

L'hydrodynamique du lagon sud-ouest



La circulation des eaux dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie est due à trois agents principaux : la marée, le vent local et le déferlement de la houle par-dessus le récif-barrière.

L'effet de ces trois facteurs est étudié à l'aide de modèles numériques. Le modèle hydrodynamique MARS3D

(Département DYNECO de l'IFREMER), est utilisé pour simuler l'influence de la marée, les courants dus au vent et le déferlement de la houle. La houle générée par le vent à l'intérieur du lagon, appelée mer de vent, est simulée par le modèle Wavewatch III de la NOAA. Les modèles ont été calibrés et validés grâce au réseau de mesures installé par l'IRD entre 1988 et 2006, comprenant marégraphes,

courantomètres classiques et dopplers, bouées dérivantes, houlomètres non directionnels et directionnels et stations météorologiques.

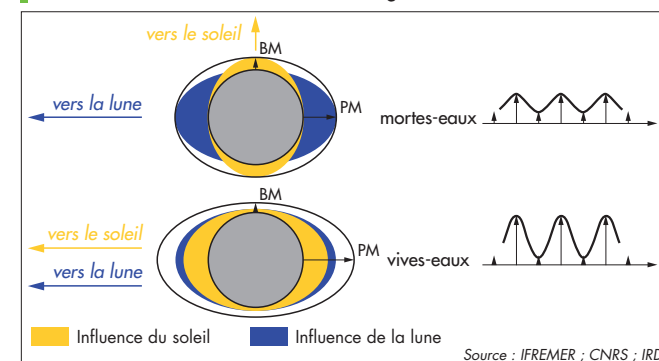
La marée : la variation du niveau de la mer et la circulation

La marée dans le lagon sud-ouest est constituée par l'ensemble des ondes de marée résultant des attractions exercées par les astres situés à proximité de la Terre.

Les courants de marée sont générés principalement par l'onde M2 (semi-diurne lunaire, engendrée par la force exercée par la lune) ainsi que par les ondes S2 (semi-diurnes solaires, engendrées par la force exercée par le soleil) et K1 (diurne lunaire-solaire, engendrée par la force exercée conjointement par le soleil et la lune) (fig. 1). Pour l'onde S2, les courants sont trois fois plus faibles que pour M2. Pour l'onde K1, les courants sont dix fois plus faibles, de l'ordre du centimètre par seconde, sauf dans les passes où ils peuvent être plus forts.

Les résultats du modèle pour les ondes M2 et S2 sont donnés sur les figures 2 et 3 en fonction de 2 paramètres : l'amplitude, qui représente la variation de la surface de la mer, et la phase,

Figure 1
Influence de la lune et du soleil sur la génération de la marée



la direction de propagation des courants. La marée génère un courant quasiment uniforme de la surface au fond. Les courants créés par ces ondes ont la même vitesse sur toute la colonne d'eau (carte 1 de la planche cartographique et fig. 4).

L'onde M2 semi-diurne solaire

L'amplitude de l'onde M2 (fig. 2a) croît régulièrement entre le sud et le nord du lagon jusqu'à la baie de Saint-Vincent (voir planche cartographique) de 35 cm, dans la passe de la Havannah, à 42 cm dans le fond de la baie de St-Vincent. Dans le nord, l'influence de la marée extérieure apparaît plus marquée du fait de la configuration plus ouverte du lagon. Dans toutes les passes, hormis la passe de Boulari, l'onde M2 pénètre à l'intérieur du lagon. Comme pour l'amplitude, la propagation de l'onde M2 (fig. 2b) va du sud vers le nord. L'évolution de l'amplitude et sa propagation montrent que l'onde de marée M2

pénètre dans le lagon par le sud avec de fortes variations à l'ouest de l'île Ouen. Au nord de la baie de Saint-Vincent, l'onde M2 pénètre dans le lagon par les passes alors que, dans la partie sud, l'amplitude croît du nord vers le sud.

Les courants dus à l'onde M2 (carte 1 de la planche cartographique) ne sont jamais très importants à l'intérieur du lagon et ont une vitesse de l'ordre de 25 cm/s au maximum.

Dans la partie sud, les lignes de courant sont parallèles à la direction générale du lagon (sud-est/nord-ouest). La vitesse de l'eau décroît du sud vers le nord, notamment au nord de l'île Ouen du fait de l'augmentation de la profondeur. À l'ouest de cette île, la direction principale du courant change en raison de la présence de deux grands récifs (le banc des Cinq Miles et le récif U). Dans les passes, le courant est généralement fort et linéaire. À l'intérieur, près des passes,

les ellipses représentant les vitesses des courants entrants et sortants ont tendance à devenir plus circulaires. Ceci est dû à la présence d'anciens lits de rivière profonds, véritables canyons sous-marins qui vont de la côte aux passes (voir planche 5) et qui perturbent la topographie relativement régulière du fond. En face de Nouméa, on note une accélération du courant. Dans cette zone, le chenal de l'îlot Maître est moins profond qu'au nord et au sud du lagon. Le même phénomène d'accélération est présent au nord du canal Woodin, dont la profondeur n'est que de 20 m par rapport aux 30-40 m de profondeur du nord et du sud.

Figure 2
a - Amplitude de l'onde de marée M2
b - Phase de l'onde de marée M2 en degrés proportionnels à la vitesse de propagation de l'onde (V = 28,984104 degrés par heure)

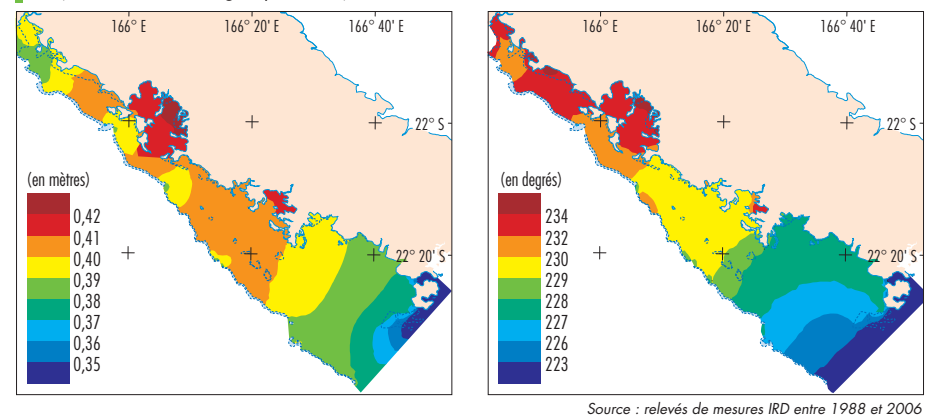
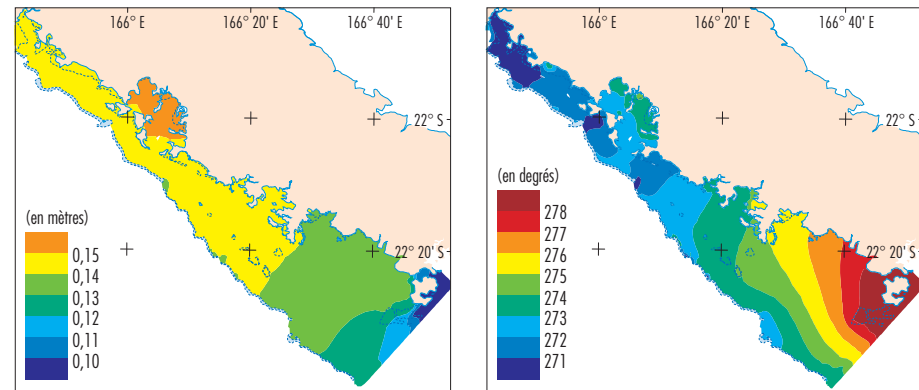


Figure 3
 a - Amplitude de l'onde de marée M2
 b - Phase de l'onde de marée M2 en degrés proportionnels à la vitesse de propagation de l'onde (V = 30 degrés par heure)



Source : relevés de mesures IRD entre 1988 et 2006

L'onde S2, semi-diurne solaire

L'amplitude de S2 (fig. 3a) croît régulièrement du sud vers le nord et varie rapidement autour des récifs situés à l'ouest de l'île Ouen. Son accroissement devient négligeable entre Nouméa et la baie de Saint-Vincent (de l'ordre du centimètre) et pratiquement inexistant au nord de cette baie. La propagation de l'onde S2, à l'intérieur du lagon, suivant une direction nord-ouest/sud-est est en opposition avec l'onde M2 (fig. 3b). Ce résultat est corroboré par les modèles mondiaux de marée qui prédisent cette propagation. Les mesures du Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) montrent le même type de résultats.

Les courants dus à l'onde S2 sont faibles (de l'ordre de 3 cm/s) dans pratiquement tout le lagon (fig. 4). Ils peuvent être localement plus forts dans les passes et atteindre la vitesse de 10 cm/s. Dans la partie sud du lagon, les ellipses de courant sont plus circulaires que pour M2 alors que, dans les passes, les courants sont plus rectilinéaires. Comme pour M2, à l'ouest de l'île Ouen, la direction de l'axe majeur des courants tourne du fait des récifs situés à l'ouest de cette île.

Les courants à long terme dus à l'influence de la marée

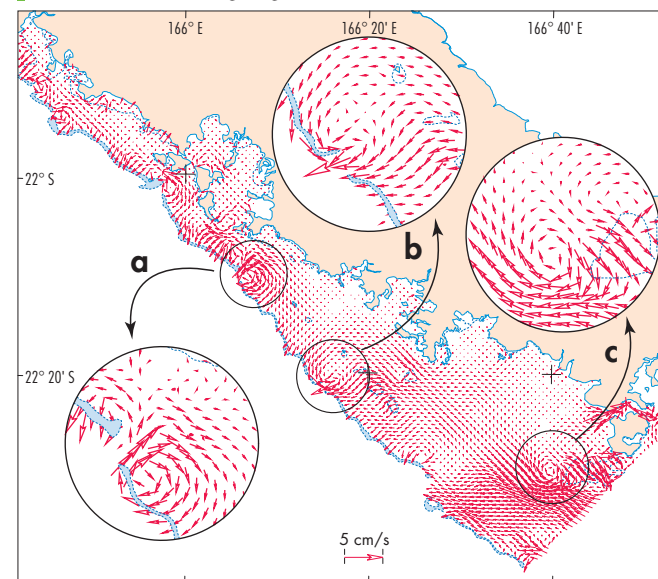
Le transport à long terme, sous influence de la marée, de la matière dissoute dans l'eau, est très mal décrit par les seules données sur la vitesse moyenne en un point. En revanche, la vitesse résiduelle lagrangienne, calculée en suivant le déplacement des particules en suspension dans l'eau, est plus représentative du transport à long terme. Pour calculer cette vitesse, les trajectoires des particules ont été suivies en tous points du modèle au cours d'un cycle de marée. En raison de divers facteurs, comme le frottement de l'eau sur le fond ou les variations de la profondeur, ces particules ne se retrouvent pas exactement au même endroit après leur déplacement à l'issue du cycle de

marée. Cette différence, en la divisant par la durée du cycle de la marée, représente une vitesse moyenne au cours de ce cycle. Cette vitesse est appelée vitesse résiduelle lagrangienne. La trajectoire décrite par la particule change si son instant de départ dans le cycle de marée change. En calculant cette vitesse à divers moments au cours du cycle, il est possible de calculer une vitesse résiduelle lagrangienne moyenne.

Cette vitesse résiduelle lagrangienne de l'onde M2 (fig. 4) peut atteindre 3 cm/s, mais est en général de l'ordre de 1 cm/s.

Les masses d'eau entrent dans le lagon par le sud entre l'île Ouen et le récif-barrière. C'est dans cette partie que les courants résiduels sont les plus forts. La masse d'eau se divise ensuite en deux parties : l'une se dirige directement vers la passe de Boulari, l'autre reste dans le lagon et se propage vers le nord et vers l'est puis sort finalement par la passe de Dumbéa. Les masses d'eau du sud sont totalement séparées de celles du nord et ne peuvent pas aller dans cette partie du lagon. Dans la passe de Uitoé (fig. 4, zoom a), la vitesse résiduelle lagrangienne est dirigée vers l'intérieur du lagon, alors que le zoom b de cette même planche montre que la vitesse résiduelle lagrangienne est dirigée vers l'extérieur. Cette résiduelle se trouve dans une zone où la masse d'eau vient du sud. Elle ne peut aller vers le nord, car elle est bloquée par la masse d'eau s'écoulant vers le sud. Son unique route de sortie est la passe. Cette zone de convergence entre le nord et le sud est située entre

Figure 4
 Vitesses résiduelles lagrangiennes de l'onde de marée M2



Source : relevés de mesures IRD entre 1988 et 2006

les deux passes. Un tourbillon est clairement visible à l'ouest de l'île Ouen (fig. 4, zoom c). Il est dû à un effet de cap. Près de la côte au nord de l'île Ouen, les courants résiduels sont faibles et le transport des masses d'eau plus lent. Au sud de la baie de Saint-Vincent, si l'on étudie les sédiments de fond, la zone de faible vitesse résiduelle lagrangienne correspond à une région du lagon où les vases représentent une part importante des sédiments. Par contre dans les zones où la vitesse résiduelle lagrangienne est plus forte, la part de vase dans les sédiments est nettement plus faible.

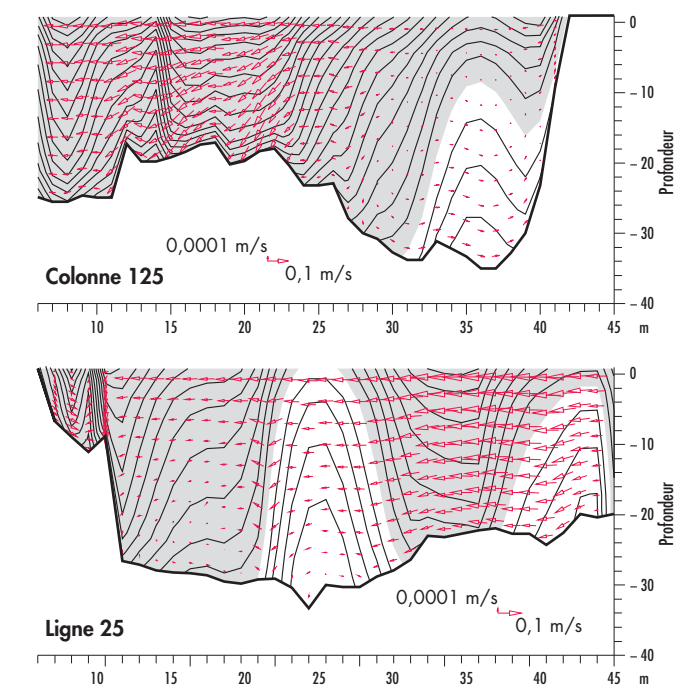
Le rôle du vent, la circulation due à l'alizé de sud-est

Les stations météorologiques installées par Météo-France et l'IRD sur le lagon montrent que le vent le plus fréquent au cours de l'année est l'alizé de sud-est. Pendant l'hiver austral, le vent peut décroître jusqu'à 2 m/s durant un nombre de jours significatifs alors que, pendant l'été, les alizés sont plus soutenus. Au cours de l'année, le vent a une valeur moyenne de 8 m/s. La direction du courant en surface est totalement dépendante de la direction du vent et, en partie, de la configuration du lagon (carte 2 de la planche cartographique). Les variations de l'intensité du courant sont faibles. On peut, néanmoins, remarquer des vitesses plus faibles à la verticale des canyons qui mènent aux passes, le long de la côte, et au nord de l'île Ouen dans la partie la plus profonde (supérieure à 30 m de profondeur).

Au niveau de la couche d'eau la plus proche du fond (carte 3 de la planche cartographique), le modèle montre que les courants sont beaucoup plus complexes. Au sud-est, entre le récif U et le récif-barrière, le courant est relativement fort. Il s'écoule dans la même direction que le courant de surface, avec une légère déviation dans la couche située près du fond. Au nord de l'île Ouen, il y a un important tourbillon. Celui-ci est limité par la côte à l'est, l'île Ouen et le récif U au sud. La seule ouverture permettant des entrées d'eau au sud-est est le canal Woodin. Comme le vent souffle en permanence du sud-est, il pousse les eaux de surface vers le nord-ouest et crée une pente de la surface de la mer. De manière à compenser ce déficit en eau, un courant de subsurface se développe le long de la côte qui nourrit le tourbillon observé au nord de l'île Ouen. Il a approximativement 20 km de large dans la direction est-ouest et 15 km dans la direction sud-nord. La composante sud-est du tourbillon est plus forte au fond (4 à 5 cm/s) et se réduit au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface pour s'inverser à partir de 2 m de profondeur. Sur la coupe au nord de l'île Ouen, le courant de retour est très proche de la côte, comme

le montre la carte des courants au fond (fig. 5, colonne 125). Sa vitesse est de l'ordre de 3 cm/s. Il s'étend sur une largeur de 8 km et monte du fond sur une hauteur de 25 m. La deuxième coupe parallèle à la côte (fig. 5, ligne 25), de Nouméa à l'île Ouen, montre l'importance de la masse d'eau venant du sud et qui coule, en subsurface, vers la côte à 90° de la direction principale du vent. Cette masse d'eau a une largeur de 9 km et s'étend pratiquement sur toute la colonne d'eau. Un autre tourbillon se développe dans la baie de Boulari au sud de Nouméa. Au nord de la ville, les courants au fond du lagon sont plus simples et très influencés par la géomorphologie du lagon. Par ailleurs, le modèle montre clairement le rôle de vidange des passes.

Figure 5
 Exemple de structure verticale des courants dus à un alizé de 8 m/s

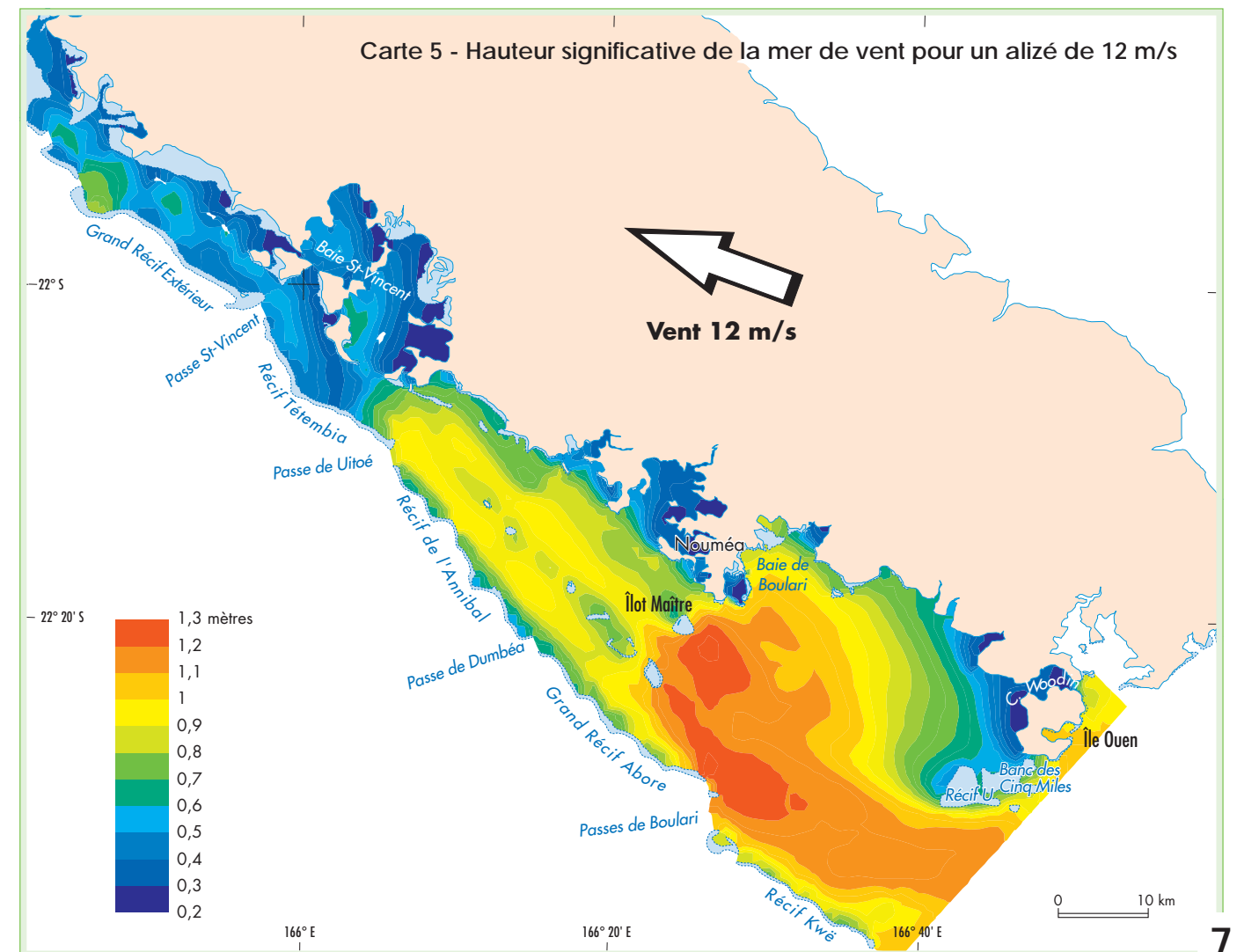
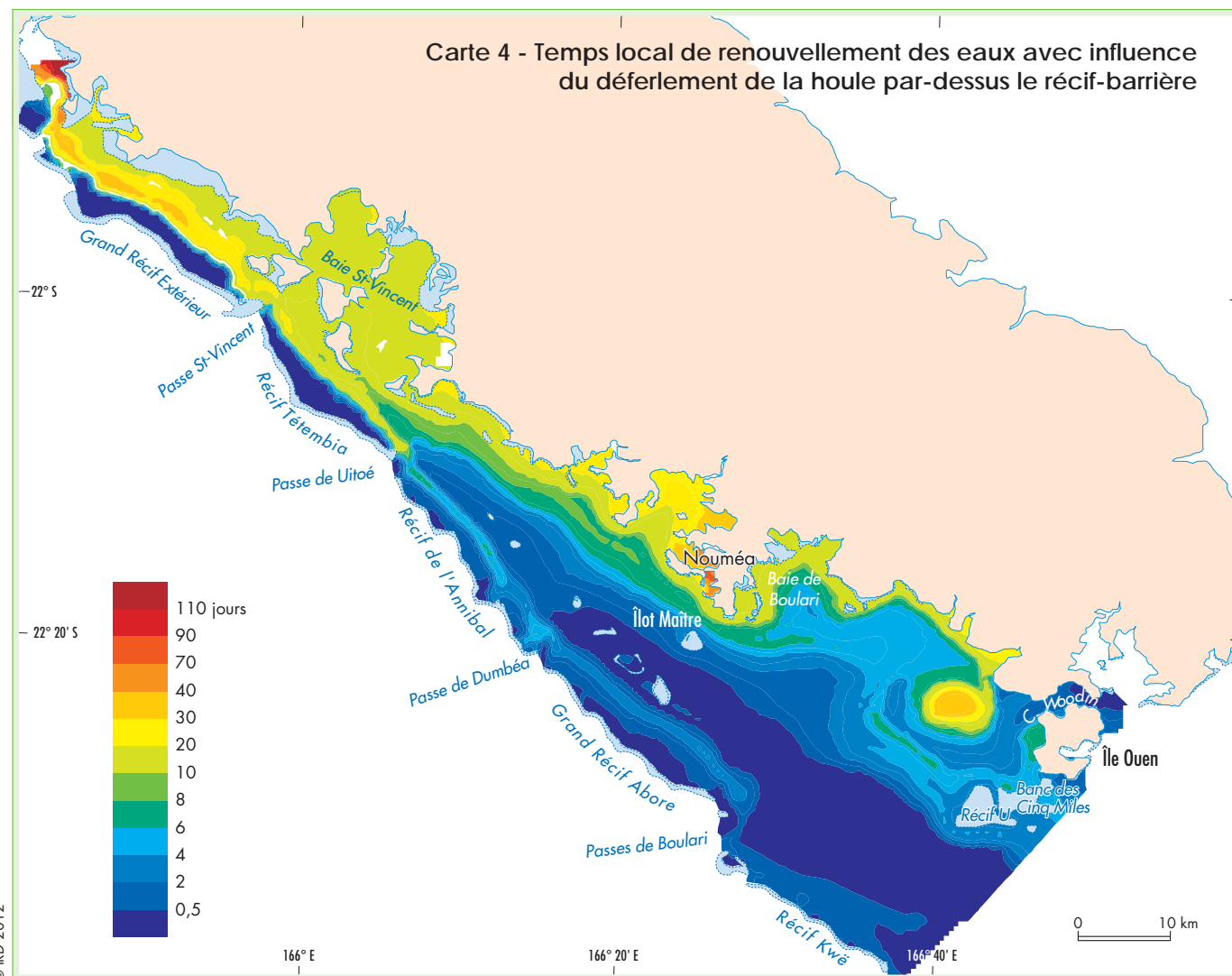
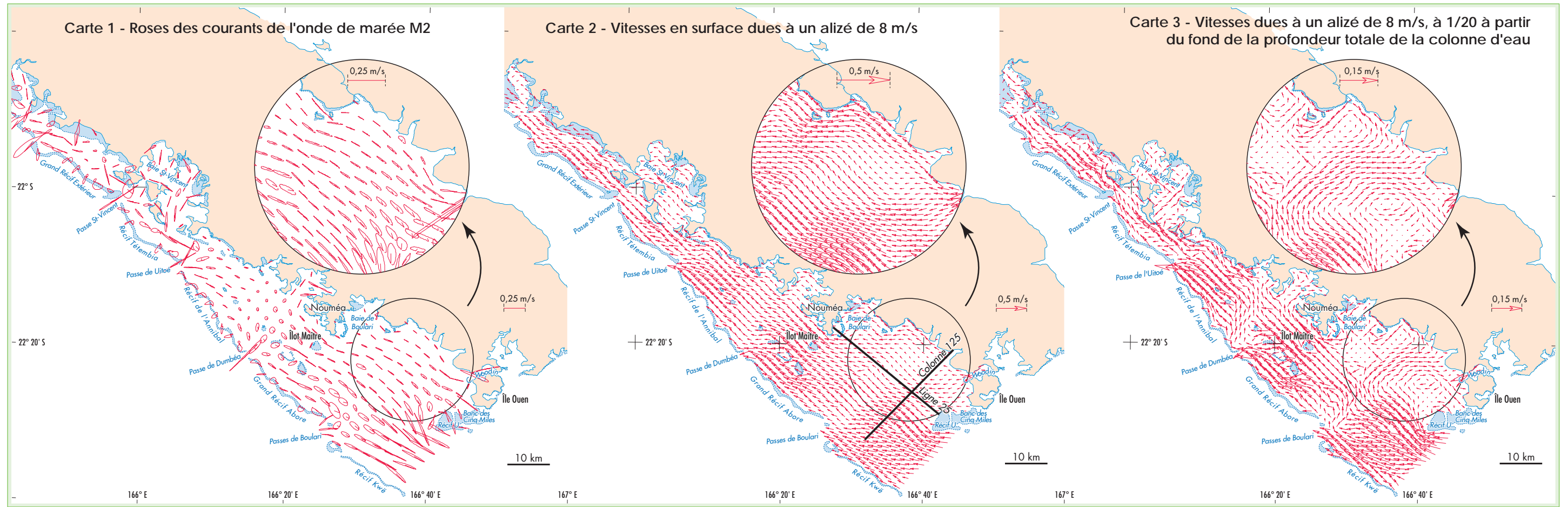


La position des profils colonne 125 et ligne 25 est donnée sur la carte 2 de la planche cartographique. Pour la colonne 125, la côte est à droite et se situe au niveau de la baie Ué. Le profil s'arrête au milieu du lagon. Pour la ligne 25, la côte est à gauche et représente le nord du profil. Le côté gauche est situé au niveau de l'îlot N'Géa. Le sud du profil se situe au large de l'île Ouen.

Source : relevés de mesures IRD entre 1988 et 2006

Le flux par-dessus le récif-barrière

Le déferlement de la houle par-dessus le récif-barrière crée une surcote* de la mer, générant ainsi un courant dirigé vers l'intérieur du lagon. Ce mécanisme, typique des environnements coralliens, exerce une influence importante sur l'hydrodynamique, la morphologie et la variabilité biologique de récifs peu profonds. Il influe en particulier sur le temps de vidange du lagon. En octobre 2005, une campagne de mesures a été réalisée sur le récif Aboré de manière à quantifier le flux induit



par la houle par-dessus le récif. Une série d'appareils (houlo-mètres, courantomètres doppler, capteurs de pression, etc.) a été déployée suivant une ligne perpendiculaire au récif, de manière à mesurer la propagation de la houle à l'intérieur du lagon. Une bathymétrie fine du récif a aussi été réalisée à l'aide d'un DGPS.

L'analyse des données récoltées montre que, pour la houle mesurée, une vitesse maximum du courant entrant, était de 0,65 m/s. Elle montre également que la marée a une influence directe sur le courant entrant, qui dépend alors de la différence entre la hauteur d'eau au point où la houle déferle et la hauteur moyenne d'eau là où le récif est le plus haut. Cette valeur est maximale à mi-marée. Enfin, le flux entrant maximum mesuré par kilomètre de barrière récifale est de l'ordre 150 m³/s, soit 540 000 m³/h.

L'influence du déferlement sur le temps de résidence des eaux dans le lagon

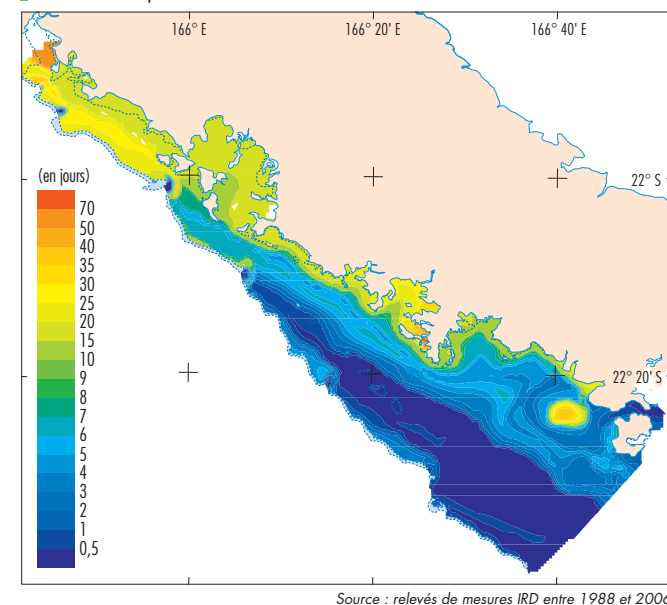
À partir des paramètres mesurés ou calculés des courants instantanés, il est difficile de caractériser simplement l'hydrodynamisme du lagon, en grande partie parce que ces courants varient rapidement dans le temps et l'espace. Pour bon nombre d'applications, des indicateurs plus simples sont nécessaires. Le temps de renouvellement des eaux est un des indicateurs les plus communément utilisés. Celui-ci a été cartographié, pour une marée simplifiée et représentée par M2 et S2 et un alizé moyen, le temps de renouvellement global des eaux du lagon est de 10,8 jours pour les conditions de marée et de vent citées ci-dessus.

Mais la carte (fig. 6) montre que ce temps de renouvellement est très variable d'un point à un autre du lagon, avec des valeurs très faibles : de moins d'un jour près des passes à plus de deux mois dans les fonds de baie. Le tourbillon situé au nord de l'île Ouen est caractérisé par un long temps de renouvellement local de l'ordre du mois. En dehors de cette zone, cette donnée montre quatre types de masses d'eau qui peuvent être caractérisées par leur histoire : un renouvellement des eaux rapide avec des valeurs inférieures à 2 jours pour une zone en forme de triangle limité par une ligne allant du récif U à la passe de Uitoé

et le récif-barrière (type A), une « rivière » littorale le long de la côte avec un temps de résidence de 9 à 25 jours qui draine les eaux entrées dans le lagon par le canal Woodin (type B), des eaux intermédiaires avec des temps de résidence de 2 et 9 jours, qui résultent du mélange des eaux de type A et type B par l'oscillation de la marée (type C) et des eaux anciennes localisées dans les baies avec un temps de renouvellement supérieur à 25 jours (type D).

Dans les simulations, prenant en compte le déferlement par-dessus la barrière, les résultats montrent que, lorsque l'on ajoute ce déferlement, le temps de résidence change de façon significative le long du récif-barrière dans la partie nord du lagon où le renouvellement des eaux est fortement contraint par les petites passes et augmente significativement (carte 4 de la planche cartographique). Dans la partie sud du récif, la diminution des temps de résidence est moins importante car les masses d'eau sont largement renouvelées par le sud et surtout parce que le temps de renouvellement est déjà très faible. Il décroît d'à peu près un jour lorsque l'on ajoute le déferlement en arrière du récif Aboré. À l'opposé, entre l'arrière-récif et le milieu du lagon, le temps de résidence augmente de 3 à 5 jours. Le long de la côte, les changements des

Figure 6
Temps local de renouvellement des eaux sans influence du déferlement de la houle par-dessus le récif-barrière



Source : relevés de mesures IRD entre 1988 et 2006

temps de résidence des eaux provoqués par le déferlement de la houle sur le récif-barrière sont très faibles et la distribution spatiale n'est pas modifiée.

La mer de vent

Le vent soufflant sur le lagon génère une houle courte appelée mer de vent. Celle-ci a été modélisée à l'aide du modèle Wavewath III, alimenté par les données de terrain collectées par un réseau d'instruments installé dans le lagon. La carte 5 de la planche cartographique représente la hauteur significative de la mer de vent pour un alizé soutenu de 12 m/s. Les valeurs les plus fortes se trouvent au sud-ouest de Nouméa, là où la longueur du fetch* est la plus grande. Cette zone forme un grand rectangle limité par le récif-barrière allant du banc des Cinq Miles à Nouméa. Le maximum d'amplitude de la houle de la mer de vent est de l'ordre de 1,4 m. La partie nord de l'île Ouen, qui est relativement protégée des alizés, présente une hauteur significative faible. De même, la houle est considérablement réduite par les ilots et récifs situés au large de Nouméa. Dans les baies de Dumbéa, de Sainte-Marie et dans la Grande Rade de Nouméa, la hauteur significative est très faible. Dans la baie de Saint-Vincent et au nord de cette baie, il en est de même car la faible longueur du fetch ne permet pas le développement de la houle.

Pascal Douillet, Sylvain Ouillon, Franck Dumas,
Aymeric Jouon avec la collaboration de
Philippe Bonneton, Jean-Pierre Lefebvre, Romain Le Gendre

The hydro-dynamics of the south-west Lagoon in New Caledonia

This plate shows the circulation of water in the south-west lagoon in New Caledonia, driven by three main agents: the tides, local winds, and the ocean swell breaking over the barrier reef. The effects of these three factors are evaluated using digital models – MARS3D (IFREMER), and WAVEWATCH III (NOAA). These models study tidal changes and momentary currents thus generated. They also provide maps and commentaries concerning tidal amplitude and current propagation and ellipses for the two main tidal movements affecting circulation. Long-term currents due to the influence of the tides are also calculated. They are of lesser magnitude than the momentary currents. This information makes it possible to divide the lagoon into several large zones. The influence of the wind in case of south-westerly trade winds is then analysed. The difference in displacement of the water masses and that of the surface waters is shown, for example the large whirlpool to the north of the island of Ouen. The currents there are of the same general magnitude as the momentary currents generated by the tides. The flows of water over the barrier reef generated by the ocean swell are characterized and quantified. The water renewal time lapse, a simple way of characterizing the hydro-dynamics of the lagoon, which varies fast in time and space, is given for the case of an average tide and a medium trade wind, with and without waves breaking over the barrier reef. The results show the great heterogeneity of the lagoon, and in particular the important role of the ocean swell on the inside of the reef. Finally, the influence of local winds on wave generation is estimated. A map of significant wave height under strong trade winds also enables differentiation of the parts of the lagoon that are the most exposed and those that are the most protected.

ORIENTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

BONNETON P., LEFEBVRE J. P., BRETTEL P., OUIILLON S., DOUILLET P., 2007 – Tidal modulation of wave-setup and wave-induced currents on the Aboré coral reef, New Caledonia. *J. Coastal Research*, SI 50 : 762-766.

DOUILLET P., 1998 – Tidal dynamics of the south-west lagoon of New Caledonia: observations and 2D numerical modelling. *Oceanologica Acta*, 21 : 69-79.

DOUILLET P., OUIILLON S., CORDIER E., 2001 – A numerical model for fine suspended sediment transport in the southwest lagoon of New-Caledonia. *Coral Reefs*, 20 (4) : 361-372.

JOUON A., DOUILLET P., OUIILLON S., FRAUNIE P., 2006 – Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model. *Continental Shelf Research*, 26 (12-13) : 1395-1415.

Douillet Pascal, Ouillon Sylvain, Dumas F.,
Jouon A., Bonneton P. (collab.), Lefebvre J.P.
(collab.), Le Gendre R. (collab.).

L'hydrodynamique du lagon sud-ouest.

In : Bonvallet Jacques (coord.), Gay Jean-
Christophe (coord.), Habert Elisabeth (coord.).
Atlas de la Nouvelle Calédonie.

Marseille (FRA), Nouméa : IRD, Congrès de la
Nouvelle-Calédonie, 2012, p. 41-44.

ISBN 978-2-7099-1740-1