91 75 64 29,

E-m/-*ail : mcgarcia@imp.mx

Résumé

Le but de cette étude est de mettre en évidence les limites des théories de la houle dans des zones protégées lors du passage d'un ouragan. Les mesures ont été réalisées à Loreto par la Fondation Nationale du Tourisme du Mexique « FONATUR », dans le cadre d'un projet global d'exploitation touristique. Il nous semble intéressant de comparer le procédé de calcul des caractéristiques de la houle à partir de données météorologiques, lors du passage d'un ouragan avec les mesures réalisées sur le site. La difficulté de l'analyse est due aux faits que Loreto est situé dans la mer de Cortés (zone protégée) et que l'ouragan arrivait de l'océan Pacifique (terre) (voir figure 1). Les résultats de ce travail permettront une meilleure compréhension de l'énergie apportée par ce type d'événements au niveau du site de projet. On pourra aussi proposer des corrections pour mieux calculer les paramètres concernant la houle de tempête dans ce type de sites.

1.Introduction

Le passage d'ouragans produit de la houle de tempête qui peut se calculer par des méthodes classiques comme celle proposée par BRETCHNEIDER (1990)¹. Cependant, cette méthode est limitée à la distance d'action du vent «Fetch ». De plus, cette méthode présente des difficultés d'application pour les zones protégées des régions péninsulaires. Le Mexique compte deux péninsules : La Basse Californie dans l'océan Pacifique et le Yucatan dans l'océan Atlantique.



Figure 1 Trajectoire de l'ouragan Juliette dans l'océan Pacifique.

La figure 1 montre le passage de l'ouragan Juliette en septembre 2001. Les chiffres sur la ligne de trajectoire représentent les jours du mois de Septembre. Suivant la méthode de Bretcheider, on peut calculer la houle arrivant aux côtes continentales du Pacifique mexicain. La difficulté intervient dans la péninsule de la Basse Californie, où le calcul est évident du côté Pacifique mais reste inconnu du côté de la Mer de Cortés. On retrouve le même problème au niveau des côtes du Campeche à cause de sa position protégé par rapport à la trajectoire des ouragans. Les exploitations touristiques dans le Golfe de Californie et pétrolier dans les côtes de Campeche nécessitent une bonne connaissance de la houle pour le dimensionnement des structures.

2.Calcul de la houle de tempête

Selon les méthodes classiques conseillées par la « World Meteorological Organization » (1988)², on peut calculer la hauteur de la houle et sa période associée en fonction de la vitesse du vent U à 10m en dessus du niveau de la mer, la longueur de la zone où le vent souffle « fetch » F et la profondeur moyenne de cette zone D .

Plusieurs formulations ont été proposés par différents auteurs. Dans le tableau 1, on résume ces formulations avec un commentaire sur leurs limites de validité.

Tableau 1 Résumé des formulations théoriques de houle produit pas des ouragans.

Auteur	Formulation	Limites de validation
Bretscheider	$\frac{gH_s}{U^2} = 0,283 \tanh \left\{ 0,53 \left[\frac{gD}{U^2} \right]^{0,75} \right\} \tanh \left\{ \frac{0,125 \left[\frac{gF}{U^2} \right]^{0,42}}{\tanh \left\{ 0,53 \left[\frac{gD}{U^2} \right]^{0,75} \right\}} \right\}$	Suffisamment de temps pour développer totalement la houle
Bretscheider	$\frac{gT_p}{U} = 7,54 \tanh \left\{ 0,833 \left[\frac{gD}{U^2} \right]^{0,375} \right\} \tanh \left\{ \frac{0,077 \left[\frac{gF}{U^2} \right]^{0,25}}{\tanh \left\{ 0,833 \left[\frac{gD}{U^2} \right]^{0,375} \right\}} \right\}$	
Jonswap	$\frac{gH_s}{U^2} = 0,00178 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,5}$	Profondeur supérieur à $L_0/2$
Jonswap	$\frac{gT_p}{U^2} = 0,352 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,3}$	
Krylov	$\frac{gH}{U^2} = 0,16 \left[1 - \left\{ 1 + 0,006 \left[\frac{gF}{U^2} \right]^{1/2} \right\}^{-2} \right]$	Pas d'information
Wilson	$\frac{gH}{U^2} = 0,3 \left[1 - \left\{ 1 + 0,004 \left[\frac{gF}{U^2} \right]^{1/2} \right\}^{-2} \right]$	Pas d'information

Wilson	$\frac{gT}{U} = 8,6 \left[1 - \left\{ 1 + 0,008 \left[\frac{gF}{U^2} \right]^{1/3} \right\}^{-5} \right]$	
--------	---	--

3. Estimation des paramètres de calcul

3.1 Longueur du Fetch.

La longueur du Fetch est un paramètre très difficile à estimer en zones ouvertes. Dans les zones protégées, ce paramètre est limité par les côtes proches, YOUNG (1999)³. Dans le cas de Loreto, la longueur maximale du Fetch a été estimée à 156 km comme le montre la figure 2 pour une direction incidente de la houle d'environ 30 degrés par rapport au nord. Cependant, une grande partie de l'énergie du vent de tempête arrive de la direction *NNE – SSE*, due à la présence d'une île située en face de Loreto. La longueur du Fetch est donc de 12 km, pour notre cas d'étude.



Figure 2 Estimation de la longueur du Fetch.

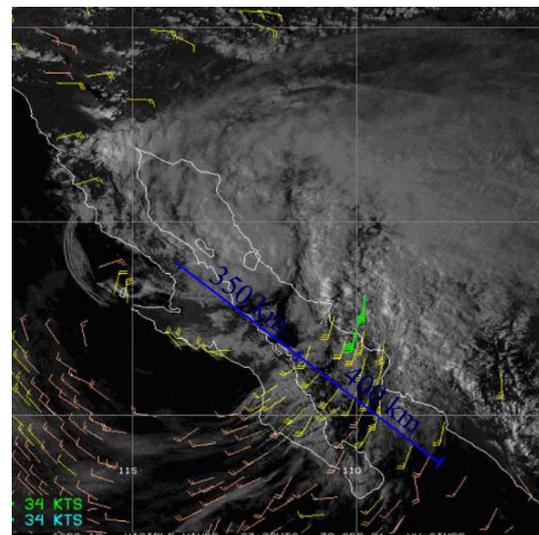


Figure 3 Estimation de la distance d'influence du vent.

3.2 Profondeur.

Les profondeurs dans cette zone varient entre 50 et 2 000 m. On peut estimer une profondeur moyenne de 1 000 m. Cependant, afin de comparer les résultats des théories d'ouragans avec les mesures à Loreto, on doit utiliser la profondeur de 60 m qui correspond à la profondeur moyenne où l'appareil de mesures a été installé. A cette profondeur, la réfraction et l'effet de *shoaling* provoquent une réduction de la hauteur de la houle.

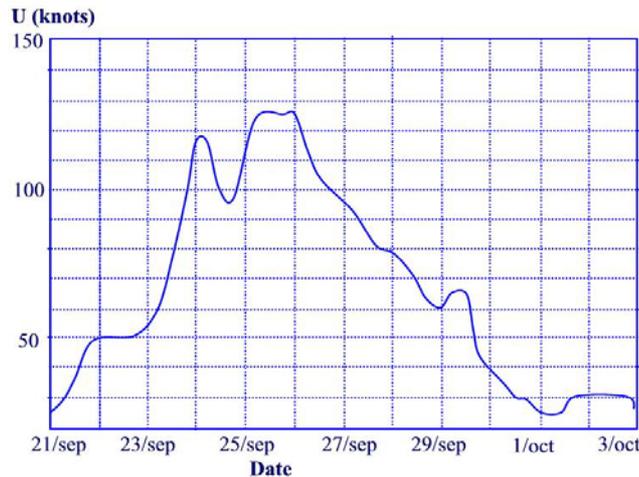


Figure 4 Variation de la vitesse moyenne du vent de l'ouragan.

3.3. La vitesse du vent.

On utilise les données du vent apportées par la NOAA. Il s'agit de la vitesse moyenne du vent (figure 4). On a observé que les modèles de prédiction sont très sensibles à cet paramètre. Ainsi, on a donc décidé de prendre en compte le décalage entre le centre du cyclone et la zone du vent maximale, voir la figure 3. Dans la Figure 3 on observe que le vent plus important soufflant sur Loreto corresponde au moment quand le centre du cyclone se trouvait au nord de Loreto. En effet, le vent qui génère plus d'énergie à Loreto s'est présenté entre le 30 septembre et le 1 octobre. Le centre de l'ouragan se trouve à ce moment à 550 km de Loreto.

3.4. Durée de la tempête.

Sachant que la longueur du centre du cyclone entre le 30 septembre et le 1 octobre est de 450 km et que la largeur de la zone d'action du vent est de 400 km (figure 2), on peut estimer la durée de la tempête à 21,3 heures qui est le temps de parcours de 400 km. On peut aussi estimer une vitesse de déplacement de 5,2 m/s que doit être ajouté à la vitesse moyenne du vent.

4. Mesures à Loreto

D'après les mesures effectuées à Loreto, ROSALES (1999), le vent de l'ouragan produit une houle de tempête à partir du 30 septembre (figure 5). Cette variation est en accord avec la direction d'incidence de la houle qui provient du N-NNE (entre 30 et 60 degrés). En effet, cette direction correspond à la zone de Fetch maximale, selon la figure 2.

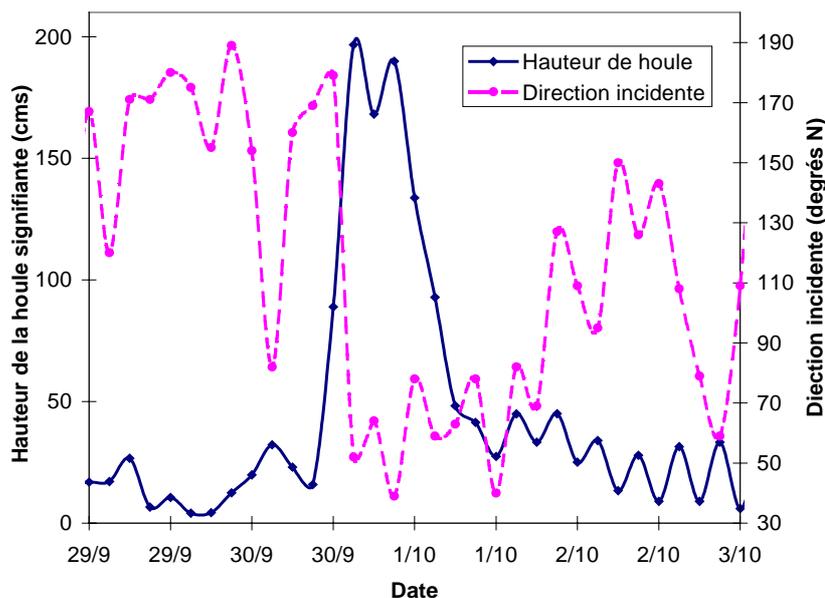


Figure 5 Variation de la direction et de la hauteur de la houle mesurées à Loreto.

5.Comparaison des résultats

Le tableau 2 montre les variations des paramètres de calcul pour la houle de tempête. Ces paramètres sont issus des informations météorologiques de la NOAA et de la bathymétrie la zone. A la vitesse du vent, on doit jouter 5,2 m/s correspondant à la vitesse de déplacement du cyclone.

On considère les valeurs correspondantes à la houle de tempête mesurée à Loreto le 30 septembre à 18H00 et le 1 octobre à 0H00. Avec ces valeurs, on calcule les caractéristiques de la houle de tempête à Loreto pour ce cyclone (figure 6).

Tableau 2 Paramètres de calcul de la houle de tempête.

DATE	U (m/s)	F (km)
30/09/2001 06:00	17,5	12
30/09/2001 12:00	15	12
30/09/2001 18:00	15	156
01/10/2001 00:00	12,5	156
01/10/2001 06:00	12,5	156
01/10/2001 12:00	12,5	156
01/10/2001 18:00	15	12
02/10/2001 00:00	15	12
02/10/2001 06:00	15	12
02/10/2001 12:00	15	12
02/10/2001 18:00	15	12
03/10/2001 00:00	12,5	12

On s'intéresse à la sensibilité des paramètres estimés pour comprendre l'incertitude qui peut être liée au choix de ces paramètres.

On fixe les deux paramètres qui ne peuvent varier, à savoir la longueur du fetch égale à 156 km et la durée de la tempête égale à 21,3 heures. Les deux paramètres dont le choix est variable à cause de l'incertitude des méthodes d'estimation sont la vitesse du vent U et la profondeur D . La vitesse du vent varie entre 12,5 et 17,5 m/s (tableau 2). En y ajoutant la vitesse du déplacement, cette vitesse varie entre 17,5 et 20 m/s. Il s'agit ici de valeurs moyennes, la vitesse du vent pouvant changer fortement d'un instant à l'autre et d'une zone à une autre. La profondeur dans la zone de mesures est de 16 m et de 100 m dans la zone protégée.

Selon la méthode de Bretschneider et en considérant les paramètres estimés, on obtient des variations de la houle de tempête très importantes. Une variation de vitesse du vent de 5 m/s produit une différence de hauteur de houle de 0,5 à 1 m. De même, la profondeur provoque une réduction de la hauteur de la houle au voisinage de la côte de l'ordre de 1 m à 2 m. Les autres formulations du tableau 1 ne prennent pas en compte la profondeur. Cependant la variation de la vitesse du vent produit aussi des incertitudes similaires.

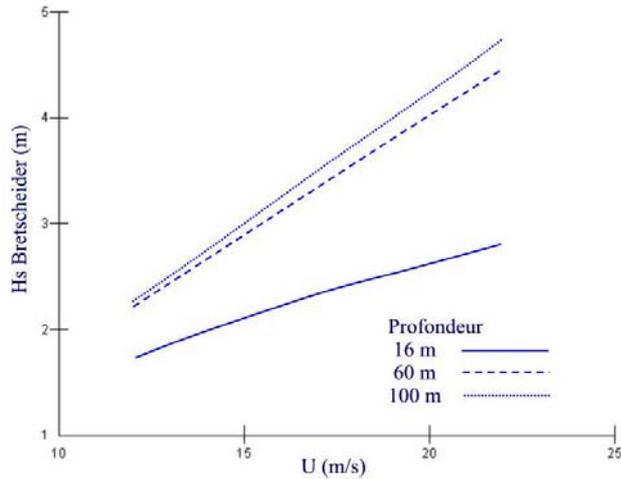


Figure 6 Variation de la direction et de la hauteur de la houle mesurées à Loreto.

Maintenant, on compare les résultats des différentes formulations avec les mesures prises à Loreto.

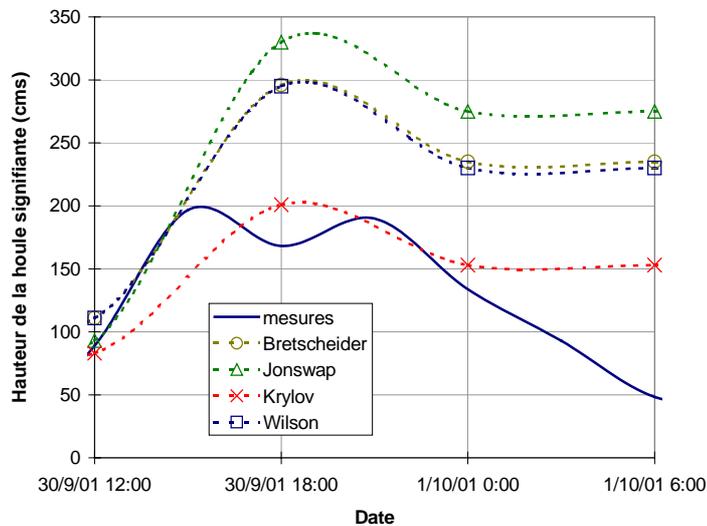


Figure 7 Comparaison de la hauteur de la houle.

La figure 7 expose les résultats des différentes théories comparés aux mesures à Loreto. On constate une surestimation de la hauteur de la houle. Une des raisons de cette différence est en effet liée à la difficulté d'estimer la profondeur (cas de Bretschneider) et la vitesse du vent (autres). La formulation de Krylov donne une estimation plus précise de la hauteur de la houle. Cependant, à la vue de l'incertitude dans l'estimation des paramètres de calcul, on doit analyser ces résultats avec circonspection.

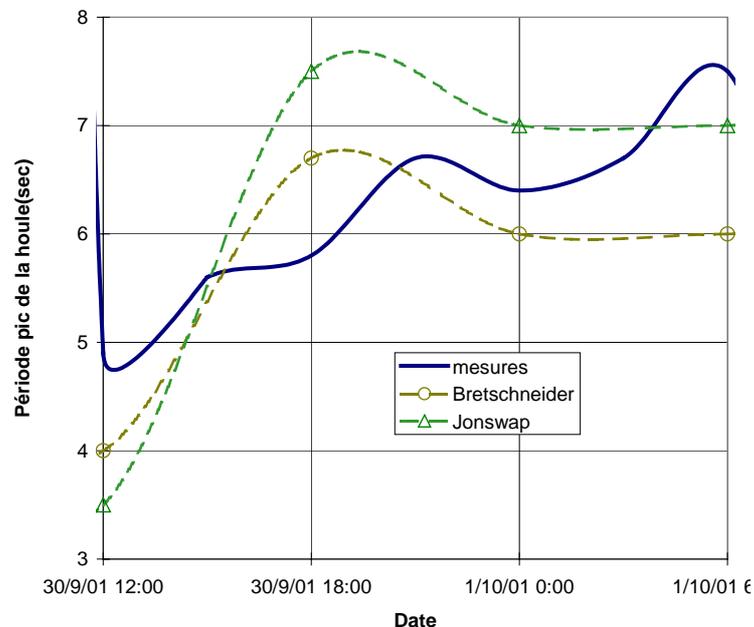


Figure 8 Comparaison de la période pic de la houle

La figure 8 montre la comparaison des mesures et des théories de calcul de la période pic de la houle. On constate une approximation satisfaisante des théories utilisées. Cependant, comme pour le calcul de la hauteur de la houle, les résultats présentent un degré d'incertitude important.

6. Discussion

Ce travail a mis en évidence la difficulté d'estimer les paramètres pour le calcul de la houle de tempête en utilisant les informations météorologiques de la NOAA.

La longueur du Fetch ne joue pas un rôle très important dans le cas de Loreto. Dans le cas de la profondeur, l'utilisation de la théorie de Bretschneider entraîne des variations très importantes des caractéristiques de la houle de tempête. On estime que la règle de la profondeur moyenne de la zone du fetch surestime les valeurs de la hauteur de la houle. Il est nécessaire donc d'utiliser une profondeur moyenne de la zone d'intérêt, dans le cas de Loreto. Au lieu de prendre 1 000 m comme la profondeur moyenne de la zone du fetch, on utilise 60 m de profondeur moyenne près de Loreto.

En ce qui concerne la vitesse du vent, il a été montré qu'il faut la corriger en mesurant la distance entre le centre du cyclone (donnée de la NOAA) et la zone où le vent agit.

Pour conclure, on estime que les données de la NOAA restent insuffisantes pour bien estimer les caractéristiques de la houle de tempête et on conseille de continuer les mesures. L'ouragan Juliette reste une tempête de petite importance ($U=20$ m/s) (d'autres ouragans avec des vents beaucoup plus intenses peuvent se présenter) dont l'estimation des caractéristiques de la houle restent très incertaines.

7.Références

1. Bretschneider, C. L., (1990), Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Volume 1", Gulf Publishing Company, Houston Texas, p 249-370
2. World Meteorological Organization, (1988), Guide to Wave Analysis and Forecasting", *WMO No 702*, Geneva Switzerland 4.1-4.19
3. Young I. R. (1999), Wind generated ocean waves, Elsevier,. 83-131
4. Rosales V. Informe de mediciones de oleaje en Loreto, (1999), FONATUR, Mexique pp 20