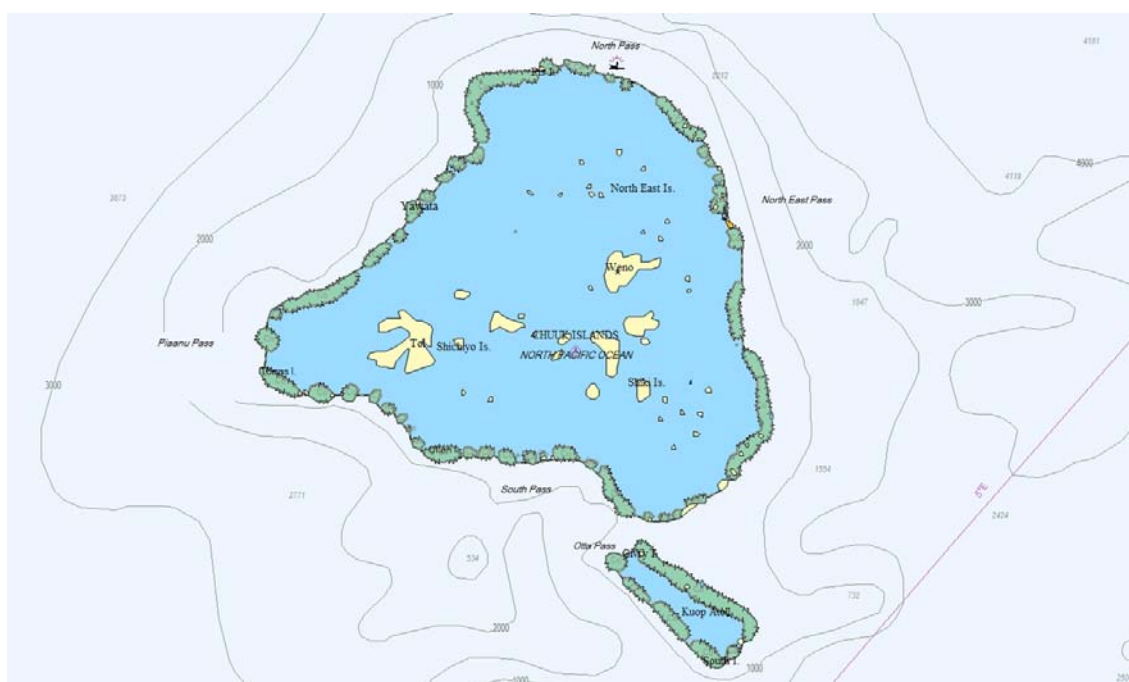


---

**ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE STRATÉGIQUE  
ET IMPACTS POTENTIELS SUR LA LIGNE DE CÔTE  
DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES  
PROVENANT DE L'ÉPAVE *HOYO MARU*  
LAGON DE CHUUK – ÉTATS FÉDÉRÉS DE MICRONÉSIE**

---



---

Anthony Talouli, Secrétariat du Programme régional océanien de l'environnement (PROE)  
Trevor Gilbert, Asia Pacific Applied Science Associates (Asia Pacific ASA)  
Rean Monfils Gilbert, Sea Australia



## RÉSUMÉ

Les résidents de Chuuk ont signalé depuis plusieurs années que des fuites provenant d'un navire de la Seconde Guerre mondiale gisant dans le lagon de Chuuk avaient des effets délétères sur le littoral et les pêches. Le gouvernement des ÉFM a demandé au PROE de fournir des conseils techniques sur les épaves de la Seconde Guerre mondiale et une évaluation environnementale stratégique a été réalisée dans ce cadre.

Anthony Talouli, Spécialiste de la pollution marine au PROE, a réalisé des évaluations sur place pour détecter des traces d'hydrocarbures sur le rivage. L'étude du rivage n'a pas décelé la présence d'hydrocarbures malgré la forte odeur de pétrole provenant du site du navire et les reflets visibles à la surface de l'eau.

L'assistance d'Asia-Pacific ASA (APASA) a été sollicitée pour modéliser la direction et les impacts possibles de nouvelles fuites provenant de l'*Hoyo Maru*. Les résultats montrent clairement que les rivages de l'île Fefan seraient les plus fortement touchés par les hydrocarbures s'échappant de l'*Hoyo Maru* en raison des vents dominants et de la proximité du navire. La modélisation a également montré que les hydrocarbures atteindraient rapidement l'île de Fefan, ce qui limiterait les possibilités d'intervention dans de courts délais.

Plusieurs recommandations sont formulées à l'intention du gouvernement des ÉFM et une assistance technique a été fournie sur place pour faire face à tout nouveau déversement.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>2</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>3</b>
<b>1. 1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
1.1 But de l'étude	4
1.2 Objectifs	5
<b>2. CONTEXTE .....</b>	<b>6</b>
2.1 Limites géographiques de l'étude	6
2.2 Épaves de la Seconde Guerre mondiale dans le Pacifique	6
2.3 Épaves du lagon de Chuuk	6
2.4 Instruments juridiques sur la pollution marine	11
<b>3. ÉVALUATION DE L'ÉTAT DU LITTORAL ET DE L'ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>12</b>
3.1 Évaluation environnementale	12
3.2 Conseils techniques	14
3.3 Formation	15
3.4 Planification	15
<b>4. MODÉLISATION STOCHASTIQUE DE LA PROBABILITÉ DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS.....</b>	<b>16</b>
4.1 Modèle hydrodynamique du lagon de Chuuk	16
4.2 Lagon de Chuuk – Conditions climatiques	20
4.3 Seuils d'épaisseur de la nappe de pétrole	22
4.4 Propriétés et comportement du pétrole s'échappant de l'Hoyo Maru	22
4.5 Modèle stochastique de déversements accidentels d'hydrocarbures	25
4.6 Résultats du modèle stochastique	27
<b>5. CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>30</b>
<b>6. RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>32</b>
<b>1. RÉFÉRENCES.....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE A – ÉVALUATIONS SCAT .....</b>	<b>36</b>
Impacts biologiques et autres des déversements d'hydrocarbures des épaves de la Seconde Guerre mondiale	36
Assimilation des hydrocarbures dans l'environnement	37
Types d'hydrocarbures susceptibles de se trouver dans les épaves de la Seconde Guerre mondiale	38
Devenir et comportement des hydrocarbures en milieu marin	38
<b>1.</b>	

# 1. INTRODUCTION

On s'accorde largement à reconnaître que la pollution marine compte parmi les quatre grandes menaces qui pèsent sur les océans de la planète, au même titre que la destruction des habitats naturels, la surexploitation des ressources marines vivantes et les espèces marines envahissantes. À cet égard, la pollution engendrée par les déversements d'hydrocarbures et de produits chimiques dans le milieu marin, qu'ils soient d'origine tellurique ou dus aux navires, est particulièrement préoccupante.

Les États et Territoires insulaires océaniques (ÉTIO) sont convenus de conjuguer leurs efforts, dans le cadre d'accords régionaux, pour s'attaquer efficacement au problème de la pollution marine. De fait, aucun des pays de la région ne peut y faire face de manière isolée. Le Secrétariat du Programme régional océanique de l'environnement (PROE), qui a notamment pour mission d'aider les pays insulaires membres à s'attaquer aux problèmes d'environnement conformément à son plan d'action, a élaboré un programme de lutte contre la pollution marine causée par les navires. Il s'agit du *Programme pour la prévention de la pollution marine dans le Pacifique* (PACPOL), qui a été révisé en 2009 pour la période 2010-2014.

Les Membres réunis à l'occasion de la 12e Conférence du PROE en 2001 ont demandé au Secrétariat d'examiner et de formuler une stratégie régionale pour gérer le risque de pollution lié aux nombreuses épaves de la Seconde Guerre mondiale qui gisent dans le Pacifique. Le PACPOL a été chargé de formuler une stratégie régionale (Nawandra 2002) pour s'attaquer aux problèmes liés à ces épaves. En 2003, les pays membres du PROE ont décidé que le Secrétariat ne travaillerait plus sur cette stratégie et que toute activité ultérieure devrait être menée directement par l'État du pavillon et l'État côtier concernés, le PROE se contentant de fournir une assistance technique. En substance, toute mesure corrective, telle que l'élimination du fioul ou la réparation des dommages environnementaux liés aux épaves de la Seconde Guerre mondiale, devrait être prise sur une base bilatérale, entre le pays touché et l'État du pavillon des épaves.

Ce rapport présente une Évaluation stratégique environnementale des risques associés aux fuites chroniques de l'*Hoyo Maru* dans le lagon de Chuuk, aux États fédérés de Micronésie.

## 1.1 But de l'étude

L'évaluation environnementale stratégique a pour but de déterminer l'ampleur de la pollution du rivage par les hydrocarbures et les fuites potentielles de l'*Hoyo Maru*, une épave de la Seconde Guerre mondiale située dans le lagon de Chuuk, aux ÉFM. Elle aidera le gouvernement des ÉFM à prendre des décisions à long terme concernant les épaves de la Seconde Guerre mondiale gisant dans le lagon de Chuuk.

## **1.2 Objectifs**

Les objectifs de l'évaluation environnementale stratégique sont les suivants :

- Évaluer l'importance des fuites à ce jour, et fournir une étude d'impact,
- Identifier les ressources menacées dans la zone du déversement et tout dommage environnemental,
- Évaluer l'impact potentiel du scénario le plus noir, par exemple une avarie majeure entraînant le déversement de l'intégralité du fioul dans le milieu marin ;
- Identifier des mesures préventives ou de redressement pouvant être prises pour protéger les ressources vulnérables,
- Servir de catalyseur pour l'élaboration d'accords bilatéraux et multilatéraux relatifs aux problèmes de pollution marine concernant les épaves de la Seconde Guerre mondiale.
- Assurer la formation et le renforcement des capacités de l'État de Chuuk, pour qu'il puisse procéder lui-même à l'évaluation et à la surveillance des épaves,
- Évaluer le plan national (NATPLAN) de l'État de Chuuk et ses capacités d'intervention en cas de déversement en mer d'hydrocarbures provenant d'épaves de la Seconde Guerre mondiale,
- Fournir au gouvernement et aux organes des ÉFM des informations techniques et environnementales et des conseils sur les interventions en cas de déversement d'hydrocarbures.

## **2. CONTEXTE**

### ***2.1 Limites géographiques de l'étude***

Les États fédérés de Micronésie (ÉFM) sont une fédération des quatre États suivants : Yap, Chuuk, Pohnpei et Kosrae (d'est en ouest). Chaque État jouit d'une grande autonomie en matière de gestion interne mais toutes les affaires étrangères relèvent du gouvernement national.

Les ÉFM comprennent plus de 600 îles, qui représentent 700 kilomètres carrés de terres émergées. La zone économique exclusive (ZÉE) des ÉFM couvre plus de 2,5 millions de kilomètres carrés et est composée de ressources marines riches et biodiversifiées.

La population des ÉFM a été évaluée à près de 107 000 habitants par le recensement de 2000.

Chuuk, dans les Îles Caroline, compte 15 grandes îles, 192 îles périphériques et 80 îlots et abrite l'un des plus grands lagons du monde.

### ***2.2 Épaves de la Seconde Guerre mondiale dans le Pacifique***

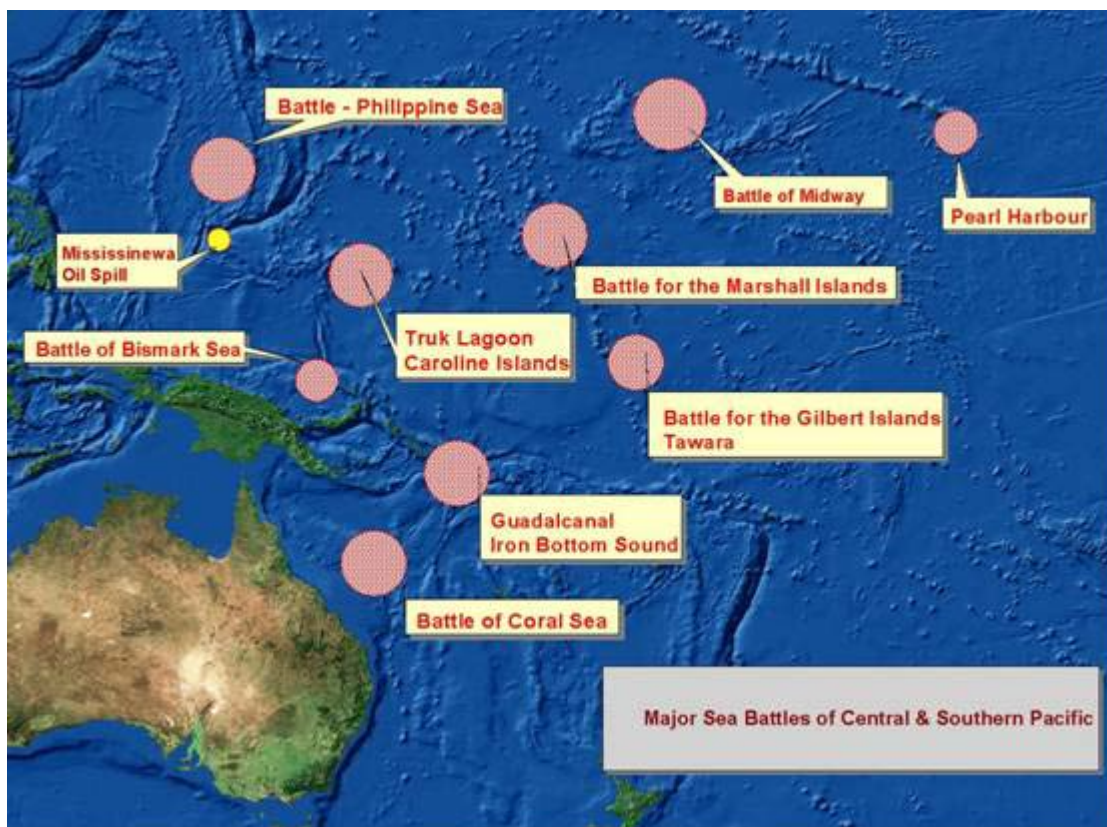
La Seconde Guerre mondiale a occasionné les plus grandes pertes maritimes jamais vues en un laps de temps aussi court. Le PROE a produit une carte SIG de toutes ces épaves dans le cadre de la stratégie régionale. La région Asie-Pacifique compte plus de 3800 épaves de la Seconde Guerre mondiale (Monfils 2005), dont 330 navires-citernes et pétroliers.

La communauté internationale est de plus en plus consciente des problèmes associés à ces épaves et de la menace de pollution associée. Ce n'est toutefois qu'en mars 2004 que le groupe OPRC (sur la préparation, la lutte et la coopération en matière de pollution par les hydrocarbures) de l'Organisation maritime internationale (OMI) a reconnu le problème et a encouragé « les centres et les secrétariats régionaux... à évaluer la situation concernant les épaves de la Seconde Guerre mondiale susceptibles d'entraîner la pollution par les hydrocarbures de leurs zones maritimes » (IMOC 2004).

### ***2.3 Épaves du lagon de Chuuk***

Les ÉFM ont été l'un des cadres du « Théâtre océanien de la Seconde Guerre mondiale ». Pearl Harbour, Midway, la Mer de corail, Guadalcanal, le lagon de Truk (aujourd'hui Chuuk), Betio et Iwo Jima sont autant de noms jusque-là peu connus, mais immortalisés depuis par les grandes batailles qui s'y sont déroulées (Figure 1). Les peuples océaniens ont été pris entre deux feux et nombreux sont les récits de leurs souffrances et de leur héroïsme.





Près de 65 ans se sont écoulés depuis la fin de la guerre et ses protagonistes sont rentrés chez eux depuis longtemps. La population des ÉFM a reconstruit sa vie et son pays. Mais la guerre se rappelle à ses souvenirs par les vestiges indésirables laissés dans son sillage. Il s'agit de matériel de guerre abandonné : chars, armes, munitions non explosées, dépôts de carburant et autres substances dangereuses et épaves des navires coulés avec leurs cargaisons au fond de la mer.

Le fioul, les produits chimiques et les munitions non explosées contenues par ces épaves posent un danger grave et imminent pour les populations, le milieu côtier et marin, le tourisme et les ressources halieutiques de la région. Ces épaves sont également des tombes de guerre et revêtent, à ce titre, un statut particulier.

Plus de 60 navires japonais ont été coulés dans le lagon de Chuuk 40, large de 40 milles marins. Une image satellitaire de ce lagon et de l'atoll Kuop est présentée à la Figure 2 avec une carte nautique de la zone de référence.

La Figure 3 montre l'emplacement des épaves connues du lagon intérieur de Chuuk. Ces données spatiales proviennent de la base de données mondiale des épaves de la Seconde Guerre mondiale (Sea Australia, Monfils 2005).

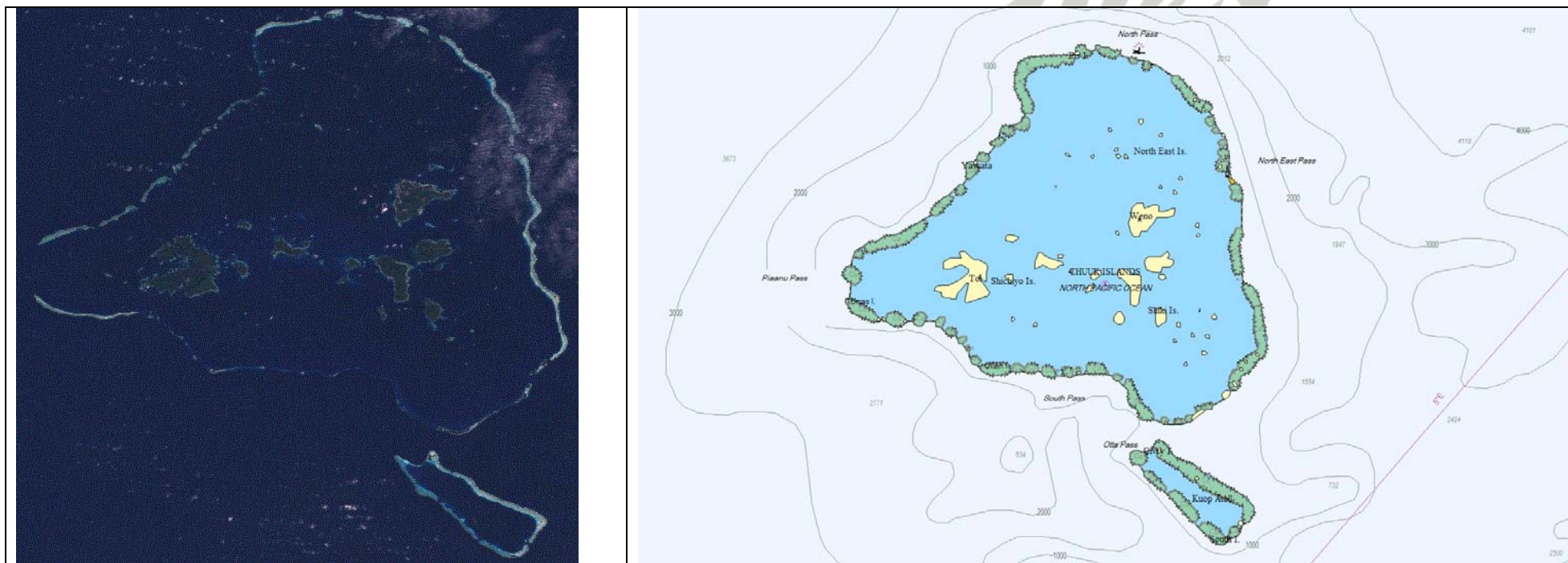


Figure 2 : Image satellitaire et carte nautique du lagon de Chuuk et de l'atoll Kuop



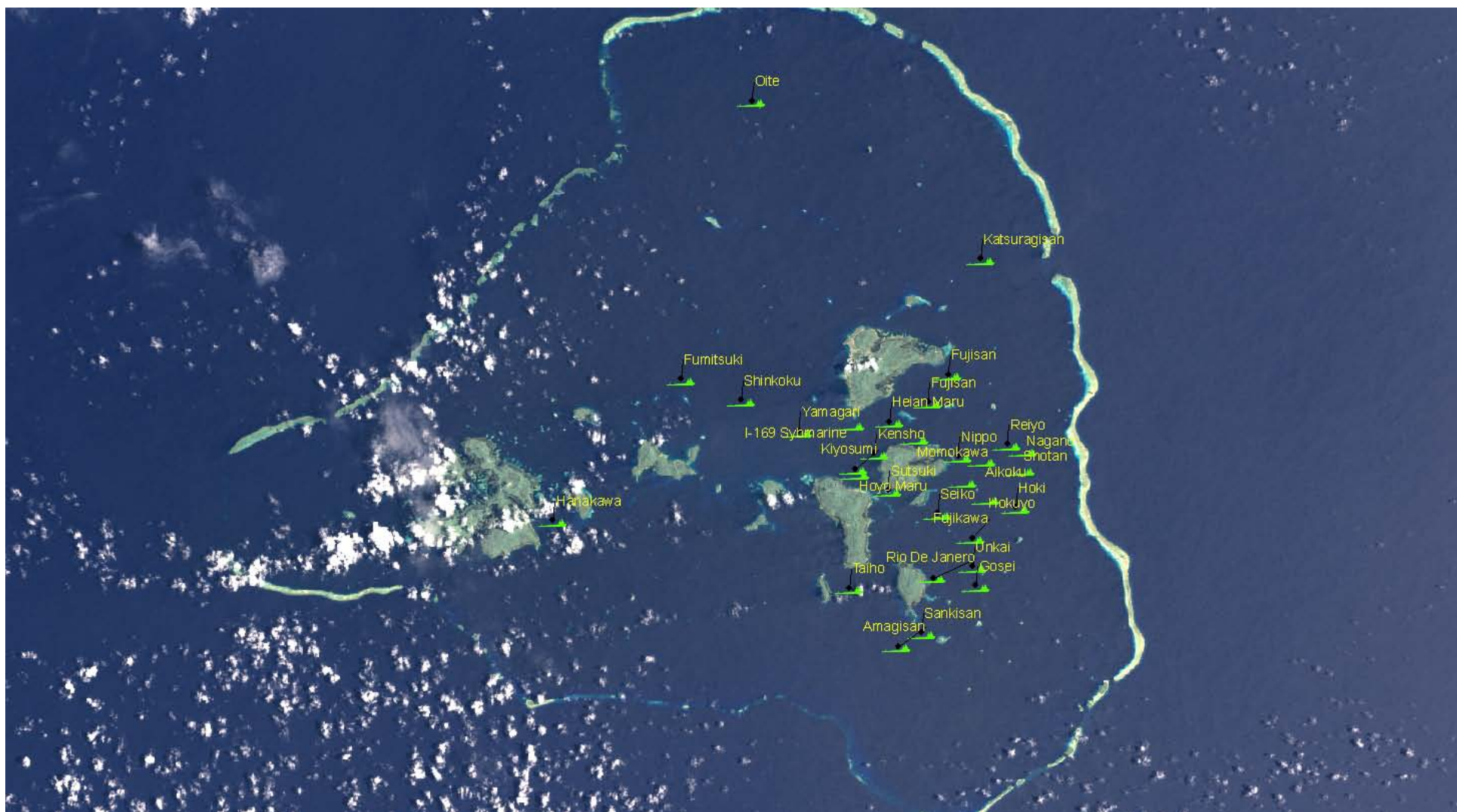


Figure 3 : Emplacements des épaves de la Seconde Guerre mondiale, d'après la base de données mondiale sur les épaves de Sea Australia

Les épaves du lagon de Chuuk comprennent 2 navires-citernes, 1 pétrolier, 1 porte-avions et au moins 19 navires de charge de plus de 1000 tonnes, 3 destroyers et au moins 4 navires de transport de plus de 8000 tonnes.

Diverses substances s'échappent de ces épaves dans le lagon de Chuuk depuis déjà quelque temps. Selon la base de données compilée dans le cadre de la stratégie régionale et l'étude Plan vigie réalisée en 2008, trois épaves du lagon de Chuuk présentent des fuites. Le Plan vigie comprenait également une étude sur la corrosion, qui a conclu que les épaves seraient totalement corrodées d'ici 10 à 15 ans et qu'elles contenaient encore une grande quantité d'hydrocarbures qui pourraient poser un énorme problème environnemental.

D'après les autorités locales, six épaves du lagon de Chuuk pourraient présenter des fuites. Elles sont décrites dans le Tableau 1 et représentées sur une image satellitaire du lagon à la Figure 4.

*Tableau 1 : Emplacements des épaves de la Seconde Guerre mondiale dans le lagon de Chuuk  
(données fournies par le gouvernement des ÉFM)*

Nom du navire	Tonnage	Latitude	Longitude	Type
Rio de Janeiro	9 626	N 07deg 18'16.0"	E 151deg 53'37.8"	Transport
San Francisco	5831	N 07deg 21'58.5"	E 151deg 54'50.5"	Navire de charge
Nippo	3764	N 07deg 22'57.2"	E 151deg 54'39.7"	Navire de charge
Fujisan	9524	N 07deg 25'04.0"	E 151deg 53'29.8"	Pétrolier
Hoyo Maru	8691	N 07deg 22'16.2"	E 151deg 50'41.1"	Pétrolier
Kiyosumi	8613	N 07deg 22'29.7"	E 151deg 50'35.8"	Transport



*Figure 4 : Emplacements des épaves de la Seconde Guerre mondiale  
(données fournies par le gouvernement des ÉFM)*

Le lagon de Chuuk et l'atoll de Kuop se trouvent sur un mont sous-marin de l'océan Pacifique, au-delà duquel la profondeur de l'eau atteint plusieurs milliers de mètres (figure 5).

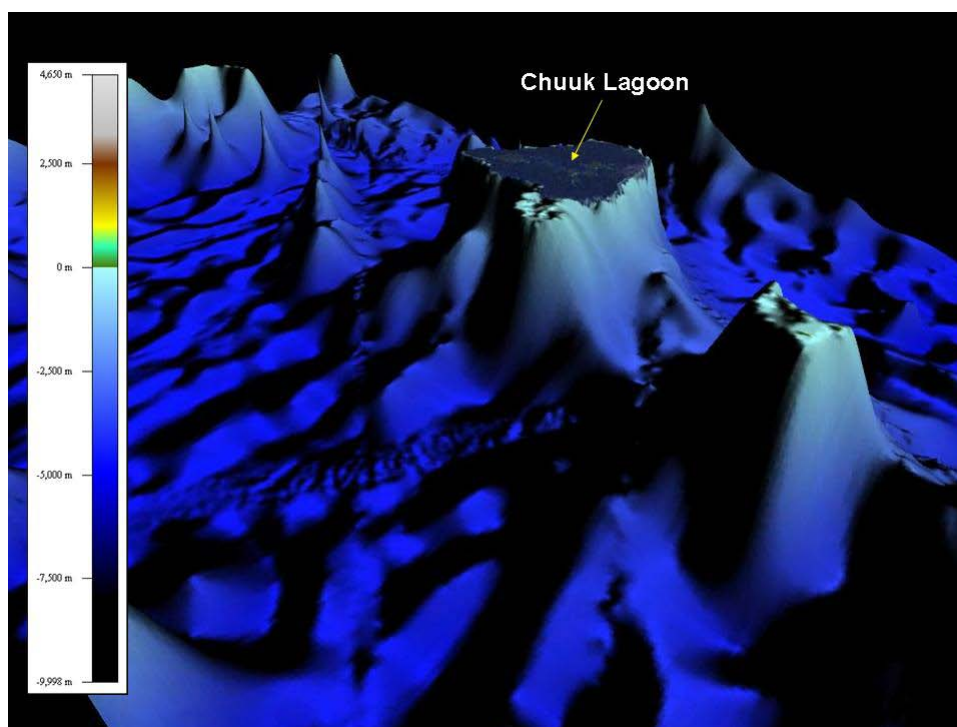


Figure 5 : Image satellitaire du lagon de Chuuk avec modèle bathymétrique 3D de la région

## **2.4 Instruments juridiques sur la pollution marine**

Plusieurs accords, conventions, instruments, politiques et initiatives exigent des pays signataires qu'ils coopèrent étroitement à la gestion de la pollution marine et à la préservation du milieu marin.

Au niveau international, il s'agit notamment de la *Convention des Nations Unies sur le droit de la mer* (UNCLOS); du programme *Action 21*, de la *Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement* (CNUED) et du *Programme d'action de la Barbade sur le développement durable des petits États insulaires en développement*.

S'y ajoutent des instruments de portée régionale tels la *Convention pour la protection des ressources naturelles et de l'environnement de la région du Pacifique Sud* (Convention de Nouméa) et les protocoles y relatifs, ainsi que le *Plan d'action pour la gestion de l'environnement de la région du Pacifique Sud 2001-2004* (Plan d'action du PROE).

Le 25 novembre 1986, les Membres du PROE réunis à Nouméa (Nouvelle-Calédonie) ont adopté la *Convention sur la protection des ressources naturelles et de l'environnement de la région du Pacifique Sud* (Convention de Nouméa) et les protocoles y relatifs. Ces protocoles constituent un cadre d'intervention officiel qui facilite la coopération entre les États et Territoires insulaires océaniques aux fins de prévention des incidents générateurs de pollution et d'intervention contre ces incidents, notamment les déversements en milieu marin. Les ÉFM sont parties à la Convention de Nouméa et à son protocole sur les interventions d'urgence.

### 3. ÉVALUATION DE L'ÉTAT DU LITTORAL ET DE L'ENVIRONNEMENT

L'état du littoral a été évalué, dans le lagon de Chuuk et autour de celui-ci, afin de recenser les effets délétères du mazout qui s'échappe de l'*Hoyo Maru*. L'annexe A donne des précisions sur les techniques d'évaluation de la pollution du littoral. Elle contient aussi des informations détaillées sur les impacts biologiques des déversements, le type d'hydrocarbure que contiennent probablement les épaves de la Seconde Guerre mondiale, ainsi que le devenir des hydrocarbures et l'incidence de leur comportement.

#### 3.1 Évaluation environnementale

Des agents du PROE et de l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) ont procédé à des enquêtes détaillées sur le littoral de l'île de Fefan susceptibles d'avoir été pollué par les hydrocarbures qui s'échappent de l'*Hoyo Maru*. Au moment de l'enquête, il y avait de légers reflets de pétrole à la surface de l'eau, ainsi qu'une forte odeur qui se dégageait du navire.

Le principal objectif des enquêtes était de confirmer l'absence de pollution des côtes par le pétrole. L'objectif secondaire était de recenser les types de littoral existant dans la zone, dans l'éventualité d'un déversement de pétrole.

D'après les observations, le récif abrite des poissons en abondance et d'autres formes de vie marine. Cela signifie que, du fait de sa lenteur, le déversement d'hydrocarbures n'affecte pas le récif comme le feraient des catastrophes naturelles telles que cyclones ou typhons ou d'autres sources de pollution. Toutefois, la proximité de l'*Hoyo Maru* fait que le récif est beaucoup plus vulnérable à une perturbation ou à un épisode de pollution qui pourrait l'endommager sérieusement.

La population locale pratique une pêche vivrière intense sur le récif. Au moment de l'enquête, trois personnes étaient en train d'y pêcher au harpon. Tout effet négatif sur ce récif perturberait la pêche, et par conséquent la source de nourriture de la population du lagon de Chuuk. Face à cette perturbation, les populations locales des ÉFM auraient à chercher des sources de nourriture de substitution. Lors de la perturbation de la pêche du lagon d'Ulithi induite par le déversement de pétrole de l'*USS Mississinewa*, les populations locales, à la recherche d'autres sources de nourriture, ont pillé des œufs de tortues, ce qui a eu des retombées écologiques de grande ampleur (Gilbert *et al.* 2003).

L'enquête visait à déceler la présence de pétrole à la surface du littoral ou enfoui ; aucune trace matérielle de pollution par du pétrole n'a été observée.

Les données concernant les types de littoral ont été consignées, et des photographies prises sur tous les sites pour illustrer les caractéristiques du littoral et les problèmes éventuels d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures (figure 6).



Toutes les photos prises par le PROE pendant les enquêtes ont été remises à l'antenne de l'EPA à Chuuk (EPA-Chuuk). Parmi les types de littoral observés figuraient des plages de sable fin, des plages de sable de grossier ou moyen, des plages à roches coralliennes dénudées, des bancs de sable, des récifs coralliens, des débris coralliens, un lagon et des mangroves.

	
<p><i>Plage de sable fin, mangrove</i></p> 	<p><i>Feuilles mortes denses et trou de crabe de palétuvier</i></p> 
<p><i>Littoral de l'île de Fefan</i></p> 	<p><i>Trous de crabe denses</i></p> 
<p><i>Mangroves</i></p> 	<p><i>Littoral semi-inondé à roches coralliennes</i></p> 





Figure 6 : Types de littoral observés et photographiés au cours de l'enquête



Figure 7 : Types de littoral observés et photographiés au cours de l'enquête

Au cours des enquêtes, les agents du PROE ont débattu avec le personnel de l'EPA-Chuuk les possibilités de riposte, les problèmes et les méthodes de suivi des impacts potentiels pour les différents sites.

### 3.2 Conseils techniques

Après les enquêtes, des réunions ont été organisées dans les locaux de l'EPA. Les thèmes suivants ont été abordés :

- Problèmes de nettoyage du littoral, options et méthodes applicables à chacun des types de littoral observés.
- Méthodes et programmes de suivi des impacts à appliquer pour démontrer les effets d'un déversement, en particulier, suivi éventuellement nécessaire pour l'établissement de preuves à l'appui de demandes d'indemnisation.

- Techniques d'évaluation des opérations de nettoyage du littoral (SCAT) : concepts et méthodes.
- Synthèse des données d'écotoxicité relatives aux impacts du pétrole sur les coraux.
- Méthodes et avantages de la segmentation préalable du littoral.

Des informations sur chacun des points précités ont été notées au cours de la réunion, et transmises à l'EPA-Chuuk. Le PROE transmettra à l'EPA-Chuuk d'autres documents concernant la segmentation préalable du littoral.

### **3.3 Formation**

Au cours des discussions avec l'EPA-Chuuk, l'intérêt potentiel d'un cours d'une journée sur la lutte contre les déversements d'hydrocarbures, dispensé par le PROE à l'intention du personnel clé, a été évoqué. Un inventaire de l'équipement requis a ensuite été dressé, et, le jeudi, un exercice a été organisé, avec la participation des autorités locales et de partenaires industriels. Un rapport complet a été remis à l'EPA-Chuuk.

### **3.4 Planification**

Un exemplaire de la version révisée du Plan national d'intervention en cas de déversements en mer de Chuuk (CHUUK NATPLAN) a été remis à l'EPA-Chuuk pour observations.

## 4. MODÉLISATION STOCHASTIQUE DE LA PROBABILITÉ DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

Pour aider l'EPA-Chuuk à planifier et évaluer les risques de déversements d'hydrocarbures, Asia-Pacific ASA a procédé à leur modélisation stochastique afin de simuler le scénario le plus noir, à savoir celui d'une nappe de pétrole s'échappant de l'*Hoyo Maru*. Ce modèle stochastique montrera la probabilité de pollution de chaque littoral. L'EPA-Chuuk pourra ainsi déterminer ses points d'intervention en cas d'accident.

L'évaluation des risques repose sur une combinaison de la probabilité d'un incident et des conséquences de cet incident. Les résultats de la modélisation stochastique de déversements produits par OILMAP permettent de connaître la probabilité d'impacts sur le littoral, la probabilité du déplacement de la nappe de pétrole dans une région maritime, ainsi que le temps minimum mis pour atteindre un site. Grâce à la cartographie environnementale des habitats et des ressources, on peut déterminer les « ressources menacées » en vue de l'analyse des conséquences.

### 4.1 *Modèle hydrodynamique du lagon de Chuuk*

Pour les besoins de la présente étude, la vitesse et le sens des marées ont été générés à l'aide du modèle océanographique/côtier tridimensionnel avancé de l'ASA (HYDROMAP). Les formulations du modèle et les courants et niveaux de la mer prévus en sortie (vitesse/sens des courants et niveaux de la mer) ont été vérifiés par des mesures effectuées sur le terrain dans le monde entier au cours des 23 dernières années (Isaji et Spaulding, 1984 ; Isaji et al., 2001 ; Zigic et al., 2003). Les données d'HYDROMAP relatives aux courants ont été introduites pour prévoir et déduire a posteriori des déversements antérieurs dans les eaux australiennes ; elles font partie du système national australien d'intervention d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures, exploité par la Direction australienne de la sûreté maritime (AMSA). Ce modèle est également le moteur hydrodynamique utilisé par plusieurs organisations maritimes dans le monde, y compris les Garde-côtes des États-Unis d'Amérique pour la planification des sauvetages en mer et les systèmes de modélisation des déversements d'hydrocarbures.

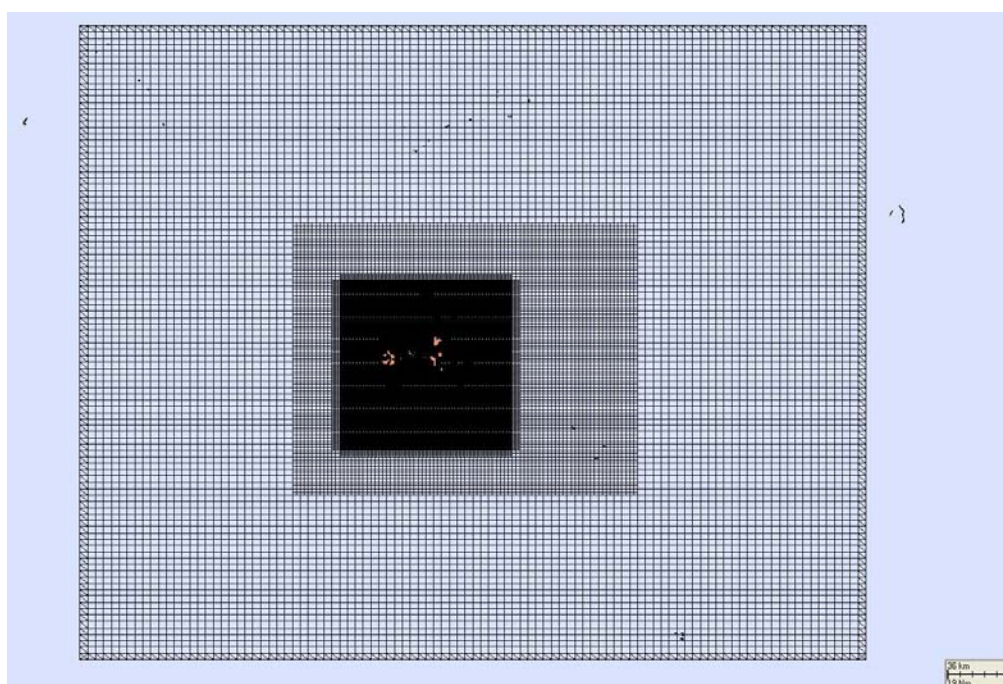
HYDROMAP simule la circulation des courants océaniques dans une région type, sous l'effet du forçage dû aux marées astronomiques, à la force d'entraînement du vent, et au frottement sur le fond, pour n'importe quel site de la planète. Le modèle applique une stratégie complexe de grilles emboîtées, admettant jusqu'à six niveaux de résolution spatiale. Cela permet d'obtenir une résolution plus élevée des courants dans des zones de plus grandes bathymétrie et complexité du littoral, ou présentant un intérêt particulier pour une étude donnée.

Pour simuler la circulation océanique sur une zone d'intérêt, le modèle doit disposer des données suivantes :

- (1) - La bathymétrie mesurée de la zone, qui définit le relief du fond marin ;
- (2) - L'amplitude et la phase des composantes de marée, utilisées pour calculer la hauteur des vagues en fonction du temps aux limites ouvertes du domaine. Les variations de hauteur des vagues ont été utilisées à leur tour pour calculer la propagation des courants de marée dans la région ciblée, et
- (3) - Des données anémométriques, afin de définir le cisaillement du vent à la surface de la mer.

La méthode d'intégration numérique suit celle de Davies (1977 a, b), perfectionnée sur le plan de l'efficacité du modèle par Owen (1980) et Gordon (1982). Isaji et Spaulding (1984) présentent le modèle en détail.

HYDROMAP a été configuré sur un domaine de 450 km (d'est en ouest) par 360 km (du nord au sud). Le domaine a été subdivisé dans le sens horizontal en une grille à quatre niveaux de résolution. Les grilles les plus fines ont été attribuées, progressivement, à des zones où il fallait avoir une résolution plus grande des trajectoires de circulation pour résoudre les flux sur les récifs, dans les chenaux, autour des littoraux ou sur une bathymétrie plus complexe (figure 8).



*Figure 8 : Étendue de la grille du lagon de Chuuk*

On a tout particulièrement veillé à résoudre avec précision l'écoulement de l'eau dans la matrice d'îles de la baie, ce qui a donné plus de 67 000 cellules différentes modélisées dans cette étude (figure 9).



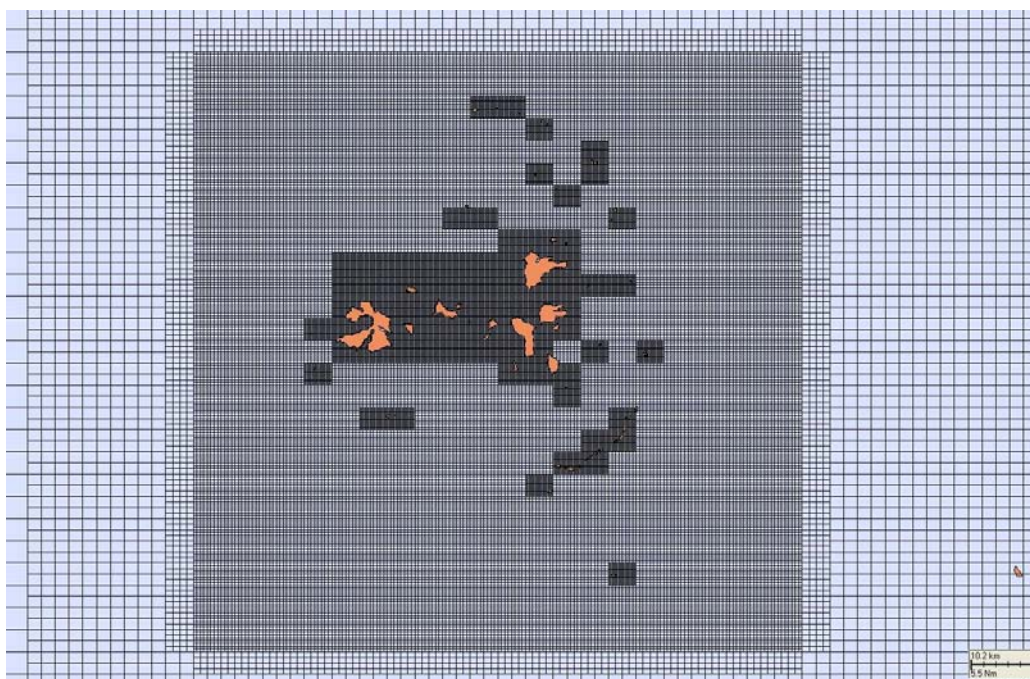


Figure 9 : Grille du lagon de Chuuk à 4 niveaux d'emboîtement

Les données bathymétriques utilisées pour définir la forme tridimensionnelle du domaine étudié ont été extraites des données d'enquêtes sur le terrain, en numérisant des cartes nautiques et à partir des données topographiques SRTM dégradé à 30 secondes d'arc (voir figures 10 et 11).

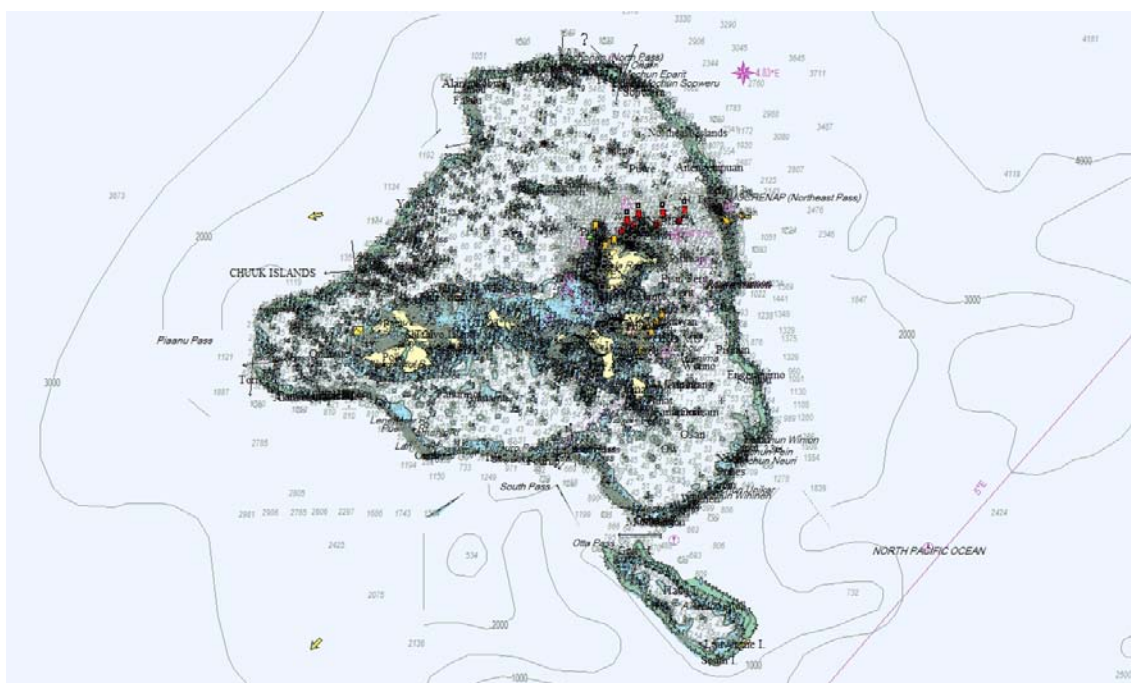


Figure 10 : Carte nautique et profondeur de l'eau – Lagon de Chuuk



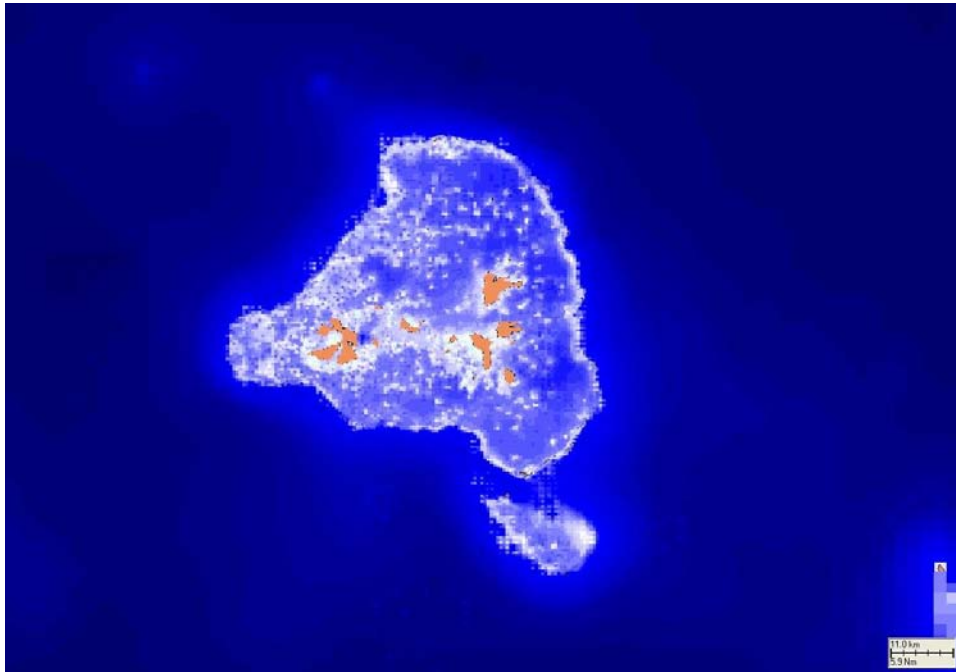


Figure 11 : Combinaison des données de profondeur fournies par le SRTM et des cartes nautiques en vue de la configuration du modèle hydrodynamique

Les données détaillées sur les marées se présentaient sous forme d'enregistrements de l'amplitude et de la phase, le long des limites ouvertes de la grille type, extraite de la base de données mondiales Topex Poseidon (TPX07.2), dérivée de mesures à long terme par satellite. À l'aide des données sur les marées, on a commencé par calculer les hauteurs de la surface de la mer, à chaque étape temporelle du modèle, en prenant les huit composantes les plus grandes et les plus significatives de la marée pour la zone (M2, S2, K1, O1, N2, P1, K2 et Q1). Le modèle a ensuite fait circuler la masse d'eau sur toute la grille et calculé les hauteurs de vagues et les courants tidaux résultants sur chaque cellule. Un « instantané » du courant total net pour chaque cellule est représenté sur la figure 12 a. Le courant net résulte de l'ensemble des composantes tidales M2, S2, K1, O1, N2, P1, K2 et Q1.

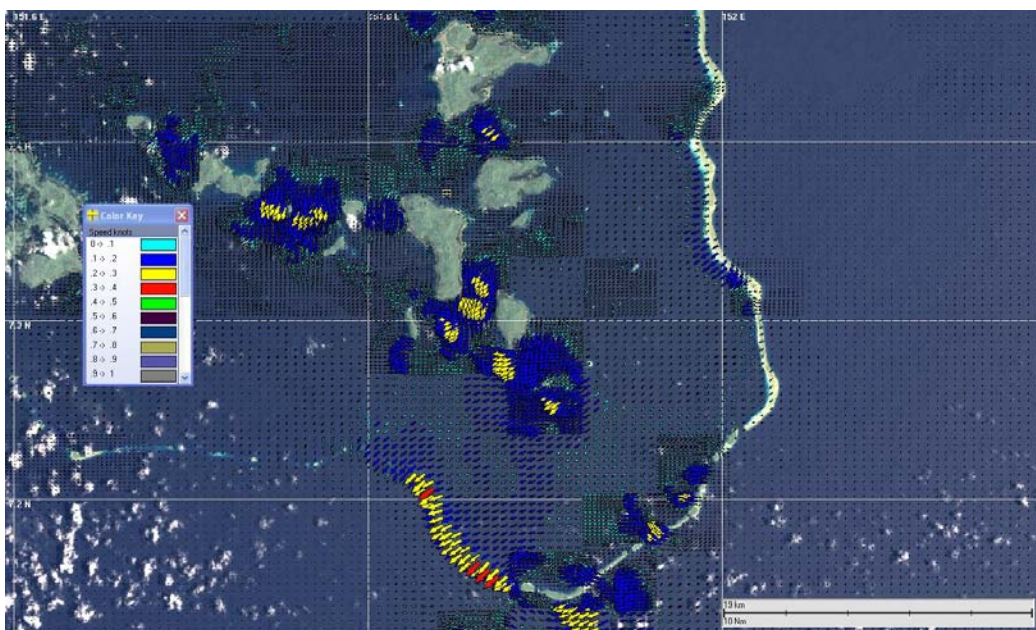


Figure 12 : Exemple de courants tidaux résultants, générés par HYDROMAP

## **4.2 Lagon de Chuuk – Conditions climatiques**

Le lagon de Chuuk est un paysage maritime tropical où les variations de température sont plus grandes dans la journée qu'entre deux saisons. Les îles de Chuuk sont caractérisées par une saison des alizés, de novembre à mai, et une saison d'humidité variable de juin à octobre.

La saison cyclonique va de juin/juillet à novembre, mais en dehors de cette saison, les cyclones ne sont pas rares. C'est en janvier et février que leur incidence est la plus faible.

Des températures et une hygrométrie constamment élevées et une très forte pluviosité moyenne caractérisent le climat maritime tropical humide. Les températures maximales diurnes sont généralement voisines de 30 °C, avec un minimum autour de 24 °C. Dans l'État de Chuuk, la pluviosité moyenne est d'environ 365 cm par an, et la température de l'eau de mer est en moyenne de 29-30 °C.

### **Données éoliennes NCEP**

Pour étudier l'influence des vents, des données sur les vents locaux ont été recueillies auprès du Centre de diagnostic climatique CIRES de la NOAA, qui dépend des Centres nationaux de prévision environnementale (NCEP). Cet ensemble de données est une synthèse de données climatiques issues de diverses sources mondiales, y compris de navires en mer, de l'Organisation météorologique mondiale et du Bureau australien de la météorologie. On a utilisé un logiciel de pointe de ré-analyse et des produits d'ingénierie logicielle pour obtenir des ensembles de données anémométriques maillées sur terre et sur mer. Les données anémométriques des NCEP résultent essentiellement de l'intégration (assimilation) de données historiques exhaustives et de données atmosphériques observées dans un modèle atmosphérique informatisé, couvrant la totalité de la planète et des prévisions mondiales à 6 heures d'intervalle. L'ensemble de données des NCEP ne représente pas des stations réelles de mesure des vents, mais des vents interpolés sur chaque point de données.

Les données anémométriques des NCEP sur 20 ans (des séries de 1989 à 2008 compris étaient disponibles à ces fins) ont été extraites pour plusieurs nœuds dans l'ensemble du domaine type du lagon, et un fichier des vents, variable dans l'espace, a été généré. Cela constituait un élément essentiel et nécessaire à entrer dans les modèles de déversement d'hydrocarbures et de produits chimiques. Un ensemble de données anémométriques sur 20 ans (7 303 jours), avec les moyennes des vitesses et directions du vent toutes les 6 heures, était essentiel pour établir les épisodes cycloniques et de mauvais temps dans la région ainsi que les oscillations climatiques naturelles, par exemple les épisodes El Niño/La Niña. Plus de 29 200 enregistrements ont été inclus dans cet ensemble de données spatiales anémométriques sur le domaine ciblé.

La figure 13 illustre les roses des vents mensuelles et annuelles au nœud NCEP n° 7495, le plus proche de la zone étudiée. Il faut noter que la convention atmosphérique de définition de la direction du vent, c'est-à-dire d'où vient le vent, est utilisée comme référence dans l'ensemble du présent rapport. Chaque branche de la rose représente le vent qui vient de cette direction, le nord étant en haut du schéma. Huit directions sont utilisées. Les branches sont divisées en segments d'épaisseur différente, qui représentent les plages de vitesse du

vent provenant de cette direction. Des intervalles de vitesse de cinq nœuds sont utilisés sur ces roses des vents. La largeur de chaque segment dans une branche est proportionnelle à la fréquence des vents soufflant depuis cette direction dans la plage de vitesse correspondante (les segments épais représentent des fréquences élevées, des segments minces représentent des fréquences faibles).

Les données NCEP (figure 13) montrent que les vents sont en moyenne tout juste supérieurs à 9 nœuds (force 3 sur l'échelle de Beaufort – vents faibles) avec un maximum de 39 nœuds (coup de vent – force 8 sur l'échelle Beaufort), sur la base de 4 enregistrements par jour, soit une moyenne de 6 heures. Des périodes de calme (moins d'un nœud – 0 sur l'échelle de Beaufort) sont rares, en moyenne, 0,22 % de l'année étant considéré comme calme. Selon la moyenne annuelle, la dominante des vents est du nord-est. De juillet à octobre, les vents sont variables et aucune configuration des vents ne domine.

En avril, les alizés commencent à faiblir et, en juillet, ils laissent la place aux vents plus faibles et plus variables des zones de calme équatorial. De juillet à novembre, les îles sont souvent sous l'influence de la zone de convergence intertropicale. C'est aussi la saison où des vents humides du sud et des perturbations tropicales sont le plus fréquents.

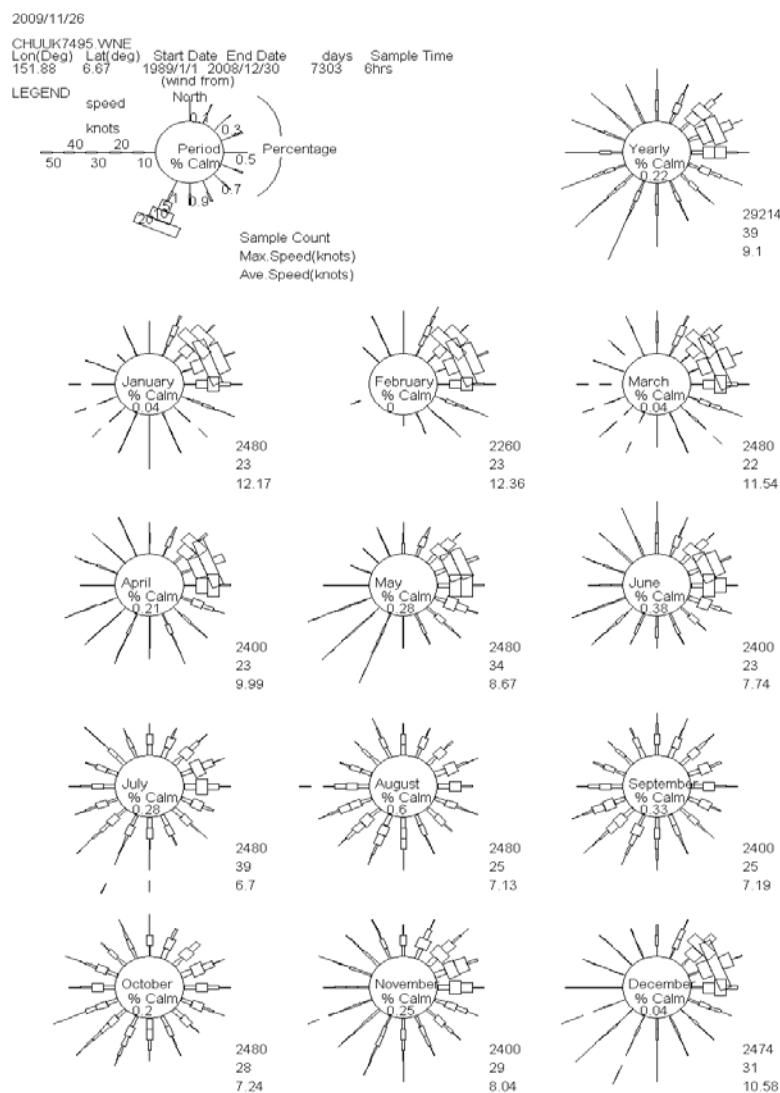


Figure 13 : Roses des vents mensuelles et annuelle pour NCEP n° 7495

### 4.3 Seuils d'épaisseur de la nappe de pétrole

Le niveau d'hydrocarbures minimum détectable à l'œil nu sur l'eau est de 0,04  $\mu\text{m}$  selon le Code d'apparence des hydrocarbures de l'Accord de Bonn (BAOAC). Le tableau 2 indique les différentes apparences et épaisseurs, illustrées par la figure 14. Pour les besoins de la présente étude, ce seuil minimum d'observation a été utilisé dans tous les modèles stochastiques.

Table 2 : Code d'apparence des hydrocarbures de l'Accord de Bonn (BAOAC) 2 mai 2006

Code	Description	Épaisseur ( $\mu\text{m}$ )	Concentration ( $\text{g}/\text{m}^2$ )
S	Reflet (argenté/gris)	0,04 – 0,30	0,04 – 0,30
R	Arc-en-ciel	0,30 – 5,0	0,30 – 5,0
M	Métallique	5,0 – 50	5,0 – 50
T	Vraie couleur discontinue	50 – 200	50 – 200
D	Vraie couleur	> 200	> 200



Figure 14 : Photographie d'hydrocarbures (reflet et arc-en-ciel).

L'épaisseur de cette nappe est inférieure à 0,001 mm (1  $\mu\text{m}$ )

(Source : « Oil on water sheens » – Ron Goodman Innovative Ventures Ltd)

### 4.4 Propriétés et comportement du pétrole s'échappant de l'Hoyo Maru

Les cargos japonais de cette taille utilisaient principalement du « mazout noir », équivalent du NSFO (mazout spécial de la Marine des États-Unis d'Amérique) et similaire au mazout ASTM n° 5. Ce mazout n° 5 consiste dans des distillats directs et de craquage et des produits résiduels de raffinage. Il contient un ensemble complexe d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques ainsi que d'hydrocarbures organiques polaires et asphaltènes. Les mazouts n° 4, 5 et 6 sont couramment désignés par « fiouls résiduels » ou « fiouls de soute », car ils sont fabriqués en totalité ou en partie à partir de résidus de distillation issus du raffinage. Le NSFO est l'équivalent du mazout n° 5 (léger) produit en mélangeant du mazout n° 6 à des distillats plus légers. La figure 15 ci-après représente un échantillon de NSFO prélevé dans la nappe s'échappant de l'USS Mississinewa (figure 16).





Figure 15 : Échantillon de mazout NSFO



Figure 16 : Mazout s'échappant de la coque de l'USS Mississinewa 2001

Les navires de guerre étant appelés à naviguer dans des eaux froides ou tropicales et à toute saison, le mazout était un mélange qui restait fluide dans des eaux arctiques sans nécessiter de chauffage. Par rapport aux mazouts lourds utilisés de nos jours par de gros navires commerciaux, ce mazout ne nécessitait ni chauffage ni préchauffage de la cuve et des canalisations avant l'injection dans le moteur, ce qui réduisait la taille des machines et les coûts de construction.

Le mazout n° 5 consiste généralement dans 75-80 % de mazout NSFO n° 6 coupé à 20 % de diésel marin plus léger. Il atteint parfois une viscosité finale de 170 centistokes à température ambiante. Le fluxant, plus léger, entraîne le mazout dans la colonne d'eau et s'évapore très vite lorsqu'il est déversé dans des eaux tropicales, tandis que l'huile résiduelle est plus persistante et risque davantage d'être transportée sur de longues distances sous l'effet des vents et des courants, jusqu'à ce qu'elle atteigne un rivage ou touche des systèmes récifaux frangeants.

Quelle est la définition des hydrocarbures persistants et non persistants ? D'après la définition utilisée selon la législation par l'EPA et les Garde-côtes des États-Unis d'Amérique, pour être qualifié de non persistant lorsqu'il est versé sur de l'eau, un hydrocarbure doit satisfaire aux critères suivants :

1. Au moins 50 % du produit par unité de volume distille à une température de 340 °C et
2. Au moins 95 % du produit par unité de volume distille à une température de 370 °C.

Cette définition des « hydrocarbures non persistants » a également été adoptée par le Fonds international d'indemnisation des dommages dus à la pollution par les hydrocarbures (FIPOL) et de nombreux Clubs de protection et d'indemnisation, à des fins d'harmonisation internationale. Les mazouts et fiouls de soute qui n'entrent pas dans cette catégorie sont qualifiés de « persistants dans l'environnement en cas de déversement ».



Il importe de déterminer la « persistance » d'un hydrocarbure pour connaître :

- ❑ le déplacement de la nappe, l'étendue de la dissolution et le devenir du pétrole,
- ❑ les distances parcourues depuis le site de déversement et par conséquent leur prévision,
- ❑ les techniques de récupération à la surface de l'eau, la logistique et l'emplacement des équipements,
- ❑ l'ampleur des capacités de nettoyage à terre et les volumes à prévoir dans le pire des cas.

La composition, les propriétés physiques et la toxicité résultante des NSFO utilisés au cours de la Seconde Guerre mondiale variaient en fonction de la source originale du pétrole brut traité dans les raffineries des pays, le processus de raffinage, la quantité et le type de déchets utilisés pour le mélange et la quantité et le type de fluxant utilisé. Il n'existe donc aucune liste complète des propriétés physiques pour le mazout utilisé par l'*Hoyo Maru*.

Après une fuite de mazout de l'*Hoyo Maru*, les composantes plus légères et plus volatiles disparaîtront par évaporation, dissolution et biodégradation. La fraction soluble dans l'eau, qui contient principalement des hydrocarbures aromatiques et des composés polaires, produira des effets de haute toxicité sur les organismes. La fraction lourde restante se fixera sur le substrat ou sera piégée dans les sédiments. Le résidu goudronneux persistera pendant de nombreuses années (voir figure 17).



Figure 17 : Résidus frais et décomposés de mazout sur les plages du lagon d'Ulithi, provenant du mazout déversé en 2001 par l'*USS Mississinewa*.

Un échantillon de mazout provenant de l'*USS Mississinewa* a été exposé à la température ambiante et n'a perdu que 15 % de sa masse en une journée (Gilbert 2001). Cela montre l'absence d'hydrocarbures légers et le caractère persistant du mazout.

Pour les besoins de la modélisation stochastique des déversements, on a utilisé du pétrole brut léger, qui présente des analogies avec le NSFO et est constitué d'un mélange d'hydrocarbures légers qui s'évaporent facilement et d'hydrocarbures persistants, plus lourds.

#### **4.5 Modèle stochastique de déversements accidentels d'hydrocarbures**

De nombreuses publications (Daniel *et al.* 2008, & Gilbert 1998) ont souligné l'importance des sources de données de météorologie marine et de la modélisation des déversements dans la détermination du déplacement et du devenir de la nappe, afin d'intervenir en cas d'urgence maritime et d'évaluer les risques pour le littoral.

Le modèle de déversement en surface a été établi à l'aide d'un modèle bidimensionnel de l'ASA, OILMAP. Il s'agit d'un système de modélisation informatisée qui permet de prédire le sort physique et chimique des nappes d'hydrocarbures sur l'océan et leurs effets. OILMAP contient un système d'information géographique (SIG) qui permet de localiser les ressources naturelles et d'en définir la nature, ainsi qu'une suite de modèles de prévision du comportement des nappes d'hydrocarbures à la surface de la mer.

Le modèle OILMAP simule le déplacement des nappes dans un domaine type, à l'aide de données variables dans le temps et l'espace, pour avoir la vitesse et la direction des courants marins et des données variables dans le temps pour obtenir la vitesse et la direction des vents. L'évolution temporelle de la distribution et du bilan massique de types particuliers d'hydrocarbures est prédite d'après les caractéristiques physiques du type de mazout considéré et des conditions météorologiques existantes. C'est pourquoi OILMAP contient des algorithmes qui rendent compte de l'étalement de la nappe, de son évaporation, de son émulsification, de son entraînement et de ses interactions avec le littoral. Si la nappe touche des littoraux (tels que définis dans le SIG OILMAP), on enregistre la quantité, le temps de contact et les ressources sur le rivage.

Les prédictions du modèle OILMAP ont été validées à l'échelle mondiale (Spaulding *et al.* 1992, 1994) et en Australie (King *et al.* 1999), par des observations sur le terrain et par rétrospection de marées noires passées.

Le système de modèles combinés HYDROMAP/OILMAP peut servir à prédire le sort d'une nappe pendant la phase de riposte d'un exercice de simulation d'un déversement, ou dans le cas de déversements multiples survenant dans un choix aléatoire de conditions (modélisation stochastique). Cette dernière approche fournit une estimation plus riche d'enseignements du risque d'exposition des ressources adjacentes à des hydrocarbures, parce qu'elle repose sur des déversements multiples pris pour échantillons, qui sont analysés collectivement afin d'avoir une pondération statistique des effets potentiels de déversements dans des conditions ambiantes probables, tout en tenant compte de conditions moins courantes. Cette approche est également plus réaliste car des déversements accidentels peuvent, par nature, survenir à tout moment de la journée et dans n'importe quelles combinaisons de conditions ambiantes, et non dans des conditions contrôlées avec précision.

OILMAP permet de prédire le devenir d'une nappe unique dans des conditions définies, ou de nappes multiples formées dans un choix aléatoire de conditions (modélisation stochastique). Le modèle stochastique effectue un grand nombre de simulations pour un site de déversement donné, en l'occurrence 500 passages d'essai du logiciel. Le modèle fait varier, de manière aléatoire, le temps de déversement, de sorte que le transport et la décomposition de chaque nappe sont soumis à un ensemble différent de conditions de vent et de courant régnant sur le site considéré. À chaque simulation, le modèle enregistre les cellules de la grille qui ont été en contact avec des particules d'hydrocarbures. Une fois la modélisation stochastique achevée, les résultats sont compilés à partir de chaque trajectoire échantillonnée pour fournir une pondération statistique. Les résultats peuvent être synthétisés sous les formes suivantes :

- (1) probabilité d'exposition d'une cellule de la grille à des nappes de pétrole,
- (2) temps minimum avant l'exposition.

La première estimation est calculée à partir du taux d'exposition pendant l'ensemble des simulations, et la deuxième est le scénario le plus noir pour n'importe quelle trajectoire échantillonnée (French *et al.*, 1999).

La méthode de la modélisation stochastique permet une mesure objective des résultats possibles d'un déversement et de quantifier la probabilité d'un résultat donné. Les conditions qui s'instaurent le plus couramment sont sélectionnées le plus souvent, tandis que des conditions moins fréquentes peuvent aussi être représentées. Les cellules du littoral qui subissent les effets du pétrole sont enregistrées, ainsi que des statistiques de la probabilité de pollution et la masse de pétrole à terre.

Il faut noter que la méthode stochastique (ou aléatoire) permet de mesurer les résultats les plus probables d'un déversement, non des résultats certains précis.

Un résumé des paramètres du modèle utilisés dans la présente étude est reproduit sur le tableau 3.

*Tableau 3 : Résumé des paramètres fixes du modèle utilisés pour la modélisation des déversements accidentels*

Paramètre	Valeur utilisée dans le modèle
Emplacement de la nappe	- 7,37117 latitude 151,84475 longitude
Date du déversement	À n'importe quel moment sur une période de 12 mois
Type d'hydrocarbure	Brut léger
Nombre de débuts de déversement par site, choisis au hasard	500 passages du modèle
Température de l'eau (°C)	Moyenne annuelle 29 °C
Vents enregistrés	Enregistrements sur 20 ans 1988-2008 des NCEP
Épaisseur minimum de la nappe	0,04 µm (microns)
Durée de chaque passage du modèle	72 heures
Volume de pétrole déversé	1 baril
Durée du déversement (heures)	Instantané

#### 4.6 Résultats du modèle stochastique

Sur la figure 18 est indiquée la probabilité combinée de pollution de l'eau de 1 à 100 % pour 500 rejets aléatoires d'un baril de pétrole brut léger à la surface provenant de l'*Hoyo Maru*, à un moment quelconque sur une période de douze mois.

On constate que la majorité des îles principales du lagon de Chuuk risquent d'être exposées à du pétrole s'échappant de l'*Hoyo Maru*, l'île de Fefan étant la plus exposée. Des effets sur le littoral sont possibles sur les îles de Fefan, Dublon, Moen, Parah, Udot et Lidot.

La force et la direction du vent semblent être les principaux facteurs de déplacement des nappes et des facteurs potentiels d'impact sur du littoral dans des zones du lagon. Les alizés dominants soufflant du nord-est font que c'est l'île de Fefan qui risque le plus de subir les effets de la nappe provenant de l'*Hoyo Maru*.

Pour une probabilité de pollution de l'eau de 20-100 % (figure 19), seule l'île de Fefan court ce risque dans des conditions annuelles moyennes. La probabilité de pollution du littoral entre 20-100 % ressort de la figure 20.

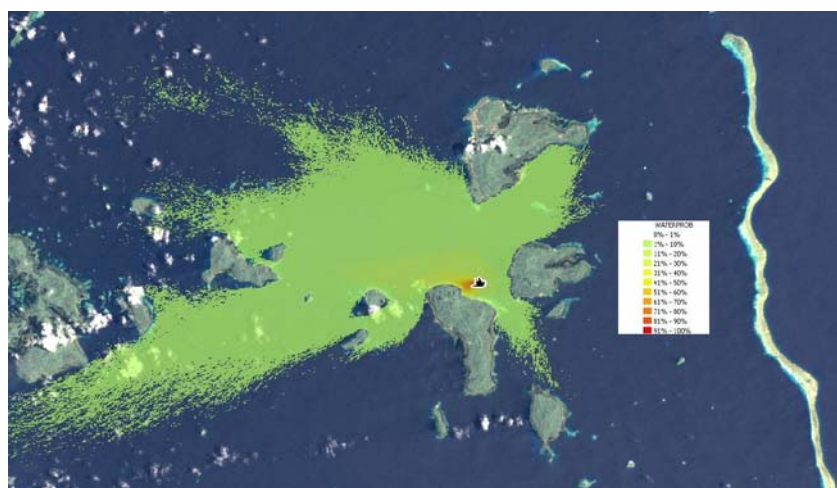


Figure 18 : Probabilité de pollution de l'eau de 1 à 100 %

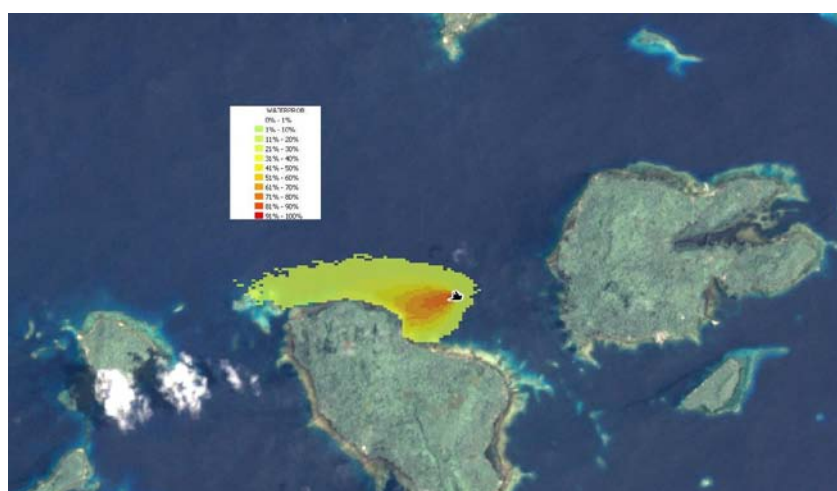


Figure 19 : Probabilité de pollution de l'eau de 20 à 100 %



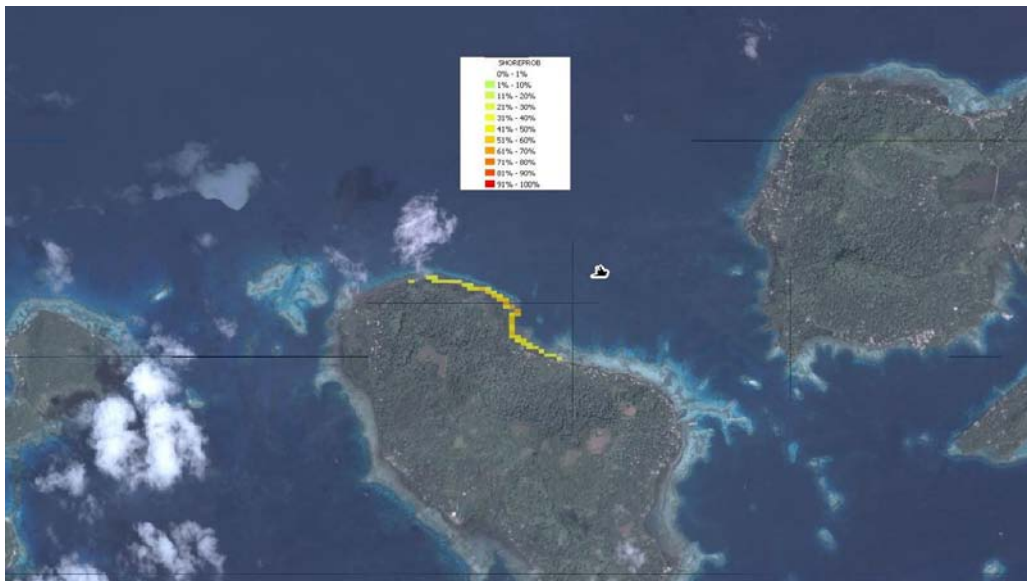


Figure 20 : Pourcentage de probabilité de pollution du littoral de 20 à 100 % seulement

La probabilité de pollution de l'eau de 40-100 % ressort de la figure 21, qui montre qu'environ 1 000 mètres du littoral de Fefan courent un risque élevé de pollution par la nappe s'échappant de l'*Hoyo Maru*.

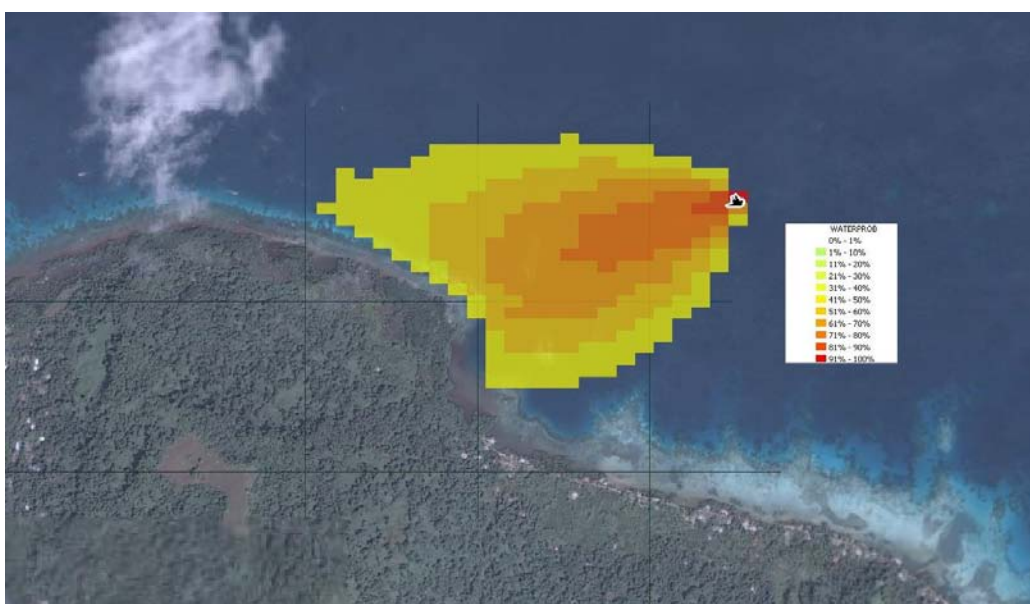
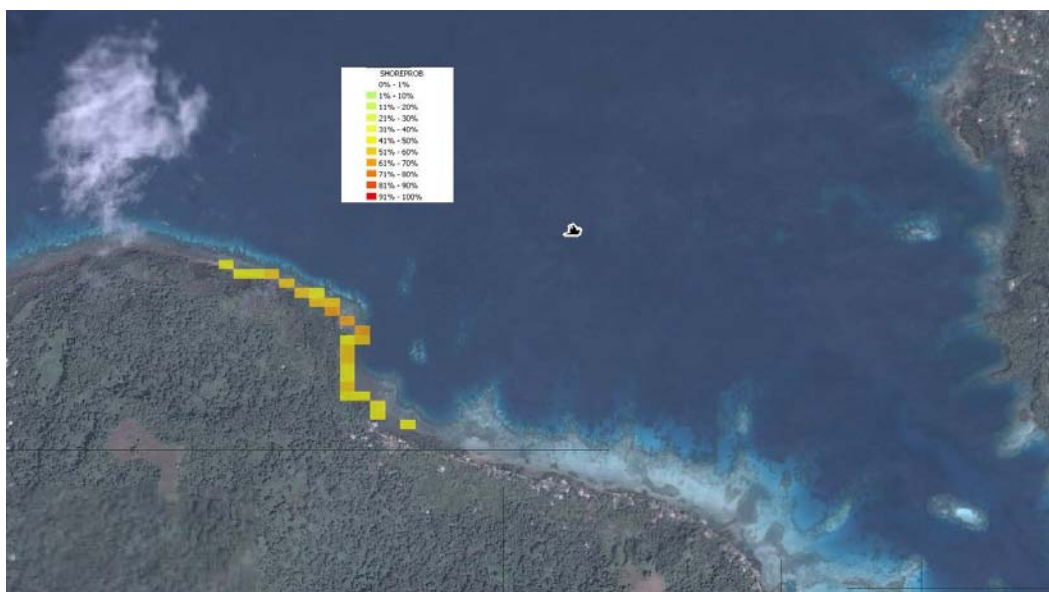


Figure 21 : Probabilité de pollution de l'eau de 40 à 100 % seulement

La figure 22 illustre la probabilité de pollution du littoral par le pétrole et indique que ce sont surtout les mangroves frangeantes et les récifs frangeants de la côte nord de l'île de Fefan qui sont exposés aux rejets de pétrole provenant de l'épave de l'*Hoyo Maru*.





*Figure 22 : Pourcentage de probabilité de pollution du littoral de 40 à 100 % seulement*

## 5. CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE

L'évaluation du littoral a montré qu'au moment de l'étude, il n'y avait pas de trace visible de pétrole sur les côtes examinées. Il n'a pas été constaté de présence de pétrole à la surface ni en dessous. Cela ne signifie pas que l'*Hoyo Maru* n'en laisse pas échapper, mais simplement, qu'au moment de l'enquête, aucune trace de pétrole n'a été observée sur les littoraux examinés. La forte odeur de pétrole dans la zone et le léger reflet à la surface de l'eau dénotent clairement la présence d'hydrocarbures sous la surface. Ce que l'on ne connaît pas, c'est la quantité de pétrole qui s'échappe du navire, et l'on ne sait pas combien il en reste à bord.

Le modèle stochastique fait appel à des données sur les vents et courants pour simuler un déversement de pétrole de l'*Hoyo Maru* à tout moment.

L'épave de l'*Hoyo Maru*, coulé au cours de la Seconde Guerre mondiale, n'est qu'à 1,1 kilomètre de la côte nord de l'île de Fefan. Le modèle de marée fourni par HYDROMAP et les 500 passages du modèle stochastique à l'aide d'OILMAP permettent de formuler les conclusions suivantes concernant les risques de pollution par le pétrole qui s'échappe de l'épave.

La force et la direction sont les principaux facteurs de déplacement des nappes de pétrole et d'impact potentiel sur les littoraux des îles du lagon de Chuuk. Les alizés dominants du nord-est exposent surtout l'île de Fefan au risque associé à l'*Hoyo Maru*. Plus de 1 000 m de côtes de l'île risquent d'être polluées par des déversements provenant de l'*Hoyo Maru*, probables à 40 %.

Les impacts des déversements d'hydrocarbures de l'*Hoyo Maru* sur le littoral peuvent également affecter les îles de Dublon, Moen, Parah, Udot et Lidot, mais ce risque est bien moins grand, de l'ordre de 10 % ou moins. Cela indique qu'une nappe de pétrole survenant à un moment aléatoire aurait moins de 10 % de probabilité de polluer ces côtes.

Environ 50 % du volume de pétrole déversé s'évaporerait sous l'effet des eaux tropicales chaudes et du vent, les 50 % restants touchant probablement terre à un endroit quelconque du lagon. En cas de forte houle, une partie de ce pétrole serait entraînée sous forme de gouttelettes, faisant courir un risque à la faune et à la flore marines. Le personnel de lutte contre la pollution devrait donc prévoir qu'au moins 50 % du pétrole qui s'échappera du navire sera probablement persistant et polluera les ressources naturelles marines et côtières, quelque part dans le lagon.

Pour les besoins de la lutte contre une marée noire, le temps minimum que le pétrole met pour atteindre le rivage, compte tenu du scénario le plus noir, revêt un intérêt particulier. Dans la plupart des scénarios, le pétrole atteint les rivages du lagon de deux à six heures après le rejet.

Le pétrole atteindra probablement le littoral de l'île de Fefan dans l'heure qui suivra le déversement en provenance de l'épave.

Le laps de temps potentiellement réduit entre le déversement de pétrole et son arrivée à terre souligne la nécessité de faire en sorte que les ressources les plus fragiles du lagon soient identifiées et que des interventions soient lancées immédiatement afin de détourner ou endiguer le pétrole avant qu'une nappe n'atteigne le rivage. Une compréhension instantanée de la direction et de la vitesse du vent soufflant sur le site aidera le personnel de lutte antipollution à apprécier et déterminer les sites touchés sur la trajectoire de la nappe de pétrole.

## 6. RECOMMANDATIONS

1. Il est recommandé d'effectuer une évaluation approfondie de l'*Hoyo Maru* pour déterminer le degré de corrosion et la quantité éventuelle de pétrole encore présente à bord.
2. Aucun scénario de rejet chronique de pétrole depuis l'épave de l'*Hoyo Maru* n'a été modélisé dans le cadre de la présente étude. Nous préconisons d'effectuer ce travail en priorité.
3. Nous recommandons également aux autorités des États fédérés de Micronésie de faire procéder à la modélisation stochastique des déversements d'hydrocarbures provenant de toutes les épaves connues dans le lagon de Chuuk, coulées durant la Seconde Guerre mondiale, afin de cerner les risques potentiels émanant de ces navires pour les côtes et de les classer par ordre de gravité de l'impact environnemental.



## 1. RÉFÉRENCES

- Daniel P, Gilbert T.D, Hackett B, Hines, A and Tiercelin C. (2008) Operational Metocean Products and Services In Support of Marine Pollution Emergency Response Operations, Proceedings of the International Oil Spill Conference 2008. American Petroleum Institute, Washington, D.C. [www.iosc.org](http://www.iosc.org)
- Davies, A. M. 1977a. The numerical solutions of the three-dimensional hydrodynamic equations using a B-spline representation of the vertical current profile: in Bottom Turbulence, Proceedings of the 8th liege colloquium on Ocean hydrodynamics. Nihoul, J.C.J. (Editor): Elsevier.
- Davies, A.M. 1977b. Three-dimensional model with depth-varying eddy viscosity: 27-48 in Bottom Turbulence, Proceedings of the 8<sup>th</sup> liege colloquium on Ocean hydrodynamics. Nihoul, J.C.J. (Editor). Elsevier.
- French, D., H. Schuttenberg, and T. Isaji, (1999). "Probabilities of oil exceeding thresholds of concern: examples from an evaluation for Florida Power and Light." In *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar*, June 1999, Environment Canada, pp. 243-270.
- Gilbert, T.D. (1998) *Maritime Response Operations- Requirements for Met/Ocean Data and Services*. In proceedings of the Conference on Meteorological and Oceanographic Services for Marine Pollution Emergency Operations (MARPOLSER 98) July 13-17, 1998, Townsville, Pub World Meteorological Organisation Report #960 pp 67-89.
- Gilbert, T.D (2001) *Report of the Strategic Environmental Assessment, USS Mississinewa Oil Spill, Ulithi Lagoon, Yap State, Micronesia*. Pub. September 18th 2001, South Pacific Regional Environment Programme – presented to the Governor of Yap State. (Pub. SPREP)
- Gilbert, T.D. (2002), *WWII Shipwrecks – A Pollution Threat to the Fisheries, Marine and Coastal Environments of the Pacific*, Waves, Vol 9, No.1, p10. ISSN 1321-7593.
- Gilbert T.D., S. Nawadra, A. Tafleichig, and L. Yinug, (2003). *Response to an Oil Spill from a Sunken WWII Oil Tanker In Yap State, Micronesia*. Proceedings of the International Oil Spill Conference 2003. American Petroleum Institute, Washington, D.C. pp. 1-8.
- Gordon, R. 1982. *Wind driven circulation in Narragansett Bay*. Ph.D. Thesis. Department of Ocean Engineering. University of Rhode Island: Kingston, Rhode Island , 161 pp

- IMO (2004) (MEPC51/QP3). Implementation of the OPRC Convention and the OPRC-HNS Protocol and relevant OPRC Conference Resolutions. Draft Report of the Meeting.
- Isaji, T. Howlett, E. Dalton C. and Anderson E. (2001). "Stepwise-Continuous-Variable-Rectangular Grid." Proc. 24<sup>th</sup> Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, pp 597-610.
- Isaji, T. and Spaulding, M. 1984. A Model of the Tidally Induced Residual Circulation in the Gulf of Maine and Georges Bank. *Journal of Physical Oceanography* 14: 1119-1126.
- King B., F.McAllister, G. Hubbert (1999). "Data requirements for calibration and validation of the spill model OILMAP". In, *Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities*. WMO Report No. 44. MARPOLSER 98 Proceedings Volume 1 – Research Papers. WMO/TD – No. 959. Pages 35-52.
- Michel J, Gilbert T.D. Etkin D, Urban, R Waldron J and Blocksidge, C (2005) *Potentially Polluting Wrecks in Marine Waters*, An Issues Paper for the International Oil Spill Conference May 2005, Pub. American Petroleum Institute, Washington, D.C. p1- 84. [http://www.iosc.org/docs/IOSC\\_Issue\\_2005.pdf](http://www.iosc.org/docs/IOSC_Issue_2005.pdf)
- Monfils R.M. Gilbert, T.D, Nawadra, S (2006) *Sunken WWII Ship Wrecks of the Pacific and East Asian Region: The Need for Regional Collaboration to Address the Potential Marine Pollution Threat*. Presented at East Asian Congress of the Sea, Kuala Lumpur, Malaysia, December 2003. Pub. J. Ocean and Coastal Management, Vol. No 2006.
- Monfils R. (2005) The Global Risk of Marine Pollution from WWII Shipwrecks: Examples from the Seven Seas. Proceedings of the International Oil Spill Conference, Miami, 2005.
- Nawadra, S. (2002). Regional Strategy to Address Marine Pollution from World War II Shipwrecks, Thirteenth SPREP Meeting of Officials (Item 7.2.2.1) Majuro, Marshall Islands 21-25 July, 2002. (Pub. SPREP)
- Owen, A. 1980. A three-dimensional model of the Bristol Channel. *Journal of Physical Oceanography* 10: 1290-1302
- Spaulding, M.L., E. Howlett, E. Anderson and K. Jayko (1992). "OILMAP: A global approach to spill modelling". 15<sup>th</sup> Annual Arctic and marine Oil Spill Program, Technical Seminar, Edmonton, Alberta, Canada, June 9-11, 1992.

- Spaulding, M.L., V.S. Kolluru, E. Anderson and E. Howlett (1994). "Application of three-dimensional oil spill model (WOSM/OILMAP) to hindcast the Braer Spill". *Spill Science & Technology Bulletin*, Volume 1, No. 1, pp. 23.
- Zigic, S., M. Zapata., T. Isaji., B. King and C. Lemckert (2003). "Modelling of Moreton Bay using an ocean/coastal circulation model." Coast and Ports Australasian Conference, 9 -12 September Auckland, New Zealand, paper 170.

## Annexe A – Évaluations SCAT

Les spécialistes internationaux des interventions en cas de déversement ont adopté une technique de reconnaissance connue sous le sigle de SCAT. À l'origine, ce sigle désignait les équipes d'évaluation et de nettoyage des rivages mais il désigne aujourd'hui les processus d'évaluation de la contamination et du traitement des rivages.

Une évaluation SCAT comprend :

- une évaluation systématique de tous les rivages de la zone concernée ;
- une division de la côte en unités ou « segments » géographiques ;
- un ensemble de termes, de définitions et de documents normalisés ;
- la détermination des options et techniques de nettoyage les plus acceptables du point de vue de l'environnement.



*Du mazout sur la plage – Déversement du Jody F Millennium en Nouvelle-Zélande  
(photo T. Gibert)*

### ***Impacts biologiques et autres des déversements d'hydrocarbures des épaves de la Seconde Guerre mondiale***

L'évaluation des risques potentiels posés par une épave exige une étude des impacts potentiels d'un déversement.

En termes généraux, les impacts des déversements d'hydrocarbures pendant et après l'incident peuvent avoir les conséquences suivantes :

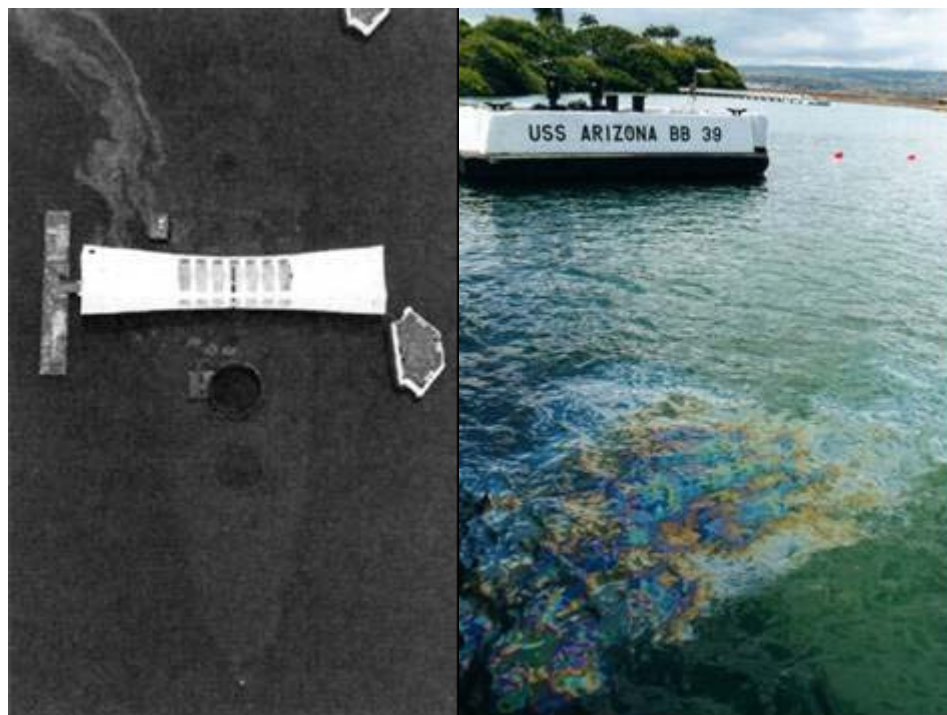
- altération physique et chimique à court et long terme des habitats naturels, résultant par exemple de l'absorption des hydrocarbures par les sédiments ;



- effet d'étouffement physique de la faune et flore sauvages ;
- effets toxiques, mortels ou non, sur les poissons, la faune et la flore sauvages ;
- changements à court et long terme causés dans les biocénoses par les effets des hydrocarbures sur des organismes clés (par exemple interruptions de la chaîne alimentaire) ;
- altération de la chair des espèces comestibles, notamment des poissons et des coquillages ;
- perte d'utilisation d'aires d'agrément telles les plages de sable ;
- perte de part de marché pour les ressources halieutiques et le tourisme ;
- bio-salissures des bateaux, du matériel de pêche, des rampes de mise à l'eau des bateaux, des appontements, etc.
- interruption temporaire des activités économiques liées à la mer.

### ***Assimilation des hydrocarbures dans l'environnement***

Dans la plupart des cas, les hydrocarbures finiront par être assimilés par l'environnement. Cependant, cette assimilation se fait plus ou moins rapidement selon les caractéristiques chimiques et physiques et la quantité déversée d'hydrocarbures, les conditions météorologiques et l'état de la mer, le type de rivage et selon que les hydrocarbures restent au large ou atteignent le rivage.



*Fioul s'échappant des soutes du cuirassé USS Arizona coulé à Pearl Harbour, Hawaï*

## ***Types d'hydrocarbures susceptibles de se trouver dans les épaves de la Seconde Guerre mondiale***

Il est à prévoir que la majorité des hydrocarbures se trouvant dans les grands bâtiments de la Seconde Guerre mondiale contiennent du fioul lourd, du diesel, des huiles lubrifiantes ainsi que du carburant aviation et de l'essence. Les sous-marins, qui étaient le plus souvent équipés de moteurs diesel, contiendront des quantités de mazout moins importantes, tandis que les grands bâtiments, cuirassés et destroyers sont susceptibles de contenir de grandes quantités de fioul lourd.

Lorsqu'on étudie le devenir d'hydrocarbures déversés en mer et leurs impacts probables, il convient de faire la distinction entre les hydrocarbures persistants et non persistants. Les navires sillonnant le Pacifique pendant la guerre utilisaient pour la plupart un mélange d'hydrocarbures persistants et non persistants. Ce mélange serait composé de fioul de soute (mazout n° 6) et de diesel marin (mazout n° 2).

## ***Devenir et comportement des hydrocarbures en milieu marin***

Le diesel des épaves de la Seconde Guerre mondiale vieillit relativement rapidement dans les eaux tropicales et, dans la plupart des cas, les nappes de diesel se dispersent dans la colonne d'eau dans un délai de 12 à 24 heures. Ceci ne veut pas dire que l'on n'observe pas d'impacts écologiques sur la vie aquatique, les récifs coralliens ou les espèces de faune ou de flore sauvages, mais simplement que le diesel « disparaît » de la surface peu de temps après son rejet. Une fois dispersée ou dissoute, la colonne de diesel peut continuer d'avoir des impacts significatifs sur les espèces intertidales et les ressources halieutiques.

Lors d'un déversement dans le milieu marin de mélanges d'hydrocarbures plus lourds, certains composants se dispersent ou se dissipent naturellement à mesure que la nappe se répand, certains se dissolvent dans la mer alors que d'autres s'accumulent dans des sédiments qui peuvent se déposer sur les zones intertidales si la nappe est proche du littoral. Les composants persistants les plus lourds peuvent s'émulsifier par gros temps ou se déposer sur les rivages sous forme de boulettes ou de galettes de goudron, ou encore dériver sur de grandes distances.

Pour mieux comprendre le devenir et le comportement des hydrocarbures dans le milieu marin, il est important de bien connaître le type d'hydrocarbure et les conditions environnementales.

Les facteurs environnementaux qui affectent le devenir des hydrocarbures et leur élimination sont les suivants :

- surface de nappe exposée (change rapidement) ;
- vitesse du vent et degré d'agitation de la surface de l'eau ;
- température de l'air et ensoleillement (rayonnement solaire) ;
- émulsification (ralentit considérablement l'évaporation).

Dans un lagon, les températures ambiantes élevées de l'air et de la mer, ainsi que les vents forts, accélèrent la vitesse d'évaporation. Dans le Pacifique, les températures moyennes de l'air et de la mer sont élevées (25 à 32 °C) avec une différence entre le jour et la nuit souvent inférieure à 10 °C.

Dans les conditions qui prévalent dans la plupart des zones du centre et du Sud du Pacifique, le comportement d'une nappe d'hydrocarbure altéré serait comparable à celui du mazout n° 6. La densité de cet hydrocarbure lourd est légèrement inférieure à celle de la concentration maximale d'eau de mer sous des températures tropicales. De nombreux hydrocarbures lourds sont susceptibles de flotter en surface et de demeurer à l'état liquide pendant les premiers stades d'un déversement. Les fractions légères seront perdues par évaporation et des nappes contiguës se formeront. Les nappes finiront par se fractionner, créant des champs de galettes et de boulettes de goudron éparpillées sur de grandes surfaces, qui peuvent se maintenir sur de grandes distances et se concentrer dans des zones de convergence. La viscosité de ces hydrocarbures étant plus élevée, les boulettes de goudron pourront être plus persistantes que celles du pétrole brut conventionnel.



*Zébrures de mazout sur la plage dans le lagon d'Ulithi causées par des fuites de l'épave du Mississinewa en août 2001*