

Estimer les houles cycloniques à partir d'observations météorologiques limitées : exemple de la submersion d'Anaa en 1906 aux Tuamotu (Polynésie française)

Remy Canavesio

Volume 14, Number 3, December 2014

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1034949ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Canavesio, R. (2014). Estimer les houles cycloniques à partir d'observations météorologiques limitées : exemple de la submersion d'Anaa en 1906 aux Tuamotu (Polynésie française). *VertigO*, 14(3).

Article abstract

Hurricane swell submersion is the main natural hazard in the atolls of the Tuamotu archipelago. The analyze of recent hurricanes by high-resolution coupled models has improved the understanding of this hazard. Nevertheless, the knowledge of extreme swell events is faced to representativeness problem of the sample caused by the low frequency of hurricanes in French Polynesia. This paper offer a methodology to estimate the size of hurricane swell by analyzing basic weather observations at sea level. This method that is appealing to swell model simulations as well, give an opportunity to improve the knowledge of these hazards by the extending of the analyze to historic hurricanes (more than one century) through archives. The Anaa submersion in 1906 is examined in detail in order to prove the interest of this method in the scope of risk studies.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2014



This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

<https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/>

Remy Canavesio

Estimer les houles cycloniques à partir d'observations météorologiques limitées : exemple de la submersion d'Anaa en 1906 aux Tuamotu (Polynésie française)

Introduction

- 1 En Polynésie française, le risque cyclonique se caractérise par sa très faible fréquence ainsi que par l'existence de « crises » durant lesquelles plusieurs systèmes peuvent se développer en peu de temps (Laurent et Varney, 2014). L'étude du système océan-atmosphère a montré que ces crises étaient fortement liées au phénomène ENSO¹ (Doumenge, 1983 ; Merle et Tourre, 1984). Depuis que l'observation de l'atmosphère par satellites permet de réaliser un suivi précis et exhaustif des cyclones dans le Pacifique Sud (années 1970), les îles situées au nord d'une ligne Makatea /Gambier ont été touchées par six systèmes (NOAA²) ayant au moins atteint la catégorie 1 sur l'échelle de Saffir Simpson (Simpson, 1974). Cinq de ces six cyclones se sont produits en moins de trois mois au début de l'année 1983, trois d'entre eux ayant atteint la catégorie 3 (Orama, Reva et Veena). En dehors de l'année 1983, un seul cyclone —d'ailleurs peu intense— a touché l'archipel des Tuamotu au cours des 40 dernières années (Cliff en 1992).
- 2 La crise cyclonique de 1983 a fait l'objet de nombreuses études climatologiques (Doumenge, 1983 ; Merle et Tourre, 1984) socio-économiques (Dupon, 1984, 1986 et 1987) ou géomorphologiques (Harmelin-Vivien et Laboute, 1986). Cette succession de cyclones perturbe par ailleurs les analyses qui tentent d'établir la fréquence de retour des cyclones à un l'échelle d'une île ou d'un archipel (Larrue et Chiron, 2010). Le biais statistique lié à cette répartition spatio-temporelle très singulière ainsi que la taille très restreinte de l'échantillon pose également la question de la validité des travaux portant sur les risques extrêmes dans l'archipel (Perdreros, et al., 2010 ; Lecacheux, et al., 2013 ; Damlamian et Kruger, 2013 ; etc.) En effet, les plus puissants cyclones de l'année 1983 sont supposés représentatifs des intensités maximales observables dans ces îles. La théorie statistique souligne pourtant les limites d'une telle affirmation lorsqu'elle est bâtie sur un échantillon aussi limité (Vigneron, 1997 ; Nott, 2006).
- 3 L'étude des cyclones plus anciens semble à même d'apporter des informations complémentaires. L'extension temporelle de l'analyse se confronte en revanche à un double problème : celui de restituer les principales caractéristiques d'un cyclone à partir de sources lacunaires et inégales, d'une part, et celui de l'absence de méthode permettant d'apporter une estimation chiffrée et fiable des hauteurs de houle à partir d'observations sommaires réalisées au niveau du sol, d'autre part. Cet article ambitionne de répondre à cette seconde question en proposant un modèle statistique permettant d'exploiter les observations météorologiques consignées dans les archives de manière à produire une estimation des hauteurs de houle générées par les cyclones tropicaux historiques. L'intérêt de cette approche sera souligné par l'étude de la submersion de l'atoll d'Anaa le 8 février 1906.
- 4 Entre 1860 et 1970, l'archipel des Tuamotu fut affecté par 4 cyclones (1878, 1903, 1905 et 1906) ayant —selon toute vraisemblance³— largement dépassé la catégorie 1. Trois de ces quatre cyclones provoquèrent des tragédies liées au phénomène de submersion, mais seulement deux d'entre elles sont correctement renseignées : le décès de 117 personnes à Kaukura en 1878 et la mort de 377 individus à Hikueru et de 96 autres à Marokau en janvier 1903 (Marcadé, 1915 ; Giovanelli, 1940 ; Teissier, 1982). La disparition d'une centaine de personnes⁴ le 8 février 1906 sur l'île d'Anaa s'est en revanche déroulée dans des conditions qui restent très imprécises en dépit des nombreuses observations météorologiques fournies par les archives (Marcadé, 1915). Cette journée a retenu notre attention pour deux raisons

principales : l'intensité supposée extrême de la submersion et la capacité d'évaluer cette dernière. L'hypothèse d'une submersion exceptionnelle est étayée par le fait que la tragédie s'est produite au milieu de l'après-midi (l'absence d'obscurité et d'effet « de surprise » n'ont pas contribué à aggraver le bilan humain), et dans une communauté sensibilisée à ces risques par les cyclones de 1878 et de 1905 dont elle était sortie indemne (aucun mort en dépit de pertes matérielles considérables).

- 5 Estimer la taille de la houle générée par un cyclone vieux de plus d'un siècle représente un défi, à la fois d'un point de vue méthodologique et pour la connaissance des risques cycloniques extrêmes aux Tuamotu. L'essai méthodologique exposé ici s'appuie sur un important travail de recherche archivistique mené à Tahiti et en France métropolitaine permettant de redessiner les caractéristiques du cyclone de 1906 (pression, vitesse de déplacement, trajectoire). Le résultat de ces recherches est ensuite analysé par le prisme de plusieurs simulations de houle cycloniques, puis confronté aux témoignages recueillis sur le terrain⁵ auprès de la population d'Anaa.

Approche météorologique du système

Sources et méthode

- 6 Depuis les années 1970, le suivi des cyclones est principalement réalisé par satellites (Laurent et Varney, 2014). Préciser les caractéristiques des cyclones plus anciens implique d'utiliser d'autres sources d'informations (Garcia Herrera, et al., 2004) et de croiser les témoignages d'époque en s'appuyant sur des données souvent disparates et irrégulières. À partir des années 1840, l'évangélisation des Tuamotu et la mise en place du protectorat ont contribué à l'établissement d'un réseau d'observation permanent à l'origine d'une volumineuse littérature grise dans laquelle se trouve consignée des observations de l'état du ciel, de la direction et la force du vent ainsi qu'une multitude d'observations de l'environnement (dégâts sur la végétation, forme des nuages, direction de la houle, etc.) De manière plus aléatoire, elles sont complétées par les rapports des navigateurs et des marchands qui sillonnaient ces atolls.
- 7 Les informations relatives à la direction du vent sur un atoll sont très précieuses pour évaluer la position du centre dépressionnaire, sa trajectoire et sa vitesse de déplacement, surtout lorsqu'elles peuvent être couplées à d'autres observations synchrones sur d'autres îles basses. En effet, dans l'environnement immédiat d'un cyclone, le champ de vent (en termes de direction) est relativement prévisible (Terry, 2007), et ce, quelle que soit l'intensité du système en son centre. Il est donc aisé de connaître la position du centre dès lors que l'on dispose de plusieurs observations simultanées et éloignées les unes des autres dans différents quadrants de la dépression. Cette méthode est particulièrement efficace dans l'archipel des Tuamotu dans la mesure où, en dehors des rafales ponctuelles liées à l'activité convective (Irish, et al., 2008), le vent observé au sol est très proche du vent synoptique en l'absence de reliefs significatifs. Dès lors, en connaissant l'heure et la position du centre dépressionnaire à plusieurs heures d'intervalle, il est aisé de procéder à un calcul de sa vitesse de déplacement.

Flint
739

07/02 à 14h

30km/h

Raiatea

08/02 à 8h

Tahiti

Makatea

45km/h

08/02 à 15H

Anaa

Motutunga

Hereretue

08/02 à 20h

65km/h

Vitesse indéterminée

Moruroa

Gambiers

Hao

Hikueru

Fakahina

Pukapuka

Takume

Takarua

limite Nord des destructions par le vent

150°W

20°N

0 100km

N

Trajectoire de l'œil et cône d'incertitude

Position de l'œil à différents horaires

Pression minimale en millimètres (mesurée sur baromètre anéroïde pour la plupart)

DIRECTION DES VENTS LES PLUS FORTS ET ADJECTIFS UTILISÉS

Brise "fraîche"

Vent "violent", "très violent"

Tempête, violence "extraordinaire", brise "affreuse"

Remy CANIVET © 2018

8 Évaluer l'intensité des cyclones est en revanche nettement plus problématique et sujet à davantage d'imprécisions tant le gradient de vent et de pression peut être fort au sein de ces systèmes (Holland, 1980). Les commentaires sur l'état du ciel, la force du vent ou l'état de la mer (précisés par des adjectifs du type : « calme », « très fort », « affreux » « digne du cap Horn ») sont très subjectifs et, partant, rarement exploitables. Les effets du cyclone sur l'environnement sont néanmoins d'une aide précieuse, notamment lorsque l'on peut établir avec certitude que l'œil est passé à la verticale de la zone pour laquelle on dispose d'observations (Hikuera 1903, Arutua 1905, Goelette « *Papeete* » 1906). En réalisant des comparaisons entre ces témoignages anciens parfois assortis de photographies et les dégâts infligés aux cocoteraies par les cyclones plus récents, on parvient à définir une fourchette relativement précise d'intensité des vents maximaux. Par ailleurs, la connaissance du cyclone de 1906 a bénéficié de la décision prise le 29 août 1904⁶ (en réaction à la catastrophe cyclonique de l'année précédente) de placer un grand nombre de baromètres dans les îles de l'archipel (Figure 1).

Les premières manifestations du système sont observées le 5 février à Flint au Nord-Ouest de la Polynésie française avec un temps pluvieux associé à un vent variable d'Ouest à Sud-Ouest (Marcadé, 1915). À ce stade, il ne s'agit probablement que d'une simple dépression tropicale très peu mobile, centrée au sud-est de l'île, et très proche de cette dernière. Après s'être lentement déplacée vers le Sud-Ouest⁷, la journée du 6 février est marquée par une immobilisation et une intensification du système qui atteint sans doute le stade de cyclone en fin de journée (pression s'abaissant de 749 à 743 mmHg à Flint entre 19 h et 22 h). Dans l'après-midi du 7 février, le cyclone se dirige en direction du Sud-Sud-Est tout en se creusant encore davantage⁸. À Flint, le vent de Nord-Nord-Ouest souffle en tempête toute la journée et la pression atteint un plancher à 739 mmHg à 12 h qui se prolonge jusqu'au soir malgré l'éloignement du cyclone. Ce dernier commence alors à se faire sentir dans l'archipel de la Société et sur l'extrémité occidentale des Tuamotu avec un vent qui se renforce partout⁹ et par une houle de plus en plus grosse sur les côtes exposées. Sa trajectoire le fait passer à une centaine de kilomètres à l'ouest de Makatea où une pression de 736 mm est enregistrée à 5 h

- le 8 février alors que le vent et la houle de Nord atteignent leur paroxysme en dévastant l'île¹⁰. La trajectoire qui menace Tahiti¹¹ se redresse ensuite à l'Est-Sud-Est alors que l'œil se trouve entre Papeete et Makatea (pression minimale de 738 mmHg à Papeete à 8 h du matin).
- 10 Le danger principal se porte alors sur l'atoll d'Anaa qui se trouve dans le demi-cercle « dangereux¹² » du cyclone, au nord immédiat de la trajectoire de l'œil. Les observations réalisées ensuite à Anaa permettent d'établir que la vitesse de déplacement augmente considérablement pour atteindre une moyenne de 45 km/h tout à fait remarquable pour un cyclone tropical. Dès lors, le système devient de plus en plus asymétrique en générant une houle énorme sur son flanc gauche qui ravagera la quasi-totalité des atolls de l'archipel¹³. En milieu de journée, la goélette *Papeete* partie le matin du port de Tukahora à Anaa tente vainement de fuir devant la tempête et se retrouve dans l'œil du cyclone entre 15 h et 15 h 30. Le capitaine Michaeli qui juge être à une trentaine de milles dans l'ouest-sud-ouest de la pointe nord d'Anaa relève une pression de 715 mmHg au cœur de l'œil après avoir relevé 730 mmHg à 13 h. Les témoignages récoltés à Anaa ne font pas mention d'interruption temporaire du vent ce qui indique que l'île est restée à l'extérieur de l'œil. Ces mêmes témoignages soulignent par contre la brutalité de la bascule du vent du secteur nord à l'ouest-nord-ouest au moment du paroxysme. Ce faisceau d'indicateurs concordants permet ainsi d'assurer que l'œil du cyclone a longé la côte sud d'Anaa entre 16 h et 17 h, l'atoll se trouvant ainsi dans la zone la plus dangereuse du cyclone : le demi-cercle dangereux du mur de l'œil. Par la suite, les observations réalisées dans le sud et l'est de l'archipel des Tuamotu permettent d'établir que la vitesse de déplacement s'accroît encore jusque dans les parages d'Hereretue /Hikueru pour atteindre 65 km/h environ¹⁴. La houle submerge alors les îles de Faite, Motutunga et Hikueru faisant respectivement 5, 6 et 7 victimes. Au-delà, la trajectoire est plus imprécise en l'absence d'observations croisées. On sait néanmoins qu'il provoqua quelques dégâts dans l'archipel des Gambier en passant dans l'ouest de celui-ci.

Contribution à l'évaluation des submersions extrêmes aux Tuamotu

- 11 *Méthode : Comparer les données d'archives avec les modélisations récentes*
- 12 Aux Tuamotu, l'analyse des archives montre que les submersions provoquées par les cyclones représentent le principal risque naturel pour les populations. Dès 1903, ce risque fait l'objet d'une politique de protection civile spécifique avec la validation d'investissements destinés à créer des plateformes surélevées (Charlier, 1904). Aujourd'hui, l'utilisation de modèles numériques simulant les submersions permet d'étendre la réflexion à d'autres domaines de l'urbanisme (Rios-Wilks, 2013) : délimitation des zones à risques, taille minimale des pilotis sur lesquels sont construites les habitations... Cette approche se confronte néanmoins au problème de l'évaluation de l'intensité maximale des submersions, elle-même liée à la question de la représentativité des cyclones récents pris en considération par les modèles. Nous allons donc voir si les renseignements récoltés sur le cyclone de 1906 permettent d'affiner la connaissance des submersions aux Tuamotu en élargissant l'échantillon à une submersion du début du vingtième siècle.
- 13 Dans cette optique nous proposons de comparer les paramètres météorologiques connus de ce cyclone (pression et vitesse de déplacement) avec ceux des cyclones ayant fait l'objet de simulations de houles déjà publiées dans différents articles et rapports récents (Tableau 1). Les simulations utilisées sont issues de 14 cyclones, 9 d'entre eux ayant directement concerné la Polynésie française. Afin d'élargir cet échantillon et de représenter une palette aussi large que possible de situations synoptiques, certains cyclones ont été utilisés à plusieurs reprises (phase de creusement, intensité maximale, vitesse de déplacement plus ou moins élevée, etc.) en respectant un minimum de 24 h entre chaque utilisation. Une attention particulière a été portée à ce que les valeurs de houle ne soient pas significativement modifiées par la présence d'îles dans la zone de fetch. L'échantillon utilisé est ainsi composé d'un total de 27 situations cycloniques, essentiellement modélisées à partir du modèle Wavewatch3 (Moon, *et al.*, 2003 ; Lecacheux, *et al.*, 2013) alors que le modèle MIKE21 a quant à lui été choisi par Damlamian et Kruger (2013) pour réaliser une simulation d'Orama.

Tableau 1. Simulations récentes de houles cycloniques utilisées dans cette étude.

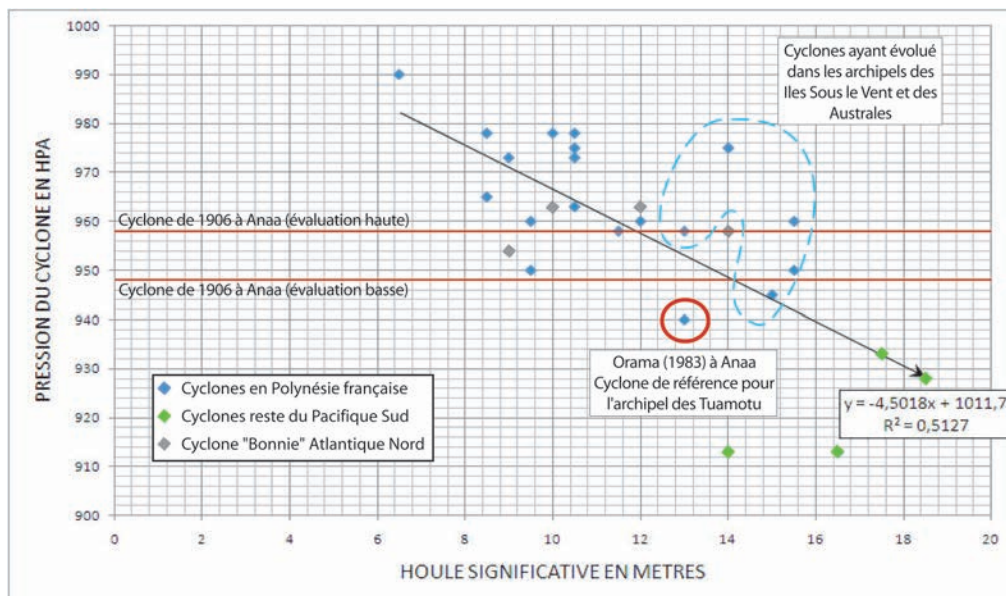
Cyclone	Source de la modélisation	Date et heure (UTC)	Latitude	Longitude	Vent en noeuds (NOAA)	Vitesse de déplacement sur 6h (km/h)	Pression dans l'oeil (hpa)	Houle maximale en mètres
"ORAMA"	Damlamian & Jens, 2013	25/02/83 12UTC	17.17 S	146.16 W	90	7,5	940	13
"ORAMA"	Lecacheux, et al., 2013	25/02/83 18UTC	17.37 S	145.55 W	87.5	8,7	963	11
"VEENA"	Lecacheux, et al., 2013	11/04/83 18UTC	14.27 S	148.19 W	102	8	950	9,5
"VEENA"	Lecacheux, et al., 2013	12/04/83 18UTC	17.31 S	148.52 W	94	15,7	958	11,5
"VEENA"	Lecacheux, et al., 2013	13/04/83 18UTC	23.36 S	142.53 W	63	48	975	14
"MARTIN"	Lecacheux, et al., 2013	03/11/97 12UTC	16.26 S	154.18 W	92	36,8	950	15,5
"MARTIN"	Lecacheux, et al., 2013	04/11/97 00UTC	19.31 S	150.53 W	82	42,5	960	15,5
"REVA"	Lecacheux, et al., 2013	11/03/83 18UTC	15.31 S	151.54 W	85	4,7	965	8,5
"NANO"	Lecacheux, et al., 2013	25/01/83 12UTC	17.58 S	140.03 W	60	14,7	973	9
"NANO"	Lecacheux, et al., 2013	26/01/83 18UTC	21.31 S	135.14 W	45	28,3	978	10,5
"CLIFF"	Lecacheux, et al., 2013	07/02/92 00UTC	15.00 S	139.05 W	65	24	978	10
"WASA"	Lecacheux, et al., 2013	10/12/91 06UTC	15.19 S	154.32 W	90	13	960	9,5
"WASA"	Lecacheux, et al., 2013	11/12/91 12UTC	19.11 S	151.55 W	80	18,3	973	10,5
"TAHMAR"	Lecacheux, et al., 2013	11/03/81 06UTC	19.48 S	148.54 W	57	29,2	975	10,5
"TAHMAR"	Lecacheux, et al., 2013	10/03/81 12UTC	19.49 S	153.28 W	42	25,3	990	6,5
"OSEA"	Lecacheux, et al., 2013	26/11/97 12UTC	18.11 S	151.23 W	85	21,8	960	12
"OSEA"	Lecacheux, et al., 2013	25/11/97 18UTC	15.16 S	153.19 W	75	16,2	978	8,5
"OLI"	Lecacheux, et al., 2013	05/02/10 18UTC	23.58 S	148.59 W	Inconnu	25,8	958	13
"OLI"	Lecacheux, et al., 2013	04/02/10 18UTC	19.30 S	151.56 W	Inconnu	19,7	945	15
"OLAF"	Lecacheux, et al., 2013	17/02/05 00UTC	15.30 S	168.06 W	130	24	913	16,5
"OLAF"	Lecacheux, et al., 2013	18/02/05 06UTC	21.14 S	162.50 W	107	39	928	18,5
"PERCY"	Lecacheux, et al., 2013	02/03/05 06UTC	16.18 S	165.16 W	132	12,5	913	14
"NANCY"	Lecacheux, et al., 2013	15/02/05 00UTC	16.29 S	159.47 W	107	31,8	933	17,5
"BONNIE"	Moon, et al., 2003	24/08/98 00UTC	24.47 N	71.48 W	100	8	954	9
"BONNIE"	Moon, et al., 2003	25/08/98 00UTC	26.55 N	73.13 W	100	16,8	963	12
"BONNIE"	Moon, et al., 2003	26/08/98 00UTC	30.48 N	76.24 W	100	23,1	958	14
"BONNIE"	Moon, et al., 2003	27/08/98 00UTC	34.00 N	77.42 W	95	11,3	963	10

- 14 Les valeurs de houle ont une fiabilité de plus ou moins un mètre dans la mesure ou elles ont été identifiées graphiquement à partir des cartes issues de ces trois publications. La vitesse de déplacement correspond à la vitesse moyenne pendant les six heures précédant l'heure de simulation de la houle. Cette vitesse a été calculée à partir des cartes de trajectoires fournies par la NOAA. Enfin, les valeurs de pression sont, pour la plupart, issues des simulations elles-mêmes (parfois calculées à partir des cartes de baromètre inverse) et sont très proches —pour les cyclones récents— des estimations de la NOAA.
- 15 Bien que nous ne disposions pas de cartes météorologiques détaillées du cyclone qui ravagea Anaa le 8 février 1906, les éléments recueillis permettent d'en dresser les principales caractéristiques, notamment au cours de la dizaine d'heures précédant la submersion de l'atoll. En effet, grâce aux relevés fournis par la goélette *Papeete* au sein de l'œil nous disposons d'une valeur de pression d'une précision supérieure à celle que fournirait l'interprétation d'images satellites infrarouges (Dvorak, 1975). Par ailleurs, nous connaissons la vitesse de déplacement du système avec une marge d'erreur très limitée, d'environ cinq kilomètres par heure. En effet, en passant entre Makatea et Tahiti où des relevés ont été effectués toutes les heures, la position de l'œil du cyclone à huit heures peut être estimée avec une marge d'erreur inférieure à cinquante kilomètres alors que la position de l'œil à 15 h 15 est connue avec une marge d'erreur quasi nulle¹⁵.
- 16 Pour réaliser des simulations de houle, les modèles numériques accordent aussi une grande importance aux dimensions du système (Irish, et al., 2008). Bien que nous ne puissions pas fournir d'information sur la taille du cyclone de 1906, l'analyse qui va suivre vise à comparer les valeurs de pression et de vitesse de déplacement du cyclone avec celles des cyclones récents, d'abord de façon indépendante, puis à partir d'une méthode combinée, afin de voir s'il est possible d'estimer la hauteur significative d'une houle cyclonique à partir d'observations aussi rudimentaires.

La pression, un paramètre insuffisant à la détermination de la houle cyclonique

- 17 La pression mesurée par la goélette *Papeete* (715 mmHg soit 953 hPa) correspond à un cyclone de catégorie 3 sur l'échelle de Saffir-Simpson produisant un vent moyen de 90 nœuds environ. En 1906, cette valeur fut notablement amplifiée sur le côté gauche du cyclone par la vitesse de déplacement élevée. Selon ce critère, le cyclone de 1906 au niveau d'Anaa est au moins aussi puissant que le cyclone Martin¹⁶ de 1997 à Bellingshausen (Iles Sous le Vent) ou que le cyclone Oli de 2010 à Tubuai (Étienne, 2012). Malgré une corrélation certaine avec la hauteur de la houle significative¹⁷ ($R^2 = 0.5$), la pression est insuffisante pour estimer avec précision l'intensité de cet aléa (Moon et al., 2003 ; Bowyer et MacAfee, 2005), ou celle des marées de tempêtes (Irish, et al., 2008). En effet, dans l'échantillon de cyclones récents utilisés, la pression observée en 1906 par le Commandant Michaeli correspond à des hauteurs de houle comprises entre 9 m et 15.5 m (figure 2).

Figure 2. Relation pression/houle, régression linéaire et comparaison avec le cyclone de 1906.

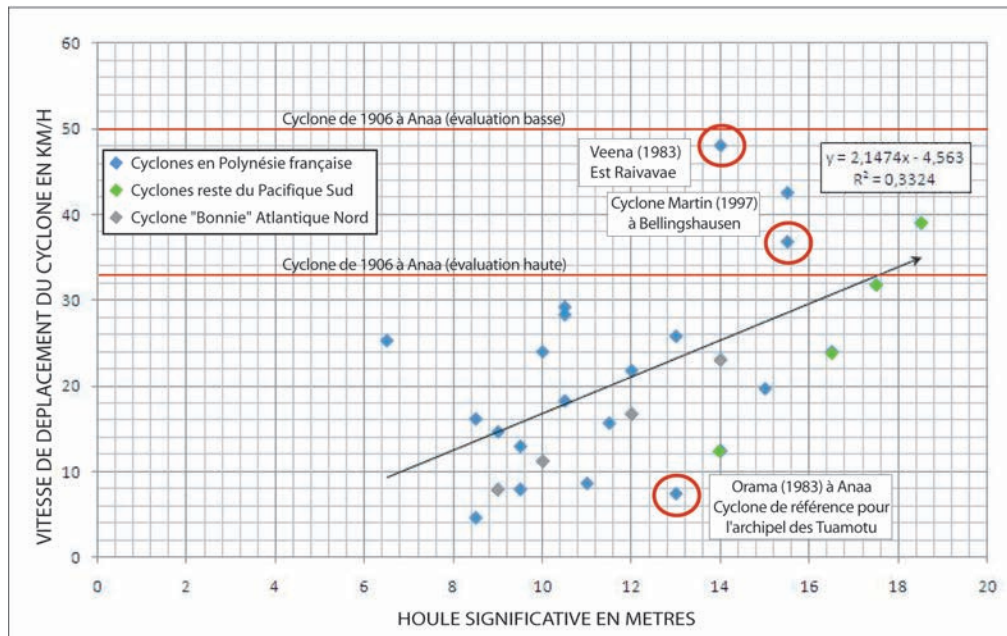


- 18 Malgré cette incertitude qui confirme que la capacité de destruction d'un cyclone sur le littoral n'est pas dépendante du seul facteur « pression » (Powel et Reinholds, 2007), c'est ce paramètre —également au cœur de la classification de Simpson (1974)— qui semble être souvent choisi pour considérer que le cyclone Orama est représentatif des situations cycloniques extrêmes dans l'archipel des Tuamotu¹⁸.

L'importance de la vitesse de déplacement et des « trapped-fetch-waves »

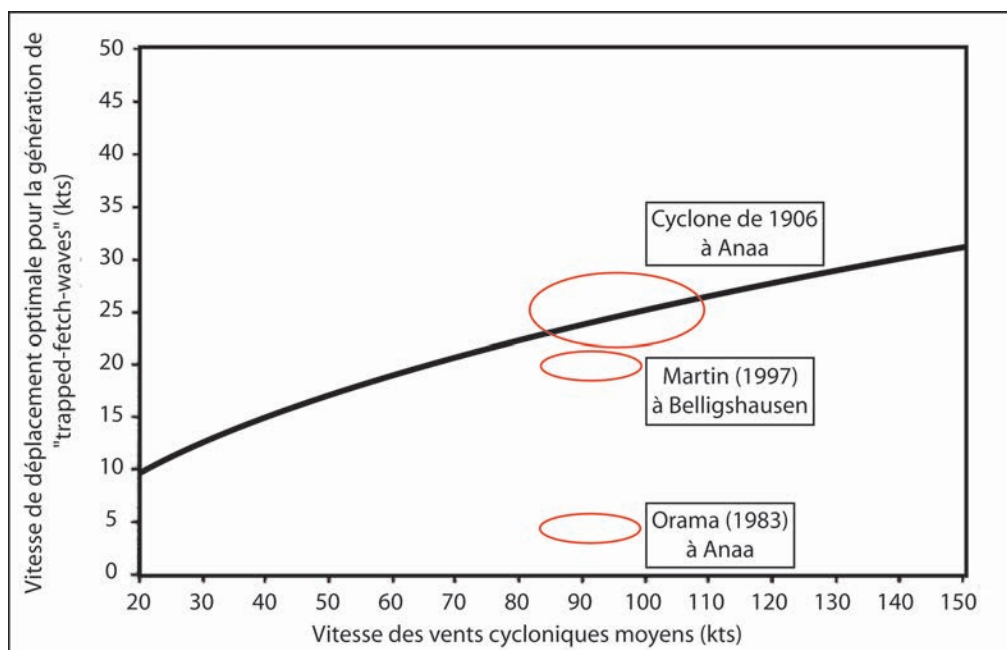
- 19 La vitesse de déplacement très variable des cyclones est à l'origine de cette corrélation moyenne entre le facteur « pression » et la houle simulée par les modèles. En effet, lorsqu'elle est élevée et qu'elle se rapproche des valeurs de célérité de la houle, cette vitesse de déplacement provoque une accentuation très significative (figure 3) de la houle (hauteur et période) dans le demi-cercle dangereux du système (De Garets, 2005) pouvant conduire à la formation de « trapped-fetch-waves » (Bowyer et MacAfee, 2005) au potentiel submersif redoutable. Avec une vitesse moyenne estimée à 45 km/h lors des sept heures précédant son arrivée à Anaa, le cyclone de 1906 avait les caractéristiques requises pour provoquer une submersion de niveau exceptionnel. Malgré une pression barométrique modeste (953 hPa) pour un cyclone tropical, sa vitesse de déplacement élevée amplifiait continuellement les houles sur son côté gauche, à l'instar du cyclone Martin en 1997. À l'inverse, le cyclone Orama (1983) caractérisé par un creusement dépressionnaire plus marqué (940 hPa) a généré une houle relativement modeste¹⁹ en raison d'une vitesse de déplacement très faible (<10 km/h).

Figure 3. Relation vitesse de déplacement/houle, régression linéaire et comparaison avec le cyclone de 1906.



20 Cette approche par le fetch dynamique explique qu'il existe une vitesse de déplacement optimale propre à chaque intensité de cyclone pour la génération de houles exceptionnelles dans le demi-cercle dangereux. La capacité des vents les plus forts du cyclone de 1906 à produire des vagues énormes « piégées » dans le fetch dynamique (Bowyer et MacAfee, 2005) peut être comparée à celle d'Orama et de Martin (figure 4). Il apparaît alors que la vitesse de déplacement du cyclone de 1906 au niveau d'Anaa était optimale selon ce critère, permettant l'amplification de la houle située dans la zone des plus forts vents —qui s'étendent généralement sur un fetch de 50 milles marins— pendant de nombreuses heures. En conséquence, les côtes de l'atoll exposées au principal train de houle arrivant de l'Ouest-Nord-Ouest auraient été exposées au déferlement d'un nombre très limité²⁰ de vagues énormes, chronologiquement phasées avec le passage de l'œil au plus près de l'atoll.

Figure 4. Vitesse de déplacement optimale pour la formation de « trapped-fetch-waves » en fonction de la vitesse des vents cycloniques pour un fetch de 50 milles marins.

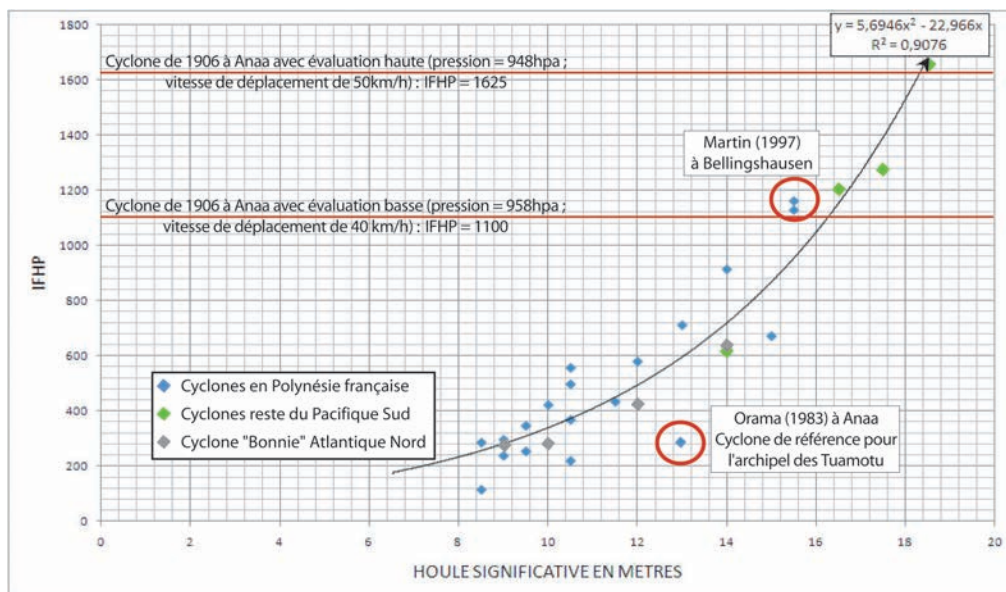


Bowyer et MacAfee, 2005, modifié

Estimer la hauteur de la houle générée par le cyclone de 1906 à partir des données disponibles : une gageure ?

- 21 Les modélisations de houle montrent que ces facteurs (pression et vitesse de déplacement du système) ont une incidence notable sur la taille de la houle générée par les cyclones. Considérés de façon indépendante, ces « facteurs de houle » donnent néanmoins des résultats peu satisfaisants pour estimer la taille de la houle significative générée par les cyclones. La combinaison de ces deux facteurs permet en revanche d'affiner notablement les résultats (figure 5). Un indice correspondant aux « facteurs de houle principaux » (IFHP) a ainsi été calculé à partir d'une équation simple élaborée en associant la vitesse moyenne de déplacement du cyclone exprimée en kilomètres par heure sur une période de six heures (V) et l'intensité du système (I) mesurée à partir du baromètre inverse en hectoPascals (1013- pression estimée). L'équation retenue pour calculer l'indice de facteur de houle est la suivante : $IFHP = (1/2 \times V) \times I$
- 22 En dépit de sa trivialité, cette équation confirme la supériorité de l'approche combinée en permettant d'affiner notablement la corrélation ($R^2 = 0,91$) entre la taille de la houle générée par un cyclone et les deux facteurs de houle pour lesquels nous sommes en mesure de fournir des informations à la fois précises et fiables. Nous disposons dès lors d'un outil relativement performant pour estimer la hauteur de la houle significative générée par le cyclone de 1906 dans les parages d'Anaa. Par ailleurs, en calculant un IFHP « minoré » et un IFHP « majoré » correspondant aux marges d'erreur cumulées relatives à ces deux facteurs, nous pouvons fournir une estimation très fiable de la houle qui submergea l'atoll.

Figure 5. Relation entre pression, vitesse de déplacement et taille de la houle. Courbe de régression exponentielle et comparaison avec le cyclone de 1906.



- 23 Les résultats ainsi obtenus compris dans un intervalle étroit (15,5 m à 18,5 mètres) sont très largement supérieurs aux valeurs de houles extrêmes de 12 mètres admises à l'heure actuelle dans ce secteur de la Polynésie française à partir de l'analyse des cyclones récents (Lecacheux, et al., 2013 ; Damlamian, et al., 2013). Ces valeurs qui pourraient sembler excessives au regard de ce qui fut observé pendant la grande crise cyclonique de l'année 1983 corroborent en revanche les témoignages récoltés auprès des anciens d'Anna selon lesquels le cyclone de 1906 aurait été « plus fort » que celui de 1983 pour la majorité d'entre eux²¹. Elles permettraient également d'expliquer les destructions et l'action morphogénique incomparable de ce cyclone.

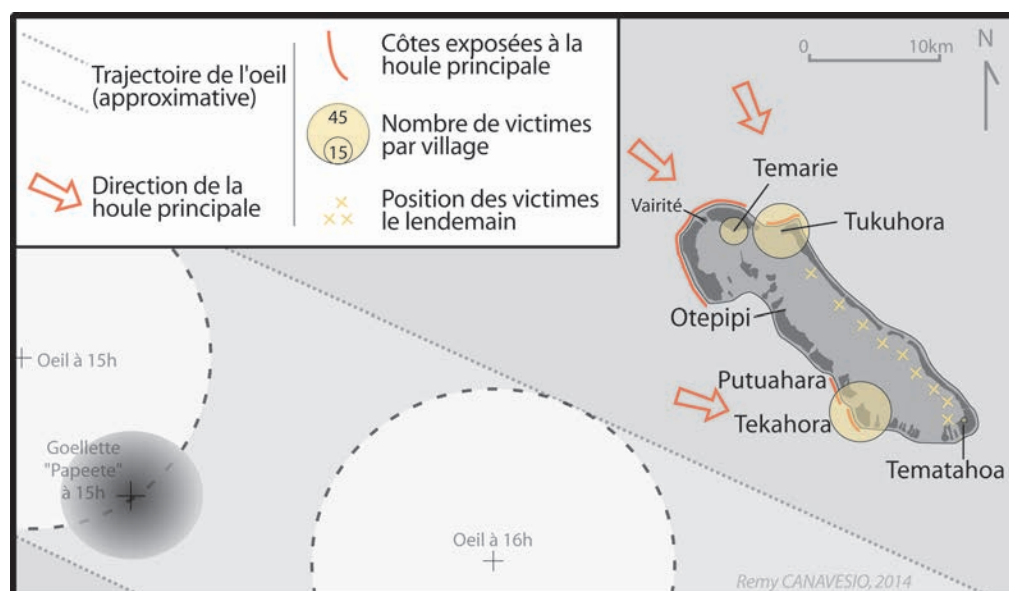
La submersion éclaire d'Anaa dans la mémoire collective locale

Validité des témoignages

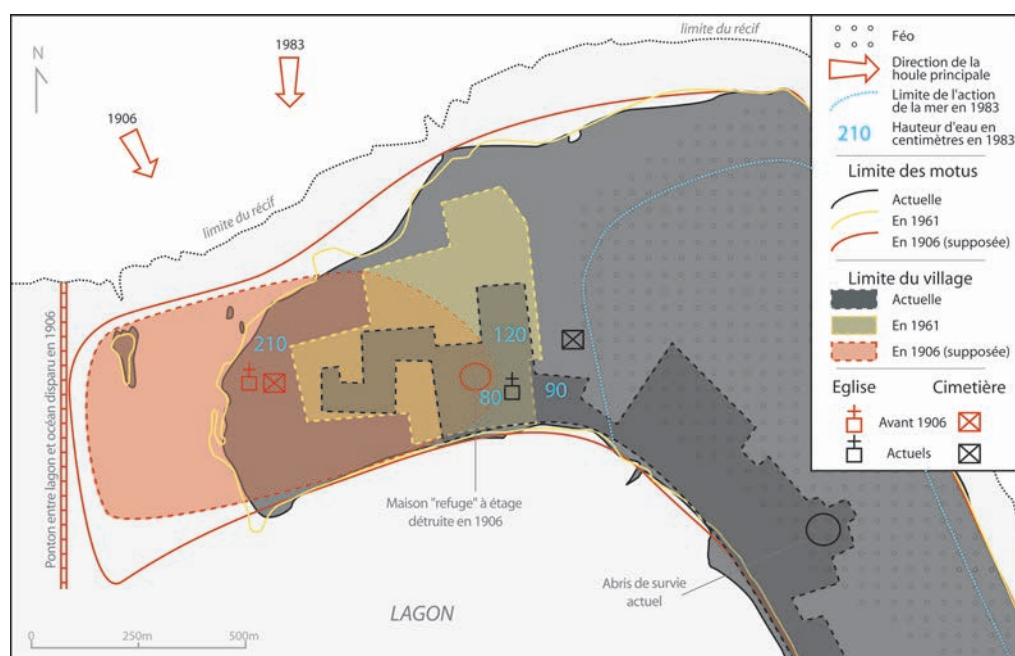
- 24 Le travail d'archive a montré qu'il existait une importante littérature grise portant sur les dégâts infligés par le cyclone au niveau de l'île de Tahiti. Exsangue financièrement (Julien, 1906), l'administration coloniale fut contrainte de réaliser des arbitrages dans le processus de renseignement/indemnisation. La logique qui présida à ces choix fut essentiellement de nature économique ce qui contribua à provoquer un déséquilibre de ces actions à la faveur de Tahiti et au détriment des îles éloignées comme Anaa. Ainsi, contrairement aux cyclones précédents qui touchèrent uniquement les Tuamotu et dont les conséquences dans ces îles furent relativement bien documentées, le déroulement du cyclone à Anaa reste très mal connu en dehors de rares écrits (Tourvielle, 1906 ; Teissier, 1982) et d'un témoignage vidéo de la dernière survivante (Bromberger et Decharme, 1961).
- 25 Une enquête a été menée à Anaa en novembre 2013 dans le but d'apporter des précisions sur cette submersion. 41 personnes de tous âges furent ainsi interrogées, mais le décès de la dernière survivante du cyclone à la fin des années 1990 ne permit pas de disposer de témoins oculaires directs. Cette situation posait plusieurs problèmes relevant de la qualité des informations récoltées. Un des principaux risques étant de n'obtenir que des témoignages stéréotypés correspondant au discours transmis par la dernière survivante du cyclone. Ce risque qui menaçait notamment d'effacer la variabilité spatiale des témoignages était d'autant plus fort que cette survivante qui se trouvait à Tukahora pendant le cyclone attachait une grande importance au maintien de cette mémoire, influençant massivement la connaissance de cet événement. Par chance, les plus anciens (sept personnes âgées de plus de 70 ans furent interrogées) disposent de sources d'information différentes, essentiellement familiales, qui permettent de préciser le déroulement du cyclone dans les différents villages de l'atoll à l'exception de ceux de Tekahora et Putuahara.
- 26 Il a été possible de tester la solidité de ces témoignages en les confrontant à différentes informations connues avec certitude grâce aux archives (horaires, nombre de morts...) ou supposées (villages exposés ou non à l'action directe de la houle). À l'exception d'un d'entre eux, ils se sont révélés d'une parfaite cohérence, les personnes interrogées n'hésitant pas à reconnaître les limites de leur connaissance lorsque celles-ci étaient atteintes : hauteurs d'eau précises, secteurs restés émergés au plus fort de la submersion...

Variabilité spatiale de la submersion

- 27 Anaa est un atoll en partie soulevé dépourvu de passe. Les *motus* (îlots coralliens) qui le composent bénéficient d'une altitude généralement supérieure à celle observée dans le reste de l'archipel. Ces micro-reliefs inférieurs à dix mètres et la présence de villages tout autour de l'atoll expliquent que le cyclone eut des effets très différents d'un endroit à l'autre, traduisant la variabilité de l'exposition aux principaux aléas engendrés par un cyclone (houle, vent, surcote, etc.) Si la brutalité de la submersion soulignée par l'ensemble des récits a parfois ôté la capacité des habitants à se réfugier sur les points hauts de chacun des *motus*, l'exposition au principal train de houle est la cause majeure de la variabilité spatiale du bilan humain (figure 6).

Figure 6. Trajectoire et chronologie du cyclone du 8 février 1906 à proximité d'Anaa²².**Village de Tukahora :**

- 28 Abrité des fréquentes houles de sud à l'extrémité d'un motu étroit, le port de Tukahora a de tout temps été la principale interface avec le reste de la Polynésie pour les habitants de l'atoll. La population se concentrait donc sur l'extrémité du *motu*, n'hésitant pas à bâtir des maisons face à l'océan, dans un archipel où l'habitat est généralement positionné du côté du lagon à proximité des passes (Dupon, 1986). Ainsi, malgré l'existence d'un secteur de *feo*²³ relativement élevé à proximité, le village était très exposé aux rares houles provenant du Nord, expliquant les importantes destructions de 1878²⁴, et celles plus légères de 1905.
- 29 En 1906 à Tukahora la submersion a pris la population par surprise. Selon les récits, après une matinée très pluvieuse, la mer envahit brutalement le village en début d'après-midi sous la forme d'une première « vague ». Une partie de la population se réfugia dans l'église, à la mairie, ainsi que dans une maison (probablement en dur) avec étage située à proximité de l'église actuelle. Le grand-père d'une personne interrogée tentait de rejoindre un de ces abris quand en milieu d'après-midi, une seconde vague plus importante que la première l'emporta dans le lagon en causant d'importantes destructions. Peu de temps après, une troisième vague plus grosse encore (« *plus haute que les cocotiers* ») acheva d'anéantir le village. De celui-ci, il ne restait plus rien à l'exception du fond en ciment de trois citernes et d'une partie des tombeaux, ouverts par les flots (Tourvielle, 1906). La population fut décimée (34 morts selon Teissier (1982)), les rares survivants trouvant leur salut en fuyant vers le Sud²⁵ en longeant le lagon²⁶. Les constructions avaient toutes disparu, jusqu'aux fondations de l'église (ibid.). L'action morphogénique de ces vagues fut également exceptionnelle puisque la partie occidentale du *motu* aurait été rongée par la mer sur plus de 300 m (figure 7) et que le secteur de l'église fut amputé d'une importante épaisseur de soupe de corail, expliquant la disparition totale de l'édifice et l'affleurement des cercueils. Enfin, d'après un récit, les blocs coralliens remobilisés par Orama au niveau du quai furent dressés sur le récif à cette occasion.
- 30 Ces transformations majeures et brutales (réalisées entre 14 h et 17 h²⁷) supposent une énergie colossale correspondant à une hauteur d'eau importante et à des vitesses d'écoulement élevées, très nettement supérieures à celles qui furent observées en 1983 avec une houle de 12 mètres durant une dizaine d'heures. En effet, au passage du cyclone Orama, la submersion ne dépassa pas 80 cm dans le secteur de l'église actuelle et 2,1 m à proximité de l'église disparue. La submersion engendrée par Orama fut ainsi incapable de détruire les structures bétonnées légères (figure 8) dans des secteurs où, en 1906, les maisons en dur et l'église disparurent totalement (murs et fondations).

Figure 7. Action des cyclones de 1906 et 1983 sur le village de Tukahora.**Figure 8. Tukahora après Orama et position approximative de la maison dans laquelle se réfugia une partie de la population en 1906 (cercle rouge).**

La Dépêche de Tahiti, 1983b

31 Selon Teissier (1982), les témoins oculaires du cyclone de 1906 auraient rapporté l'existence de vagues de 8 m sans préciser la zone relative à cette observation. Il est très peu vraisemblable que cela corresponde à la taille de la houle ou à celle des vagues sur le récif dans la mesure où la population s'éloigna le plus possible de cette zone qui est de loin la plus exposée. Il s'agit plus probablement d'une valeur issue de témoignages provenant du lagon, d'où il est impossible de voir le large. Cette valeur de 8 m pourrait donc correspondre à la taille de la plus grosse vague sur le *motu* qui portait le village, confirmant que les destructions causées par la mer sont davantage liées à la hauteur de l'inondation qu'à sa durée (Irish, et al., 2008). Bien que difficilement concevable et diamétralement opposée au zonage des risques proposé par le Bureau des Ressources géologiques et minières (Pedreros, et al., 2010), elle est compatible avec les destructions observées, avec les témoignages (vague qui submergea les cocotiers), ainsi qu'avec la hauteur d'eau atteinte au village de Temarie. Elle éclairerait aussi le commentaire d'un témoin oculaire des deux cyclones selon qui « [la catastrophe de 1906] fut incomparable avec le désastre provoqué par Orama » (La Dépêche de Tahiti, 1983a).

Village de Temarie

32 Le village de Temarie positionné sur le *motu* le plus septentrional de l'atoll fut également ravagé par le cyclone. Les informations disponibles au sujet de cette localité sont issues d'un témoignage unique. La cohérence de celui-ci est cependant remarquable²⁸. Positionné du côté lagon d'un *motu* peu élevé, mais très large (l'église est à 1,6 km du récif), le village de Temarie —désormais abandonné— se trouvait dans une situation a priori beaucoup moins exposée que le village de Tukahora. Lorsque le village fut brutalement inondé par la mer qui venait du Nord, la majeure partie des habitants se réfugia sur une butte²⁹ couverte de *pandanus* haut de 4 à 6 mètres par rapport au niveau habituel du lagon pendant que quelques habitants se réfugiaient dans l'église. Du sommet de la butte, ils pouvaient voir arriver de loin les plus grosses vagues. En milieu d'après-midi, une d'entre-elles, « *plus haute que les cocotiers* » conserva suffisamment d'énergie pour submerger le point le plus élevé de la butte sur laquelle les habitants s'étaient réfugiés. Une partie d'entre eux fut décrochée des *pandanus* par la puissance du courant, mais la plupart survécurent en s'agrippant à la végétation. Dans l'église qui perdit son toit, il n'y aurait eu qu'un seul survivant et, à l'échelle de ce village, on dénombra 15 victimes parmi les 46 habitants (Teissier, 1982). Avant la fin de journée, la mer s'était retirée et le vent calmé.

33 Une partie des habitants de Temarie se trouvait au travail dans le *secteur*³⁰ de Vairité qui, selon toute vraisemblance, fut le plus exposé de l'île en raison de sa situation à l'extrémité nord-ouest de l'atoll avec un récif perpendiculaire au principal train de houle. Lorsque les habitants de Temarie partirent à leur recherche le lendemain ils ne trouvèrent plus rien. Les constructions sommaires, la végétation et les horizons superficiels du sol avaient disparu, il ne restait plus que le corail. Ils constatèrent, en revanche, que des blocs coralliens s'étaient ajoutés aux blocs plus gros déjà existants au niveau du récif et mentionnés dans le *Messenger de Tahiti* (1854), alors que l'analyse des photographies aériennes montre que l'épisode cyclonique de 1983 n'eut aucune conséquence morphogénique significative à ce niveau.

Village de Tematahoa

34 Le village de Tematahoa, situé à l'extrême sud-est de l'atoll bénéficiait d'une situation privilégiée. Plusieurs personnes originaires de ce village désormais inhabité ont rapporté des témoignages concordants insistant sur le fait que l'inondation ne s'est pas matérialisée par des vagues puissantes venant du large, mais plutôt par une spectaculaire « marée » venant du lagon, accompagnée d'un vent très fort qui détruisit les habitations et la cocoteraie. L'ampleur de cette submersion n'a pu être précisée en dépit de quelques témoignages signalant que l'eau atteignit les fosses de cultures (Chazine, 1990) dans lesquelles la population s'était réfugiée. Les caractéristiques de ce cyclone furent néanmoins optimales pour provoquer une marée de tempête exceptionnelle (du côté du lagon) dans ce secteur qui fut également un des plus touchés par l'élévation du lagon en 1983 (Daniel et al., 2009). Bien qu'étant peuplé de plusieurs centaines d'habitants, ce village n'enregistra qu'un seul décès.

Villages d'Otepipi, Putuahara et Tekahora

35 Les témoignages provenant d'Otepipi indiquent que les conditions furent assez comparables à celles observées à Tematahoa même si la marée de tempête y fut probablement moins marquée. Aucun décès ne fut enregistré en ce lieu. Nous ne disposons en revanche d'aucun témoignage en provenance des villages de Tekahora et Putuahara où 45 personnes ont perdu la vie (Teissier, 1982). Les caractéristiques de ce cyclone étant désormais connues, il est permis d'émettre quelques hypothèses concernant l'exposition singulière de ces villages (désormais inhabités) à la houle générée par ce cyclone. Dans la matinée, alors que la houle de Nord grossissait rapidement sur la côte opposée, les conditions devaient être relativement clémentes. En milieu d'après-midi, le changement de direction rapide de la houle et du vent du Nord à l'Ouest-Nord-Ouest a dû provoquer une submersion extrêmement brutale, surprenant les villageois. La bascule rapide des vents au passage de l'œil est d'ailleurs un facteur aggravant décisif pour expliquer les hécatombes de 1903 à Hikueru (Palmer, 1903) et de 1878 à Kaukura (*Messenger de Tahiti*, 1878).

- 36 Dès la soirée, la situation météorologique était redevenue « normale » dans chacun des villages et la journée du lendemain fut marquée par un soleil radieux et une mer calme. Cette journée fut consacrée par les survivants à se rendre dans les différents villages afin de prendre des nouvelles des proches. Les cadavres qui avaient pour la plupart dérivés vers le Sud et l'Est du lagon furent enterrés à la hâte à l'endroit même où ils furent trouvés.

Conclusion

- 37 L'histoire des Tuamotu est ponctuée d'épisodes de submersions cycloniques aux conséquences plus ou moins dramatiques. Le faible bilan humain (une dizaine de morts) observé à l'occasion de la série de cyclones qui affecta l'archipel en 1983 est expliqué traditionnellement par l'amélioration des services de prévision et de communication (Dupon, 1986), tandis que l'aléa « houle submersion » aurait atteint à cette occasion son intensité maximale selon les études de risques les plus récentes. L'hypothèse préalable à la réalisation de cet article consistait à considérer que l'échantillon utilisé par ces études n'était pas représentatif et que l'analyse de cyclones plus anciens devait permettre d'affiner la connaissance des submersions extrêmes dans l'archipel.
- 38 Au terme d'un important travail archivistique des cyclones de 1878, 1903, 1905 et 1906, nous avons retenu la journée du 8 février 1906 pour tenter de reconstituer la houle cyclonique qui causa la mort d'une centaine de personnes en seulement 3 heures à Anaa. Ce travail a permis d'identifier avec une grande précision la pression et la vitesse de déplacement du cyclone lorsqu'il effleura la côte sud de l'atoll. À partir de ces informations croisées avec les simulations de houles les plus récentes, nous sommes parvenus à proposer une méthode permettant d'évaluer avec une marge d'erreur limitée la taille de la houle significative générée par ce cyclone.
- 39 Le résultat obtenu compris entre 15 et 19 mètres est très largement supérieur à la valeur de 12 mètres actuellement retenue pour définir la taille de la houle maximale dans cet archipel. Cette estimation illustre par ailleurs l'importance du phasage de la vitesse de déplacement du cyclone avec celle de la houle, conduisant à l'apparition de vagues énormes « piégées dans le fetch ». L'enquête menée auprès de la population d'Anaa basée sur des récits de la submersion de 1906 et ses conséquences sur les différents villages de l'atoll valide l'hypothèse d'une houle nettement supérieure à 12 mètres en 1906.
- 40 Cette méthode basée sur un important travail d'enquête et d'analyse de la littérature grise pourrait être aisément réappliquée à d'autres cyclones historiques pour lesquels on disposerait d'au moins une valeur de pression fiable et précise (en termes spatio-temporels) au cœur du cyclone.

Remerciements

- 41 Je tiens à remercier l'association culturelle « Pu Tahī Haga No Ganaa » d'Anaa pour son aide dans le travail de terrain. Je souhaite particulièrement remercier Maima (pour la traduction des entretiens réalisés avec les anciens d'Anaa) et Éric, qui ont ainsi consacré bénévolement de nombreuses journées à ce travail de recherche.

Bibliographie

- Biukoto, L. et M. Bonte-Graptin, 2008, *An assessment of cyclone Heta's impact on Niue's coastline*, SOPAC-Niue-technical note, 12p.
- Bowyer, P. et A. MacAfee, 2005, The theory of trapped-fetch waves with tropical cyclones-An operational perspective, *Weather and forecasting*, 20, pp. 229-244
- Bromberger, M. et P.E. Decharme, 1961, *Visite à nos cousins... dans les mers du Sud*, Reportage vidéo : ICA, fourni par l'association « Pu Tahī Haga No Ganaa »
- Charlier, M., 1904, *Procès verbal de la Commission chargée de déterminer le montant des subsides à allouer aux victimes du cyclone des Tuamotu [de 1903]*, Séance tenue le 6 septembre 1904 à Papeete, 10p.
- Chazine, J.M., 1990, Contraintes et ressources de l'environnement, l'exemple des Tuamotu, *Sciences Humaines*, ORSTOM, n° 13, 57p.

- Damlamian, H. et J. Kruger, 2013, *Modèle bidimensionnel couplé de Rangiroa-Cyclone tropical Orama-Nisha (1983)*, CPS (secrétariat de la Communauté du Pacifique), 44p.
- Damlamian, H., J. Kruger, M. Turagabeci et S. Kumar, 2013, *Modélisation des submersions cycloniques dans les atolls d'Apataki, Arutua, Kauehi, Manihi et Rangiroa en Polynésie française*, CPS (secrétariat de la Communauté du Pacifique), 66p.
- Daniel, P., B. Haie et X. Aubail, 2009, Operational forecasting of tropical cyclones storm surges at Meteo-France, *Marine Geodesy*, 32, pp. 233-242
- Des Garets, E., 2005, *Bilan des connaissances sur les surcotes marines en Polynésie*, Bureau des Ressources Géologiques et Minières : Rapport final, 61p.
- Doumenge, F., 1983, Déséquilibres hydro-climatiques et catastrophes dans le Pacifique inter-tropical, juillet 1982-avril 1983, *Annales de Géographie*, 92, 512, pp. 403-413
- Dupon, J.F., 1984, Where the exception confirms the rule : The cyclones of 1982-1983 in French Polynesia, *Disaster*, 8, pp. 34-47
- Dupon, J.F., 1986, *Les atolls et le risque cyclonique : le cas des Tuamotu*, Rapport de la Commission du Pacifique Sud, 6p.
- Dupon, J.F., 1987, Les atolls et le risque cyclonique : le cas des Tuamotu, *Cahiers des Sciences Humaines*, 23, pp. 567-599
- Dvorak, V.F., 1975, Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery, *Monthly Weather Review*, 103, pp. 420-431
- Etienne, S., 2012, Marine inundation hazards in French Polynesia : geomorphologic impacts of tropical cyclone Oli en February 2010. *Geological Society*, London, 361, pp. 21-39
- Garcia Herrera R., F. Rubio Duran, D. Wheeler, E. Hernandez Martin, M. Rosario Prieto et L. Gimeno, 2004, The use of Spanish and British documentary sources in the investigation of Atlantic hurricane incidence in historical times, In : *Hurricanes and typhoon, past present and future*, Dir. Murnane R. & L. Kam-Biu, Columbia University Press, New York, 464p.
- Giovannelli, J.L., 1940, Les cyclones en Océanie française, *Bulletin de la Société des Océanistes*, n° 6, 8, pp. 250-267
- Gordon-Cuming, C.F., 1878, Journal de bord détaillant les conséquences du cyclone de 1878 dans les Tuamotu à partir de témoignages récoltés à Papeete, In : *Mémorial Polynésien*, T3 (1864-1891) pp. 385-388
- Harmelin-Vivien, M. et P. Laboute, 1986, Catastrophic impact of hurricanes on atoll outer reef slopes in the Tuamotu, *Coral Reefs*, 5, pp. 55-62
- Holland, G., 1980, An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes, *Monthly Weather Review*, 108, pp. 1212-1219
- Irish, J., D. Resio et J. Ratcliff, 2008, The influence of storm size on hurricane surge, *American Meteorology Society*, 38, pp. 2003-2013
- Julien E., 1906, Lettre du gouverneur Émile Julien au ministre des Colonies, 19 février 1906, 7p.
- La Dépêche de Tahiti, 1983a, *La facture d'Orama, environ 1.5 milliard FCP*, 3 mars 1983
- La Dépêche de Tahiti, 1983b, *Orama a tout détruit à Anaa*, 26 février 1983
- La Dépêche de Tahiti, 1997, *Cyclone Martin : l'affreux cauchemar*, 7 novembre 1997
- Laurent, V. et P. Varney, 2014, *Historique des cyclones de Polynésie française de 1831 à 2010. Météo France*, 172p.
- Larrue, S. et T. Chiron, 2010, Les îles de Polynésie française face à l'aléa cyclonique, *VertigO*, 10, 3, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/10558>. Consulté le 12 septembre 2013.
- Lecacheux, S., T. Bulteau, R. Pedreros et E. Delvallée, F. Paris, 2013, *Évaluation probabiliste des houles et des surcotes cycloniques en Polynésie française*. Bureau des Ressources géologiques et minières : Projet ARAI 3 : Rapport final, 124p.
- Marcadé, C., 1915, Régime des vents et marche des cyclones dans les parages de l'archipel des Tuamotu, Paris, Imprimerie Nationale, 27p.
- Merle, J. et Y. Tourre, 1984, El-Nino 1982-1983 et ses conséquences climatologiques, *Met-mar*, n° 120, 10p.
- Messenger de Tahiti, 1854, Archipel des Paumotu – L'île d'Anaa, *Messenger de Tahiti*, 2 juillet 1854.

- Messenger de Tahiti, 1878, Partie non officielle : Le cyclone aux Tuamotu, *Messenger de Tahiti*, 1^{er} mars 1878.
- Moon, I.J., I. Ginis, T. Hara, H. Tolman, C.W. Wright et E. Walsh, 2003, Numerical simulation of sea surface directional wave spectra under hurricane wind forcing, *Journal of physical oceanography*, 33, pp. 1680-1706
- Nott, J., 2006, *Extreme events. A physical reconstruction and risk assessment*, Cambridge University Press, 310p.
- Palmer, C., 1903, Récit d'un des rares survivants des îlots du lagon de Hikueru, *l'Océanie Française*, n° 189, 4 mars 1903, pp. 3-4
- Perdreros, R., Y. Krien et B. Poisson, 2010, *Programme ARAI2 : Caractérisation de la submersion marine liée aux houles cycloniques en Polynésie française*, Bureau des Ressources géologiques et minières : Rapport final, 67p.
- Powel, M. et T. Reinholds, 2007, Tropical cyclone destructive potential by integrated kinetic energy, *American Meteorological Society*, pp. 513-526
- Rios-Wilks, A., 2013, *Analyse préliminaire du rapport bénéfice-coût des solutions d'adaptation à l'aléa houle cyclonique dans l'archipel des Tuamotu, Polynésie française*, CPS (secrétariat de la Communauté du Pacifique), 50p.
- Simpson, R.H., 1974, The hurricane disaster-potential scale. *Weatherwise*, 27, pp. 169-186
- Terry, J., 2007, *Tropical cyclones : climatology and impacts in the South Pacific*, Springer, 210p.
- Tourvielle, C., 1906, Lettre du 1^{er} avril 1906 destinée au supérieur de la congrégation, *Annales des Saints des Sacrés Coeur*, Paris
- Vigneron, E., 1997, *Géographie et statistique*, Que sais-je ?, PUF, 127p.

Notes

- 1 El-Nino Southern Oscillation (Doumenge, 1983).
- 2 Fichier « hurricane world tracks » au format KMZ téléchargeable sur le site Internet (www.noaa.gov) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).
- 3 Selon les cyclones et les îles, l'évaluation de l'intensité des systèmes s'appuie sur des données différentes. Il s'agit essentiellement de témoignages sur la proportion de cocotiers déracinés à Kaukura en 1878. Pour les cyclones suivants, nous disposons de mesures de pression ainsi que de photographies prises notamment à Raroia (1903) et de témoignages (observation d'un ciel clair au sein de l'œil à Arutua en 1905). Pour 1906 la connaissance du cyclone se base sur une multitude d'observations, sur quelques photographies ainsi que sur de très nombreuses mesures de pression, y compris au sein de l'œil du cyclone.
- 4 Selon Marcadé (1915), Administrateur des Tuamotu au moment du drame, il y aurait eu 130 victimes à Anaa. Raoul Teissier (1982) qui apporte quelques précisions au sujet de cette hécatombe annonce le chiffre de 95 victimes.
- 5 Une mission de deux semaines a été réalisée en novembre 2013 auprès de la population d'Anaa (41 personnes interrogées, dont 7 âgées de plus de 70 ans) dans le cadre d'une recherche postdoctorale sur les submersions.
- 6 Décision prise par la commission (nommée par le Gouverneur) chargée de déterminer le montant des subsides aux victimes du cyclone de janvier 1903. Cette décision fut votée à l'unanimité par la commission qui comportait dans ses rangs l'administrateur des Tuamotu (Marcadé), également auteur d'un important ouvrage sur les cyclones (1915). La marge d'erreur des baromètres anéroïdes était limitée à 2 ou 3 mm (Marcadé, 1915).
- 7 Le vent a tourné au Nord-Ouest à Flint en matinée du 6 février.
- 8 Cette intensification supplémentaire du cyclone est suggérée par le fait que la pression reste stable à Flint (739mm) alors que le système s'éloigne rapidement du point d'observation.
- 9 De « frais » à « tempête » entre la mi-journée et le soir à Raiatea.
- 10 Makatea est un atoll soulevé formant un plateau dont l'altitude est supérieure à 50 mètres. L'action de la houle s'est donc limitée au pied de ces falaises. Le village de Temoa situé sur la côte ouest est « entièrement anéanti » (Marcadé, 1915) et sur le plateau, « les cocotiers sont décapités ou déracinés » (ibid.)
- 11 La côte nord sera d'ailleurs ravagée par une houle énorme au cours de la nuit. L'effet de l'œil ne sera en revanche ressenti ni à Tahiti, ni à Makatea.

- 12 Dans un cyclone en déplacement, le vent et la houle sont plus forts sur le côté gauche du cyclone (dans le sens de la trajectoire) dans l'hémisphère Sud et sur le côté droit dans l'hémisphère Nord. C'est le demi-cercle « dangereux » qui s'oppose au demi-cercle « maniable » situé du côté opposé.
- 13 La mer a par exemple envahi les villages de Takume, de Takaroa et de Fakahina pourtant situés à plusieurs centaines de kilomètres au nord de l'œil, et au-delà de la zone des vents forts (figure1). Certains *motus* (îlots coralliens) de Pukapuka ont même été submergés par la houle (Marcadé, 1915).
- 14 Cette vitesse est calculée à partir de l'heure à laquelle la pression a atteint sa valeur minimale dans l'île d'Hikueru (20 h), cette valeur étant supposée atteinte au moment où le cyclone était au plus proche de cette île selon une trajectoire toujours orientée vers l'Est-Sud Est (trajectoire confirmée par les observations émanant de l'atoll d'Hereretue situé plus au Sud).
- 15 Une erreur de positionnement de l'œil de 50 km pour une distance parcourue supposée de 330 km en sept heures et vingt minutes représente une différence de vitesse moyenne de seulement 7 km/h.
- 16 Selon les recherches commanditées par la Bureau des Ressources géologiques et minières (Lecacheux, et al., 2010), le cyclone Martin a été le cyclone générateur de la plus grosse houle qu'ai connu la Polynésie française depuis les années 1970 avec une hauteur significative de 16 m environ dans le demi-cercle dangereux du système. Au cœur de cet axe de plus forte houle, l'atoll de Bellingshausen fut totalement submergé par une série d'énormes vagues, provoquant la mort de neuf de ses dix habitants (La Dépêche, 1997).
- 17 La houle significative correspond à la moyenne du 1/3 supérieur des plus grosses vagues. En général, la taille des plus grosses vagues est égale à 1.5 à 2 fois la taille de la houle significative.
- 18 La hauteur de houle simulée pour le cyclone Orama (12 m) a été reprise par chacun des rapports du BRGM cités dans cet article. Laurent (2014) considère également que le cyclone Orama fut « *le plus puissant* », sans préciser le facteur choisi pour déterminer ce classement.
- 19 Cette houle de 12 à 13 mètres avait cependant ravagé le village de Tukahora sans faire de victimes (La Dépêche, 1983a) et provoqué le déplacement de plusieurs mégablocs coralliens posés sur le plateau récifal.
- 20 Lors du passage du cyclone Heta (aux caractéristiques relativement proches du cyclone de 1906) sur Niue, moins de vingt vagues furent dénombrées au niveau des zones habitées (Biukoto *et al.*, 2008).
- 21 Cette information est apparue en réponse à la question suivante : « Pensez-vous qu'un cyclone plus fort qu'Orama soit possible à Anaa ? » À cette question, 8 des 14 personnes de plus de 60 ans interrogées ont répondu par l'affirmative en expliquant spontanément que : « *1906 ayant été plus fort, il n'y avait pas de raison qu'un tel événement ne se reproduise pas* ».
- 22 La trajectoire et le diamètre de l'œil sont approximatifs. Les conditions observées par le capitaine en entrant (vent de Nord-Est) et en sortant de l'œil (vent de sud-est), permettent néanmoins de penser que la goélette est passée dans la moitié sud-ouest de l'œil. Les témoignages confirment par ailleurs que l'effet de l'œil n'a pas été ressenti à Anaa. Enfin, connaissant la vitesse de déplacement du système et la durée du calme observée dans l'œil par la goélette (30 minutes), on peut assurer que le diamètre de l'œil était au moins égal à 25 km.
- 23 Vestige de récif corallien émergé, généralement fortement lapiazé.
- 24 En 1878, le village fut presque intégralement détruit par la mer à l'occasion d'une submersion très comparable à celle générée par Orama. Seules quelques maisons et l'église (qui disparaîtra en 1906) échapperont aux destructions (Gordon-Cuming, 1878). La pression s'abaisse à 29.24 mm (soit 990hpa) à Tukahora avant que le baromètre ne soit emporté (*ibid.*) et selon Teissier(1982) elle serait même descendue à 966hpa. Ce cyclone avait de nombreux points communs avec celui de 1983 avec une trajectoire semblable (Messenger de Tahiti, 1878) et une vitesse de déplacement limitée (10 à 15 km/h).
- 25 Dans ce secteur, l'action de la houle fut quasiment imperceptible et le vent, quoi que suffisamment fort pour anéantir la cocoteraie, ne marqua pas la mémoire collective. Le *féo* échappa en grande partie à la submersion, de même que le rivage lagonaire proche de l'abri de survie actuel (figure7).
- 26 Des récits précisent que, malgré la panique, certains fuyaient en emportant leurs affaires personnelles. Celles-ci étaient disposées dans des malles qu'ils tiraient derrière eux en les faisant flotter dans le lagon.
- 27 D'après les récits et le témoignage vidéo de la dernière survivante (Bromberger et Decharme, 1961), il n'y aurait eu que trois vagues principales, confirmant les observations selon lesquelles les submersions cycloniques majeures se composent d'un nombre très limité de très grosses vagues (La Dépêche, 1997 ; Biukoto et Bonte-Graptin, 2008).
- 28 Il s'agit du récit d'un natif de Temarie tenant l'essentiel de ses connaissances de son grand-père qui a affronté le cyclone dans ce même village. Une des manières de tester la fiabilité de ce témoignage a consisté à poser les mêmes questions à 5 jours d'intervalle.
- 29 Cette butte —essentiellement sableuse— située entre l'église et le lagon aurait disparu depuis.

30 Aux Tuamotu, le terme de « *secteur* » désigne les motus éloignés des villages principaux dans lesquels on se rend épisodiquement pour la coprahculture ou la pêche et dans lesquels chaque famille possède un abri.

Pour citer cet article

Référence électronique

Remy Canavesio, « Estimer les houles cycloniques à partir d'observations météorologiques limitées : exemple de la submersion d'Anaa en 1906 aux Tuamotu (Polynésie française) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 14 Numéro 3 | Décembre 2014, mis en ligne le 12 janvier 2015, consulté le 30 octobre 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/15375> ; DOI : 10.4000/vertigo.15375

À propos de l'auteur

Remy Canavesio

Docteur en géographie, CNRS-EPHE-CRIOBE (USR 3278) Laboratoire d'excellence CORAIL, CRIOBE BP 1013 Moorea, 98729 Polynésie française, courriel : remycanavesio@hotmail.fr

Droits d'auteur

© Tous droits réservés

Résumés

Les submersions provoquées par les houles cycloniques sont le principal risque naturel dans les atolls de l'archipel des Tuamotu. L'analyse des cyclones récents par des modèles couplés à haute résolution a amélioré la compréhension de cet aléa. La connaissance des houles extrêmes se confronte néanmoins au problème de la représentativité de l'échantillon en raison de la faible fréquence des cyclones en Polynésie française. Cet article propose une méthode permettant d'estimer la taille de la houle en s'appuyant sur de simples observations des conditions météorologiques au niveau du sol. Cette méthode qui fait aussi appel aux simulations numériques de la houle permet d'améliorer la connaissance de ces risques en étendant l'analyse à des cyclones vieux de plusieurs siècles par le biais des archives. La submersion de l'atoll d'Anaa en 1906 est étudiée à titre d'exemple afin de montrer l'intérêt de cette méthode dans le cadre des études de risque.

Hurricane swell submersion is the main natural hazard in the atolls of the Tuamotu archipelago. The analyze of recent hurricanes by high-resolution coupled models has improved the understanding of this hazard. Nevertheless, the knowledge of extreme swell events is faced to representativeness problem of the sample caused by the low frequency of hurricanes in French Polynesia. This paper offer a methodology to estimate the size of hurricane swell by analyzing basic weather observations at sea level. This method that is appealing to swell model simulations as well, give an opportunity to improve the knowledge of these hazards by the extending of the analyze to historic hurricanes (more than one century) through archives. The Anaa submersion in 1906 is examined in detail in order to prove the interest of this method in the scope of risk studies.

Entrées d'index

Mots-clés : Cyclones historiques, houle extrême, risques naturels, Tuamotu, Anaa

Keywords : Historic hurricanes, extreme swell, natural hazards, Tuamotu, Anaa

Lieux d'étude : Océanie