

Survivre à un tsunami :

Enseignements tirés des expériences vécues au Chili, à Hawaii et au Japon



Récits de témoins du tsunami survenu dans l'océan Pacifique à la suite du très fort séisme chilien de 1960

Informations sur l'édition 2012

Brochure disponible sur le site : www.tsunamiwave.info

Publication : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.
7 Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

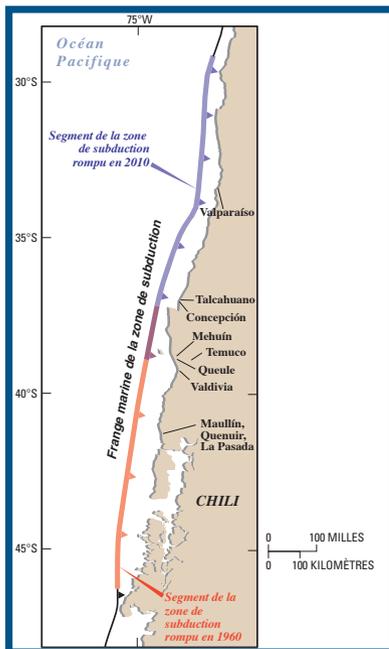
Impression : COI/UNESCO et NOAA.

SC-2014/WS/10

Après le tsunami survenu au Chili en 2010, le CIIT a été invité à actualiser cette brochure pour y inclure des renseignements sur les sources historiques et potentielles de tsunami au large des côtes d'Amérique du Sud, d'Amérique centrale et des Caraïbes. De plus, les enseignements tirés du tsunami de 2010 ont été intégrés dans l'édition 2012 de cette brochure Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO intitulée « Survivre à un tsunami – Enseignements tirés des expériences vécues au Chili, à Hawaii et au Japon ». IOC Brochure 2014-2 (IOC/BRO/2014/2) : Surviving a Tsunami: lessons from Chile, Hawaii, and Japan . *Publ.2012 (English); Publ.2014 (Spanish)*

Les informations originales, qui ne figuraient pas dans les éditions précédentes, sont présentées en page 3. Les nouvelles informations, qui ne figuraient pas dans la circulaire 1218, sont présentées en pages 3, 4, 5, 6, 7, 10,12, 13 et 19. L'ensemble de ces informations a été compilé récemment par le Centre international d'information sur les tsunamis (www.tsunamiwave.info).

Modifications de la conception en 2012 : Centre international d'information sur les tsunamis.



Régions touchées par les séismes et tsunamis chiliens de 1960 et 2010

Informations sur l'édition originale

Brochure disponible à l'adresse : <http://pubs.usgs.gov/circ/c1218> (2001, 2006)

Version anglaise : Circulaire 1187, U.S. Geological Survey (1999, 2005) : <http://pubs.usgs.gov/circ/c1187/>

Informations de catalogage archivées à la Bibliothèque du Congrès des États-Unis (<http://www.loc.gov/>).

Informations sur les ajouts à l'édition originale en 2010

La brochure a été éditée rapidement pour répondre aux événements liés au séisme et au tsunami du 27 février 2010. Le programme Explora, le projet DIPECHO de l'UNESCO et l'École des sciences de la mer de l'Université pontificale catholique de Valparaíso entendent ainsi promouvoir, par la diffusion des expériences des survivants du tsunami de 1960, les comportements adaptés pour survivre à de futures catastrophes de ce type.

Les informations originales et les nouvelles s'appuient sur les entrevues réalisées avec des survivants par le groupe « Geomarinós » de l'École des sciences de la mer. De même, les photographies de la couverture et de la quatrième de couverture ont été compilées récemment.

Modifications de la conception originale en 2010 : Annette De Vásquez.

Légende de l'image de couverture

Photographie de la couverture : Observation, à l'abri sur les hauteurs, de la façon dont une des premières vagues du tsunami du 22 mai 1960 entre dans Puerto Saavedra (Chili).
Texte complet en page 7.

Survivre à un tsunami – Enseignements tirés des expériences vécues au Chili, à Hawaï et au Japon

Compilation de l'édition originale : Brian F. Atwater¹, Marco Cisternas V.², Joanne Bourgeois³, Walter C. Dudley⁴, James W. Hendley II¹ et Peter H. Stauffer¹.

Ajouts à l'édition originale en 2010 : Marco Cisternas V.², Mabel Keller⁵ et Giovana Santillán⁶.

Ajouts en 2012 : Laura S.L. Kong⁷ et Nicolás Arcos⁷.

Publié, imprimé et traduit par l'Unesco par intermédiaire de sa Commission Océanographique Intergouvernementale (COI) avec le soutien du projet "Renforcement des capacités d'alerte et réponse aux tsunamis en Haïti" financé par la Direction Générale d'Aide Humanitaire et Protection Civile de la Commission Européenne (DG- ECHO).



Aide humanitaire
et Protection civile



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Commission
océanographique
intergouvernementale

¹United States Geological Survey (USGS).

²École des sciences de la mer, Université pontificale catholique de Valparaiso, Casilla 1020, Valparaiso (Chili).

³Département des sciences de la Terre et de l'espace, Université de Washington, Seattle, WA 98195-1310.

⁴Musée des tsunamis du Pacifique, P.O. Box 806, Hilo, HI 96721.

⁵Programme Explora-Valparaiso.

⁶Projet DIPECHO "Renforcement du système régional d'alerte précoce aux tsunamis. Préparation au Chili, en Colombie, en Équateur et au Pérou."

⁷Centre international d'information sur les tsunamis, COI/UNESCO - NOAA.

INDEX

Introduction	2
Les séismes et tsunamis chiliens géants de 1960 et 2010	3
Tsunamis historiques et potentiels	4
Enseignements tirés	
Nombreux sont ceux qui survivront au séisme	5
Tenir compte des signaux d'alerte naturels	6
Ecouter la tradition orale	7
Se méfier du retrait de la mer	8
S'attendre à de nombreuses vagues	9
Se diriger vers les hauteurs et y rester	10
Tenir compte des alertes officielles	12
Abandonner ses biens	13
Ne pas compter sur les routes	14
Monter dans les étages supérieurs ou sur le toit d'un bâtiment	15
Grimper à un arbre	16
Grimper sur un objet qui flotte	17
S'attendre à ce que les vagues laissent des débris	18
S'attendre à ce que les secousses abaissent ou soulèvent le sol le long de la côte	19
S'attendre à avoir de la compagnie	19
Crédits et sources	20

Survivre à un tsunami – Enseignements tirés des expériences vécues au Chili, à Hawaii et au Japon

Introduction

La présente brochure relate des histoires vraies qui montrent comment survivre – ou non – à un tsunami. Elle s'adresse aux personnes qui vivent, travaillent ou s'amuse le long des côtes susceptibles d'être frappées par des tsunamis, c'est-à-dire la plupart des côtes qui bordent l'océan Pacifique, mais aussi certaines zones côtières de la mer des Caraïbes, de l'océan Atlantique et de l'océan Indien.

Bien que de nombreuses personnes les appellent « raz-de-marée », les tsunamis n'ont rien à voir avec les marées. Il s'agit plutôt de séries de vagues ou « trains de vagues » généralement causés par des séismes. Les tsunamis peuvent aussi être déclenchés par l'éruption d'un volcan côtier ou insulaire ou un glissement de terrain sous-marin et, en théorie, pourraient l'être par l'impact de grosses météorites qui percuteraient dans l'océan. Comme ce fut le cas à Sumatra en 2004 et au Japon en 2011, les tsunamis peuvent atteindre des hauteurs de 15 m non seulement sur les côtes mais aussi à l'intérieur des terres.

Les récits rapportés dans cette brochure ont été choisis parmi les entretiens réalisés avec des personnes qui ont survécu à un tsunami survenu dans l'océan Pacifique en 1960. Nombre d'entre elles ont eu à faire face aux vagues près de leur source, le long de la côte chilienne. D'autres ont été confrontées au tsunami bien des heures après, à Hawaii et au Japon. La plupart des entretiens ont été réalisés des décennies plus tard, dans les années 1980 et 1990. Les nouvelles histoires ajoutées à cette publication (pages 7 et 8) ont été compilées en 2009 et 2010. La présente version intègre des récits relatifs au tsunami de 2010 (pages 3, 5, 6, 7, 12, 13 et 19) et des renseignements sur les sources sismiques génératrices de tsunamis en Amérique centrale et en Amérique du Sud, y compris dans les Caraïbes (page 4).

Divers enseignements sur la survie en cas de tsunami peuvent être tirés de ces récits. Certaines de ces histoires illustrent les comportements qui, de façon certaine, ont permis de sauver des vies – tenir compte des signaux d'alerte naturels, abandonner ses biens et aller rapidement sur les hauteurs et y rester jusqu'à ce que le tsunami soit réellement terminé. D'autres décrivent des tactiques – trouver refuge sur des bâtiments, dans des arbres ou sur des débris flottants – qui ont eu des résultats inégaux et qui ne peuvent être recommandées qu'à titre de manœuvres désespérées.

Presque 50 ans après, Juan Peña, habitant de Puerto Saavedra (droite), fournit des détails sur le séisme et le tsunami de 1960 à Diego Muñoz. En janvier 2010, tous deux étaient assis sur la jetée du village construite pour tenter de freiner l'érosion côtière due à l'affaissement de plus d'un mètre occasionné par le séisme de 1960.



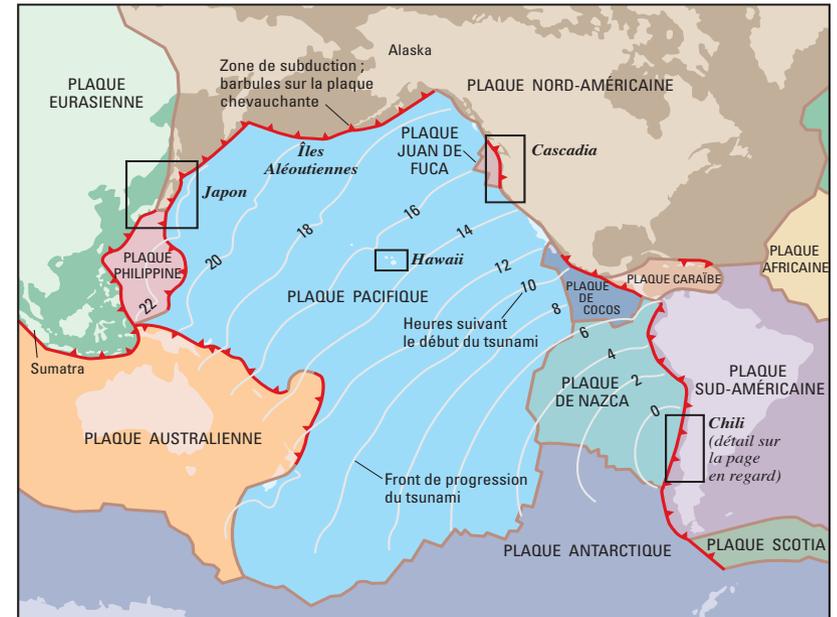
Les séismes et tsunamis chiliens géants de 1960 et 2010

La plupart des événements décrits dans la présente brochure ont été causés par une série de vagues généralement connue sous le nom de « tsunami chilien de 1960 ». Ce tsunami a été déclenché par le séisme le plus puissant jamais mesuré (magnitude 9,5), qui s'est produit le long de la côte chilienne le 22 mai 1960.

Au Chili, ce séisme et le tsunami qui s'est ensuivi ont provoqué la mort de plus de 2 000 personnes et causé des dégâts matériels d'un montant estimé à 550 millions de dollars (dollars de 1960). Du Chili, le tsunami s'est propagé dans l'océan, tuant 61 personnes à Hawaï et 139 au Japon. Les dégâts ont été estimés à 24 millions de dollars à Hawaï et 50 millions au Japon.

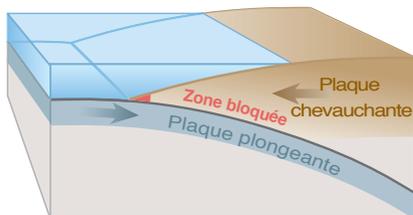
Le 27 février 2010, près de 50 ans après la catastrophe de 1960, la région a été frappée une nouvelle fois. Un séisme de magnitude 8,8 et un tsunami local ont provoqué des dégâts matériels et des pertes économiques d'un montant de 30 milliards de dollars sur 700 km de côtes chiliennes dans la région de Valparaiso-Concepcion/Talcahuano. 521 personnes ont perdu la vie et 1,8 million ont été touchés par la catastrophe. Plus de 370 000 maisons, 2 013 écoles, 79 hôpitaux et 4 200 bateaux ont été endommagés ou détruits. Ce séisme a été classé 6^e par ordre d'intensité depuis 1900.

Les séismes chiliens de 1960 et 2010 ont rompu des zones de failles le long desquelles une plaque du plancher océanique plonge sous le continent sud-américain adjacent (phénomène de subduction). Ces « zones de subduction » se forment lorsque deux plaques tectoniques formant la croûte terrestre se rencontrent. Les séismes se produisent lorsque la faille se rompt, libérant soudainement l'énergie accumulée. Lors du grand tremblement de terre du 22 mai 1960, la plaque de Nazca s'est enfoncée de 20 m (60 pieds) sous la marge occidentale de la plaque sud-américaine, dans une zone de 1 000 km (600 miles) de long et de plus de 160 km (100 miles) de large.



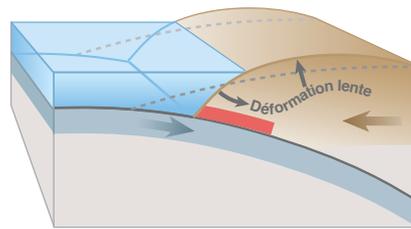
Le tsunami chilien de 1960 a rayonné à partir d'une zone de subduction le long de la côte du Chili. Ses vagues ont atteint Hawaï en 15 heures et le Japon en 22 heures.

Tsunami : SÉRIE OU SUCCESSION DE VAGUES GÉNÉRALEMENT CAUSÉES PAR UN MOUVEMENT SISMIQUE DANS LES FONDS MARINS



Coupe verticale d'une zone de subduction

Une des nombreuses plaques tectoniques qui forment la croûte terrestre descend, ou s'enfonce sous une plaque adjacente (phénomène de subduction). Ce type de frontière entre plaques s'appelle une « zone de subduction ». Lorsque les plaques se déplacent soudainement dans une région où elles sont habituellement bloquées, un séisme se produit.



A. Entre deux séismes

Coincée contre la plaque plongeante, la plaque chevauchante est comprimée. Sa partie frontale est entraînée vers le bas, tandis qu'un bombardement se forme à l'arrière. Ce mouvement se poursuit pendant des décennies ou des siècles, accentuant lentement la pression.

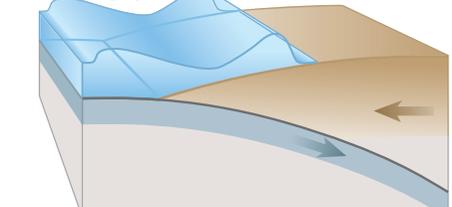
Le tsunami commence pendant le séisme



B. Pendant un séisme

Un séisme se produit le long d'une zone de subduction lorsque la partie frontale de la plaque chevauchante se libère et s'avance vers l'océan, soulevant le plancher océanique et le niveau de l'eau au-dessus, ce qui déclenche un tsunami. Pendant ce temps, le renflement à l'arrière de la partie frontale de la plaque s'effondre, affinant la plaque et abaissant les zones côtières.

Les vagues du tsunami se propagent



C. Quelques minutes plus tard

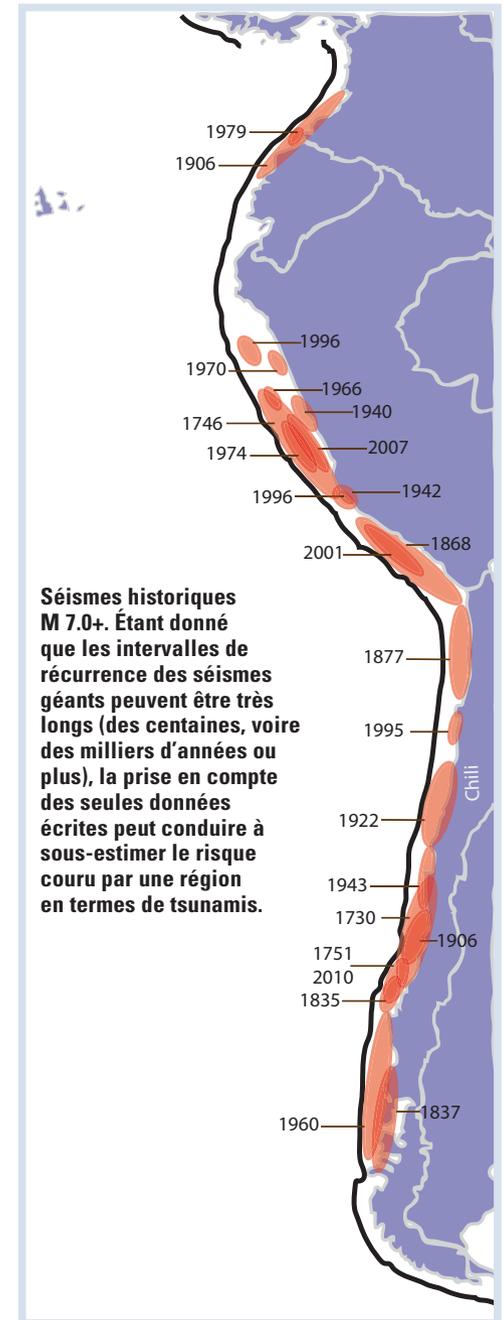
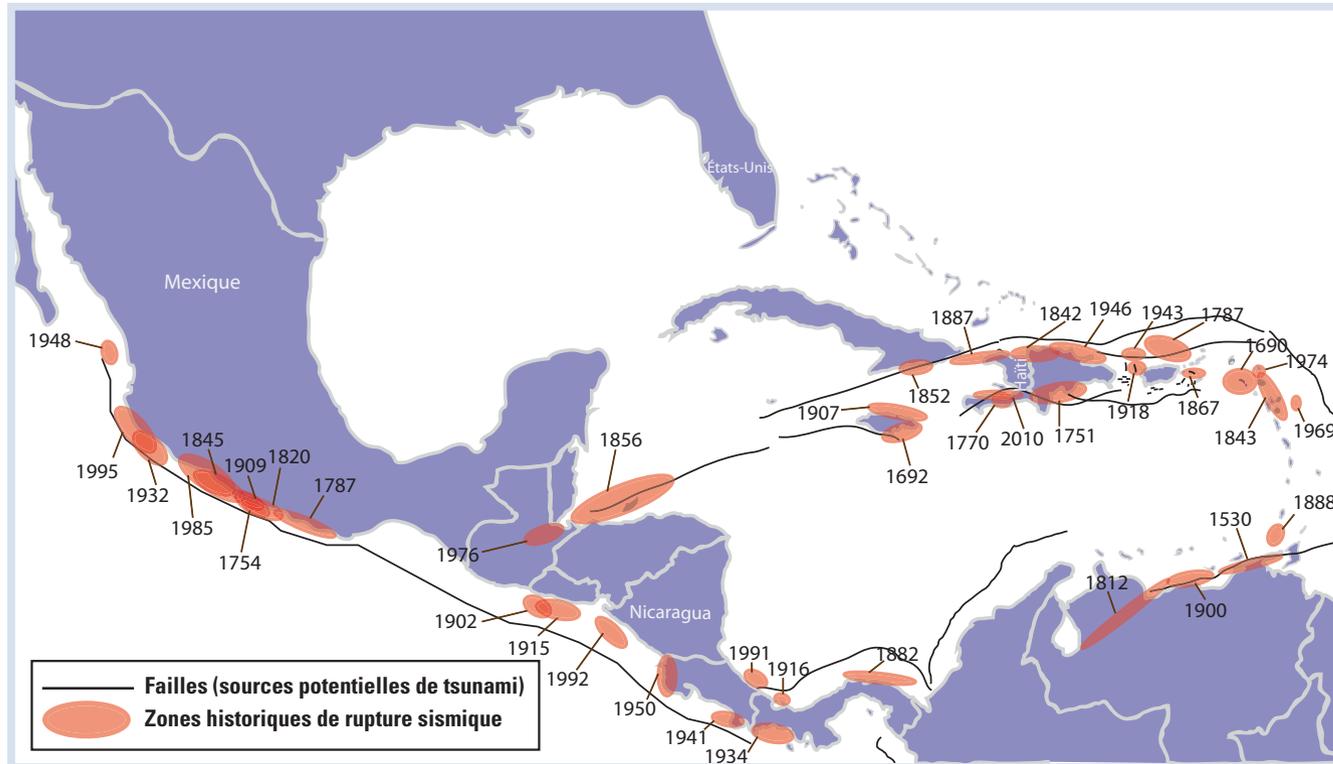
Une partie du tsunami fond sur les côtes avoisinantes, et gagne en hauteur à mesure qu'il s'approche du rivage. Une autre partie se propage dans l'océan vers des rivages lointains.

Tsunamis historiques et potentiels

Bien d'autres rivages dans le monde sont contigus à des zones de subduction génératrices de tsunamis. En Amérique, ils s'étalent sur une grande partie de la côte du Pacifique entre l'Alaska et la région la plus méridionale du Chili et se trouvent dans les Caraïbes également. Les tsunamis sont généralement provoqués par la formation de failles lors de séismes et, dans une moindre mesure, par des glissements de terrain et des éruptions volcaniques.

Il peut arriver qu'une zone de subduction génère trop rarement des tsunamis pendant quelques siècles d'histoire pour renseigner de manière fiable sur les risques qu'elle pose en termes de tsunamis. C'était le cas de Sumatra (Indonésie) en 2004 et du Tohoku (Japon) en 2011. Les cartes figurant sur cette page ne donnent donc qu'une image incomplète des risques de tsunamis puisqu'elles ne recensent que les occurrences des quelques dernières centaines

d'années. Pour avoir une image plus complète il faudrait recenser les tsunamis sur des milliers d'années.



Nombreux sont ceux qui survivront au séisme

Dans les zones côtières, les plus grands séismes des zones de subduction peuvent tuer moins de gens que les tsunamis qui s'ensuivent

José Argomedo a survécu au séisme chilien de 1960, qu'il a pris au départ à tort pour une guerre nucléaire. M. Argomedo avait 22 ans et vivait dans une ferme à l'ex-

térieur de Maullín (Chili), où il écoutait les nouvelles du monde à la radio. Début mai 1960, l'information principale concernait les tensions entre les États-Unis et l'Union soviétique – un missile soviétique avait abattu un avion espion américain.

Le 18 mai, le dirigeant soviétique, Nikita Khrouchtchev, suggérait de traiter les États-Unis comme un chat qui aurait volé de la crème. « Ne vaudrait-il pas mieux, disait-il, attraper les agresseurs américains par la peau du cou et les secouer un peu ? »

Quelques jours plus tard, le 22 mai après-midi, alors qu'il chevauchait, M. Argomedo fut plus qu'un peu secoué. Le

sol trembla si violemment pendant plusieurs minutes qu'il fut contraint de mettre pied à terre. M. Argomedo pensa que la guerre froide était devenue brûlante. En réalité, comme chacun dans la région de Maullín, de Quenuir, et de La Pasada (voir photographie page 17), il subissait un séisme de magnitude 9,5, le plus puissant jamais enregistré.

M. Argomedo se trouvait sur les hauteurs pendant les heures qui suivirent le séisme. Cependant, tel n'était pas le cas de nombreux autres habitants de la région, et 122 personnes furent emportées par le tsunami qui s'ensuivit.

Les séismes passés nous permettent de tirer des enseignements pour les générations futures. Au cours des décennies suivantes, de nouveaux codes de construction ont été adoptés afin de bâtir des structures parasismiques. Sur la côte chilienne, l'un des enseignements du séisme de 1960 a été qu'en cas de fortes secousses, il fallait se réfugier sur les hauteurs, ce qui a sauvé des vies en 2010, puisque le tsunami consécutif au séisme de magnitude 8,8 survenu au Chili n'a coûté que 156 vies.

A Maullín (Chili), un grand nombre de maisons ont résisté au séisme chilien de magnitude 9,5 du 22 mai 1960. Le tsunami généré pendant le séisme a causé la plupart des dégâts visibles sur cette photo, prise entre le 23 mai et le 3 juin 1960.



Elle a résisté au séisme

Elle a résisté au séisme

Emportée par le tsunami

Tenir compte des signaux d'alerte naturels

Un séisme, de même qu'un abaissement ou une élévation rapide du niveau de l'eau sur le rivage, peuvent avertir de l'arrivée d'un tsunami

Le dimanche 22 mai 1960, Jovita Riquelme emmena sa fille de 5 ans à la messe à Queule (Chili). Pendant l'office, le prêtre parla des séismes. Une multitude de secousses d'une magnitude allant jusqu'à 8 s'étaient produites la veille 160 km plus au nord.

Plus tard ce jour-là, la principale secousse du séisme chilien de 1960, de magnitude 9,5, ébranla la région. La secousse terminée, une grande partie de la population de la ville décida de se réfugier sur les collines environnantes.

Leur récit ne permet pas de dire pourquoi ils prirent une telle décision, mais ces minutes où la terre a tremblé ou, peut-être, les changements de niveau de la rivière Queule ou de l'océan Pacifique tout proche sont, que l'on sache, les seuls éléments à les avoir alertés (voir également les pages 10, 13 et 14).

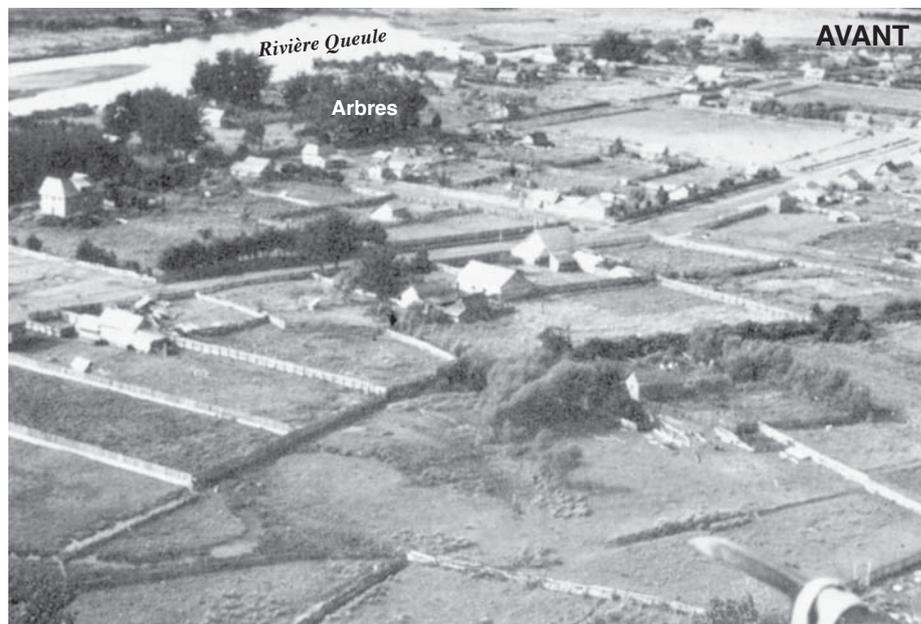
Tenir compte des signaux d'alerte naturels et aller se réfugier sur les hauteurs a probablement sauvé des centaines de vies à Queule. Toutefois, la famille de Mme Riquelme est restée chez

elle, en plaine, près de la rivière. C'est là que le tsunami consécutif au séisme les a emportés sur son passage. Dans la confusion causée par les vagues, Mme Riquelme a perdu sa fille, et son mari a été gravement blessé. Il est mort de ses blessures et le corps de leur fille a été retrouvé trois jours après le tsunami.

Non loin de Queule, Vitalia Llanquimán vivait aux abords du village de Mehuín. Peu après la fin de la secousse, un homme à cheval lui dit que la mer s'était retirée. D'abord, Mme

Llanquimán ne fut pas alarmée par cette nouvelle, mais son mari pensa que l'eau, en affluant, pourrait inonder les terres. Portant leurs deux plus jeunes enfants, le couple se précipita sur une colline voisine et y resta à l'abri pendant le tsunami.

La majorité des survivants du tsunami de 2010 ont eu la vie sauve en évacuant les zones basses après avoir interprété les signaux d'alerte de la nature, comme les secousses d'un séisme ou un changement du niveau de la mer.



Bien que située à plus de 1,5 km de distance de la mer, la majeure partie de Queule (Chili) a été inondée et emportée par le tsunami qui a suivi le séisme chilien de 1960. Nombre d'habitants de Queule se sont réfugiés sur les hauteurs juste après le séisme, mais Jovita Riquelme a perdu sa fille et son mari lors du tsunami car ils étaient restés chez eux, à faible altitude, près de la rivière



Queule. D'après la hauteur des débris retrouvés enchevêtrés dans les branches des arbres non déracinés par le tsunami de 1960, Wolfgang Weischet, alors géographe à l'Université australe du Chili dans la ville de Valdivia voisine, a estimé que le flot avait atteint près de 4 m à Queule. M. Weischet a pris ces photos avant et après le passage du tsunami.

Ecouter la tradition orale

Dans les régions de longue tradition orale, comme l'Araucanie chilienne, l'expérience des anciens peut contribuer à sauver des vies

Bien que Puerto Saavedra ait été dévasté par le tsunami de 1960, peu de personnes sont mortes grâce à la bonne interprétation des signaux naturels d'alerte et à la tradition orale. Martín Huaracán, qui labourait un champ près du village, se rappelle clairement que le premier signal qu'il reçut fut une forte secousse la veille au matin.

M. Martín se réfère au tremblement de terre de magnitude 8 survenu le samedi 21 mai 1960 (voir page 6). Pendant toute la journée, le sol n'avait cessé de trembler par intermittences, jusqu'au séisme de grande ampleur du dimanche 22 après-midi. Le sol ondulait, les gens ne pouvaient rester debout, les clôtures, les animaux, tout tombait. M. Martín tenta de s'accrocher à une clôture mais décida qu'il valait finalement mieux rester allongé sur le sol.

La rivière lança le deuxième signal. Ses eaux commencèrent à se retirer vers la mer de manière étonnante. La troisième alerte remarquée par M. Martín fut le reflux de

l'océan. Le quatrième et dernier signal vint de voisins âgés qui, se rappelant de ce qu'ils avaient entendu dire par les anciens, savaient qu'il fallait se diriger vers les collines après les trois premiers signaux. Ainsi, M. Martín décida de se diriger rapidement vers une zone élevée. A ce moment précis, le propriétaire de la terre que travaillait M. Martín, M. Henríquez, passa avec son camion chargé de gens en direction des collines. De là, M. Martín et des centaines de survivants purent observer en toute sécurité la façon dont les déferlantes balayèrent le village.

Aujourd'hui, il n'hésite pas à affirmer que la véritable catastrophe fut le tsunami, bien plus que le tremblement de terre, et il se félicite vivement de la recommandation que lui donnèrent ses voisins.

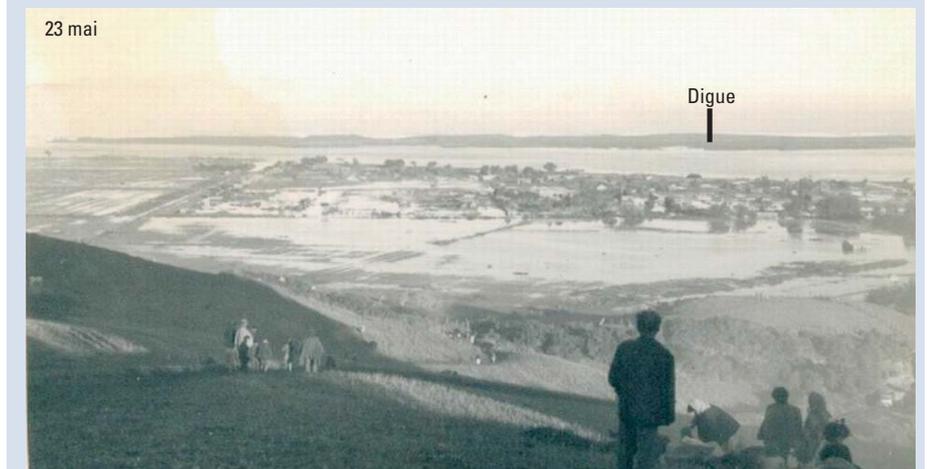
De nombreux habitants des zones côtières ont survécu au tsunami de 2010 grâce aux expériences vécues lors de précédents tsunamis ou aux récits de ceux qui avaient réchappé à des tsunamis dans le passé.



M. Martín Huaracán donne à l'enquêteur, **Carlos Pineda**, des détails sur la façon dont il a survécu au séisme et au tsunami de Puerto Saavedra. Les alertes naturelles et les mises en garde des anciens lui ont sauvé la vie.



Les habitants de Puerto Saavedra, parmi lesquels se trouvait peut-être M. Martín, observent depuis les collines l'arrivée d'une des premières vagues du tsunami de 1960 (ci-dessus). A ce moment-là, une brèche est ouverte dans la digue de la rivière Imperial (bande sombre) au sud du village, permettant l'entrée de la vague générée par le tsunami (bande plus claire). Le lendemain matin (ci-dessous), les habitants restent sur les hauteurs. L'on peut voir que l'ensemble du village est toujours inondé.



Se méfier du retrait de la mer

Après un séisme, il est probable que vous observiez un changement du niveau de la mer. Il ne faut pas laisser votre curiosité vous empêcher de vous diriger vers une zone élevée car il se peut que le tremblement de terre ait généré un tsunami

La curiosité a failli coûter la vie à Denis García. Âgé de 26 ans, M. García vivait avec sa famille à Corral, port actif à proximité de Valdivia (Chili). Immédiatement après le séisme de 1960, il alla chercher sa famille à Corral Bajo, un quartier qui se trouvait quasiment au niveau de la mer.

Ne trouvant pas sa famille, qui était à l'abri sur les hauteurs, il se sentit attiré par l'incroyable phénomène marin qu'il observait. La baie de Corral était totalement à sec, chose qu'il n'avait jamais vue auparavant. M. García se dirigea d'un pas décidé vers la côte.

Aujourd'hui nous savons que lorsque la mer se retire après un séisme, cela signifie qu'un tsunami approche. M. García observait si intensément les fonds marins restés à découvert qu'il ne s'aperçut pas qu'une grande vague de 12 m de haut fonçait droit sur lui. Il tenta de fuir mais la vague



Denis García, 75 ans, se souvient très clairement que sa curiosité a failli lui coûter la vie. Surpris de constater que la baie de Corral était asséchée après le séisme de 1960, il ne s'était pas aperçu qu'une vague de 12 m de hauteur fonçait droit sur lui.

le faucha sur son passage et l'entraîna vers l'intérieur de la baie.

Bien qu'ayant toujours vécu au bord de la mer, M. García ne savait pas nager. Il s'efforça de s'accrocher aux objets qui flottaient autour de lui et put ainsi dériver pendant plusieurs heures. Alors qu'il avait perdu espoir, il rencontra son sauveur. Il s'agissait d'un capitaine de navire allemand. Plus tard, M. García saurait qu'il s'appelait Walter Nordman, survivant expérimenté de la Seconde Guerre mondiale. Alors qu'il s'efforçait de rester en vie, M. Nordman, qui savait nager, tenta en même temps d'aider M. García. Tous deux purent se hisser sur le toit d'une maison qui flottait (voir enseignement de la page 17).



Corral Bajo complètement détruit par les vagues du tsunami de 1960 qui faillirent coûter la vie à Denis García.

La nuit était tombée lorsque le courant porta nos deux survivants jusqu'à la côte, où ils furent finalement recueillis. Dans sa volonté désespérée de retrouver sa famille, M. García se remit immédiatement à leur recherche. Aujourd'hui encore, il regrette de ne pas avoir remercié le capitaine de l'avoir sauvé. Il ne l'a jamais revu.



1960

La baie de Corral, vue depuis Niebla. Peu après le séisme de 1960, l'eau de la baie commença à se retirer, laissant le fond de l'eau à découvert (ci-dessus). Ce phénomène, qui avertit clairement de l'arrivée d'un tsunami, suscita vivement l'intérêt de Denis García. Ci-dessous, une vue de la même région en mai 2009. Un canot de pêcheur, ci-dessous à droite, sert d'échelle.



2009

S'attendre à de nombreuses vagues

Il se peut que la prochaine vague soit plus puissante et que le tsunami dure des heures

Juste après 22 heures, le 22 mai 1960, le sismologue Jerry Eaton et quatre de ses collègues se retrouvèrent à l'Observatoire volcanologique Hawaïien de l'U.S. Geological Survey sur l'île d'Hawaii. Ayant rassemblé appareils photo, bloc-notes, lampes torches et mètres métalliques, ils s'entassèrent dans un break Ford et prirent la route qui devaient les mener à Hilo, à 50 km. Ils espéraient y mesurer le tsunami chilien de 1960, qui devait arriver vers minuit.

Ces hommes avaient de bonnes raisons de vouloir mesurer ce tsunami. Par le passé, Hawaii avait été frappée par des tsunamis meurtriers, notamment ceux venus du Chili en 1837 et 1877 et un autre en provenance des îles Aléoutiennes en 1946 qui, rien qu'à

Hilo, avait tué 98 personnes. Les mesures des tsunamis antérieurs sont habituellement utilisées pour contribuer à identifier les zones menacées par de futurs tsunamis. On avait mesuré les tsunamis des îles Aléoutiennes à Hawaii mais on ne savait que peu de choses sur la hauteur de ceux provenant du Chili.

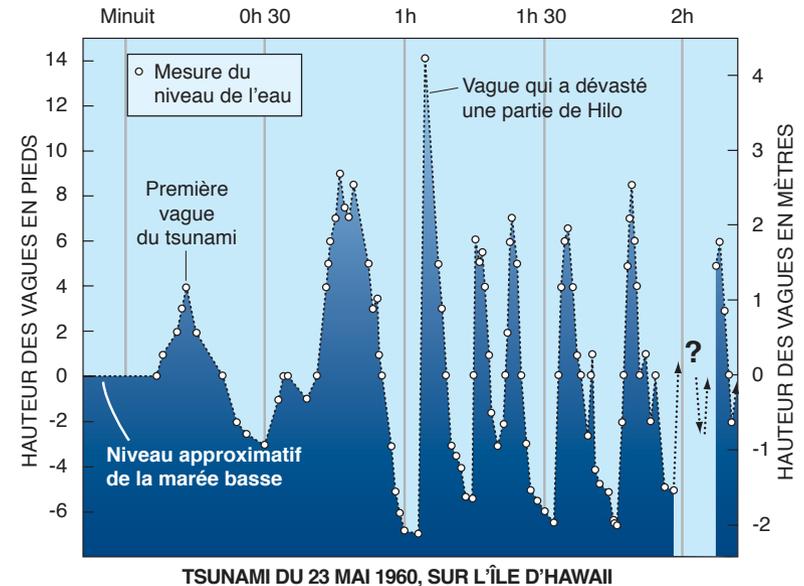
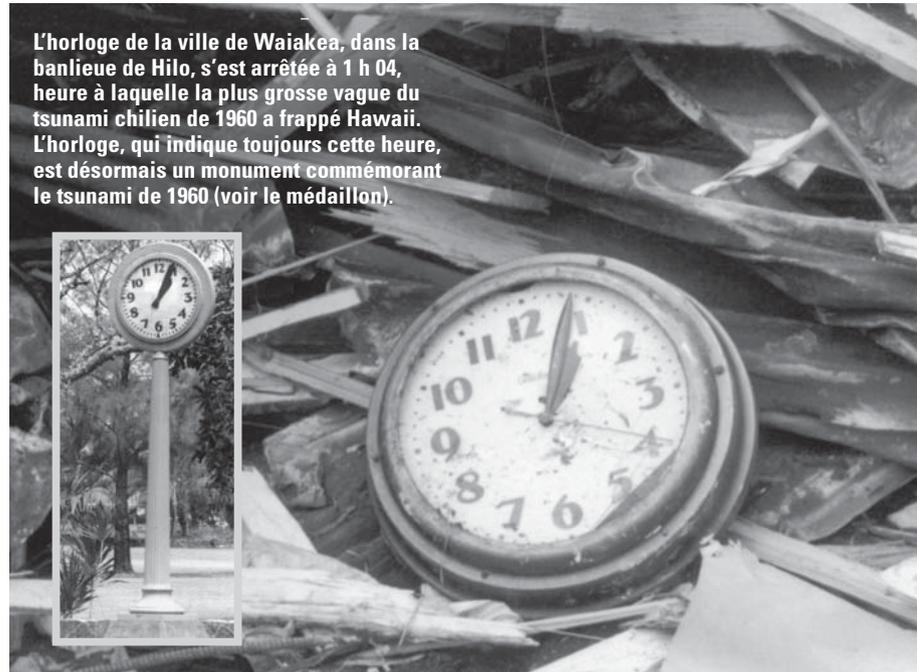
À Hilo, M. Eaton et ses collègues s'arrêtèrent pour obtenir de la police l'autorisation de mettre leur projet à exécution, puis se dirigèrent vers le pont de la rivière Wailuku, sur le rivage de la baie de Hilo. Ils savaient que le tsunami aléoutien de 1946 avait détruit le pont qui s'y trouvait. Ils établirent un poste d'observation sur le nouveau pont et commencèrent à mesurer le niveau de

l'eau en dessous. Ils préparèrent également leur propre plan d'évacuation – un petit sprint vers une zone élevée, au cas où.

Juste après minuit, l'eau sous le pont monta à 1,20 m au-dessus de la normale – la première vague du tsunami était là. À 0 h 46, la deuxième vague déferla sous le pont à une hauteur de 2,70 m au-dessus de la normale. À 1 heure, l'eau sous le pont était descendue 2,10 m au-dessous de la normale. M. Eaton se souvient qu'ils entendirent alors un bruit inquiétant, un grondement sourd semblable à celui d'un train dans le lointain, qui montait dans la nuit, au loin, dans la baie de Hilo. Deux minutes plus tard, ils commencèrent à apercevoir la source du bruit, un pâle mur d'eau qui se

précipitait, capté par les lueurs de Hilo. La vague grandissait à mesure qu'elle avançait continûment vers la ville, et le bruit devint assourdissant.

À 1 h 04, les hommes sur le pont prirent conscience qu'il leur fallait courir pour gagner les hauteurs, à quelques centaines de mètres de là. En se retournant, ils virent le front de la vague presque verticale de 6 m de haut s'abattre sur le pont, et l'eau forma une gerbe immense dans le ciel. Après le passage de cette vague et convaincus qu'ils pouvaient y retourner en toute sécurité, M. Eaton et ses collègues regagnèrent le pont et continuèrent de mesurer le niveau de l'eau lors de plusieurs autres vagues du tsunami (voir le graphique ci-dessous).

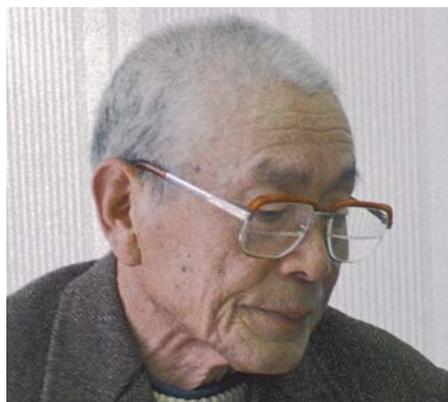


Le séisme chilien de 1960 a généré une série de vagues de tsunami qui ont traversé l'océan Pacifique. Ce document donne les mesures du niveau de l'eau effectuées sous le pont de la rivière Wailuku par le sismologue Jerry Eaton et ses collègues pendant les premières heures du tsunami à Hilo (Hawaii).

Se diriger vers les hauteurs et y rester

Aller sur les hauteurs ou au moins dans l'intérieur des terres, loin de la côte

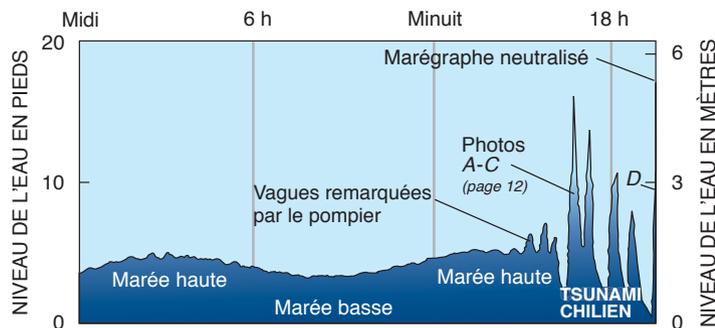
Aller sur les hauteurs et y rester a contribué à sauver des vies lors du tsunami chilien de 1960, non seulement au Chili mais aussi à Onagawa (Japon). Les vagues destructrices d'Onagawa, dont certaines charriaient des béliers de bois flottants, atteignaient 4,30 m de hauteur. De telles vagues continuèrent de déferler pendant plusieurs heures. Ailleurs au Japon, le tsunami tua 138 personnes, mais à Onagawa aucune perte humaine ne fut à déplorer, probablement parce que nombre d'habi-



tants de la région se réfugièrent sur les hauteurs. Certains d'entre eux étaient à l'abri aux alentours de 4 h 45, quand la première grosse vague entra dans la ville. Ils avaient été alertés par le pompier Kimura Kunio. M. Kimura, qui était de quart près du port de la ville tôt le matin, avait remarqué les mouvements inhabituels de l'eau.

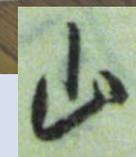
Avant 1960, d'autres tsunamis sud-américains avaient aussi eu des effets dévastateurs au Japon. Si l'on ne tient compte que de ceux en provenance du Pérou et du Chili, les Japonais ont dû affronter leurs effets en 1586, 1687, 1730, 1751, 1837, 1868 et 1877.

Endo Fukuei (ci-dessus, en 1999) se souvient de l'avertissement du pompier qui a incité les habitants d'Onagawa (Japon) à se réfugier sur les hauteurs alors que le tsunami chilien de 1960 atteignait le port de la ville. Certains habitants se rassemblaient sur une colline lorsque la première grosse vague balaya la ville (photos A-C, page 11). Près de trois heures plus tard, la foule était toujours sur cette colline lorsqu'une autre vague arriva (D, page 11). Les vagues visibles sur ces photos ont été enregistrées par un marégraphe dans le port d'Onagawa (voir le graphique ci-dessous).



Enregistrement du marégraphe les 23 et 24 mai 1960, à Onagawa (Japon).

À Miyako (Japon), au nord d'Onagawa, la population s'est réfugiée sur les hauteurs pour échapper au tsunami de Cascadia de 1700 (voir page 2). Leur fuite est racontée dans ce livre des archives gouvernementales datant de 1700. Selon ces mêmes archives, à Miyako, ce tsunami a détruit 13 maisons, déclenché un incendie qui en a brûlé 20 autres et obligé les autorités à fournir du riz à 159 personnes. À droite, l'idéogramme pour « hauteurs » à l'entrée correspondant au tsunami de 1700.



Les habitants de Miyako (Japon) se sont aussi réfugiés sur les hauteurs pour échapper au tsunami chilien de 1960. Takanohashi Gō (à droite), devant l'épicerie familiale en 1999, se souvient du tsunami de 1960 en compagnie du pompier Yamazaki Toshio. Alors élève au collège, M. Takanohashi courut au sommet de la colline et échappa aux vagues du tsunami lorsqu'elles atteignirent le magasin.



Tenir compte des alertes officielles

Jouez la sécurité, même si les alertes semblent ambiguës ou que vous pensez que le danger est écarté

À Hawaï, la population avait largement le temps d'évacuer Hilo alors que le tsunami chilien poursuivait sa course dans l'océan Pacifique le 22 mai 1960. À 18h47 (heure d'Hawaï), l'U.S. Coast and Geodetic Survey (ultérieurement rebaptisé National Ocean Survey) émit un bulletin d'alerte officiel selon lequel les vagues devaient atteindre Hilo vers minuit. Aux alentours de 20 h 30, les sirènes côtières de Hilo se mirent à retentir et continuèrent de le faire par intermittence pendant vingt minutes.

Lorsque la première vague, de quelques pieds de haut seulement, arriva juste après minuit, des centaines de personnes étaient toujours chez elles, à faible altitude, à Hilo. D'autres, pensant que le danger était écarté,

retournèrent à Hilo avant que la plus forte vague du tsunami ne frappe la ville à 1 h 04 le 23 mai. La jeune Carol Brown, 16 ans, faisait partie de ces personnes rentrées trop tôt.

Carol était chez ses parents, à basse altitude, à Hilo, lorsque les sirènes retentirent. Les parents de Carol emportèrent des objets de valeur chez des proches à Papa'ikou, à quelques kilomètres au nord-ouest de Hilo, tandis que Carol et son frère Ernest passaient voir une nièce qui faisait du babysitting en dehors de la ville.

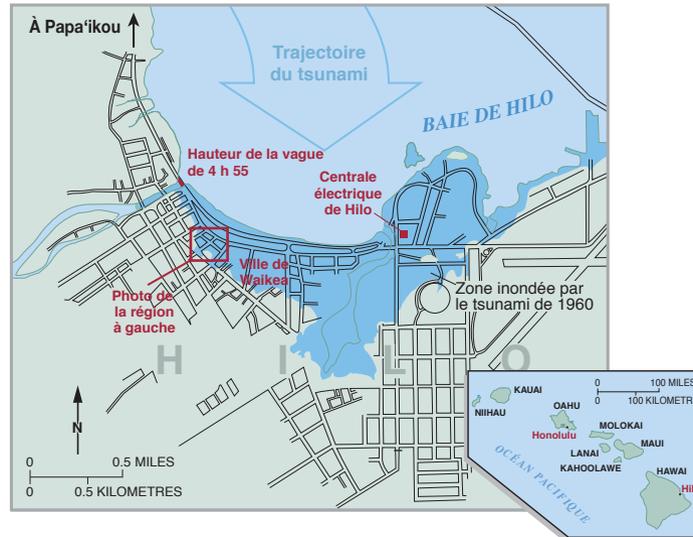
Plus tard, Carol et Ernest retournèrent à Hilo après avoir entendu à la radio que les vagues du tsunami avaient déjà frappé la ville et ne dépassaient guère 2 m. Sur le chemin du retour, un officier de police leur dit que le danger était écarté. Carol et Ernest se rendirent

chez leur sœur dans une partie basse de la ville. Vers 1 heure du matin, ils commencèrent à entendre un léger grondement qui bientôt s'intensifia et s'accompagna de craquements et de bruits de collision. Quelques instants plus tard, un mur d'eau s'abattit sur la maison, l'arrachant à ses fondations pour la faire dériver. Lorsque la maison s'immobilisa, Hilo était plongée dans le noir car la centrale électrique avait été détruite par la même vague.

Carol et sa famille ont survécu au tsunami chilien de 1960 sans blessure grave. Mais 61 personnes sont mortes à Hilo et 282 autres ont été gravement blessées. Ces pertes s'expliquent, en partie, par les interprétations différentes que les habitants de Hilo ont données aux sirènes d'alerte le soir du 22 mai 1960. Bien que presque tout le monde ait

entendu les sirènes, seulement un tiers de la population environ pensa qu'il s'agissait d'un signal d'évacuation immédiate. La plupart des gens pensèrent qu'il ne s'agissait que d'une alerte préliminaire qui serait suivie ultérieurement d'un ordre d'évacuation. D'autres à Hilo n'étaient pas certains de devoir prendre l'alerte au sérieux, car plusieurs alertes précédentes avaient été suivies de tsunamis qui n'avaient causé que peu de dégâts.

Lors du tsunami chilien de 2010, le Centre d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique a émis une alerte pour le Pacifique. À Hawaï, les citoyens en ont tenu compte et ont évacué les côtes. Les dommages causés aux petits ports et aux hôtels de bord de mer ont dépassé les 50 millions de dollars des États-Unis mais personne n'a été tué ou blessé.



À Hilo (Hawaï), bien que les sirènes d'alarme aient retenti plus de trois heures avant l'arrivée des premières vagues, le sens de ces alertes n'était pas clair. Parmi ceux qui évacuèrent la ville suite à ces alertes, Carol Brown, 16 ans (qui porte une robe blanche sur cette photo où elle pose à côté de sa famille à Papa'ikou). Cependant, après avoir entendu dire que les premières vagues étaient de faible ampleur et que le danger était écarté, nombre de personnes, notamment Carol et son frère Ernest, rentrèrent chez eux à Hilo et se firent happer par la plus grosse vague du tsunami. Le lendemain matin, on constata la destruction de la ville de Waieka, où de nombreuses personnes avaient vécu.

Abandonner ses biens

Sauvez votre vie, pas vos biens

Comme chacun à Maullín (Chili), Ramón Atala a survécu au séisme chilien de 1960. Cependant, il est mort en tentant de sauver quelque chose du tsunami qui s'ensuivit.

M. Atala était le commerçant le plus prospère de Maullín. Il possédait une grange et une plantation de pins de Monterey à l'extérieur de la ville. En ville, il était propriétaire d'un appartement et d'au moins un grand immeuble, ainsi que d'une résidence privée dans un entrepôt du front de mer.

Selon Nabih Soza, lui aussi commerçant, M. Atala entra dans cet entrepôt entre la première et la deuxième vague du tsunami qui frappa Maullín. M. Atala resta probablement pris au piège dans l'entrepôt lorsque la deuxième vague emporta le bâtiment. Son fils, Eduardo, déclara que par la suite son père fut porté disparu et que son corps ne fut jamais retrouvé.

Certains habitants disent que M. Atala fut brièvement retenu à l'extérieur du bâtiment par sa femme, qui agrippa ses cheveux avant qu'il ne s'éloigne. Nombreux sont ceux qui inventent une histoire, en forme d'avertissement, et racontent qu'en homme riche il entra dans l'entrepôt pour sauver de l'argent.

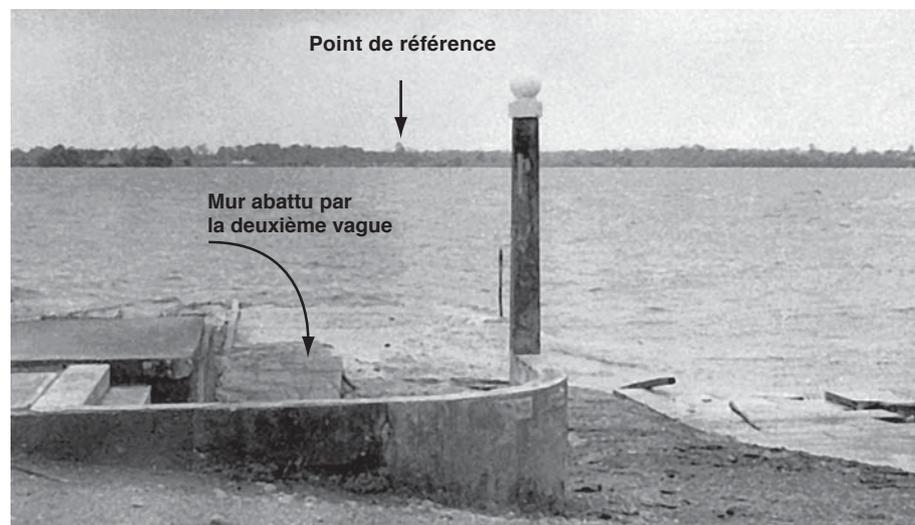
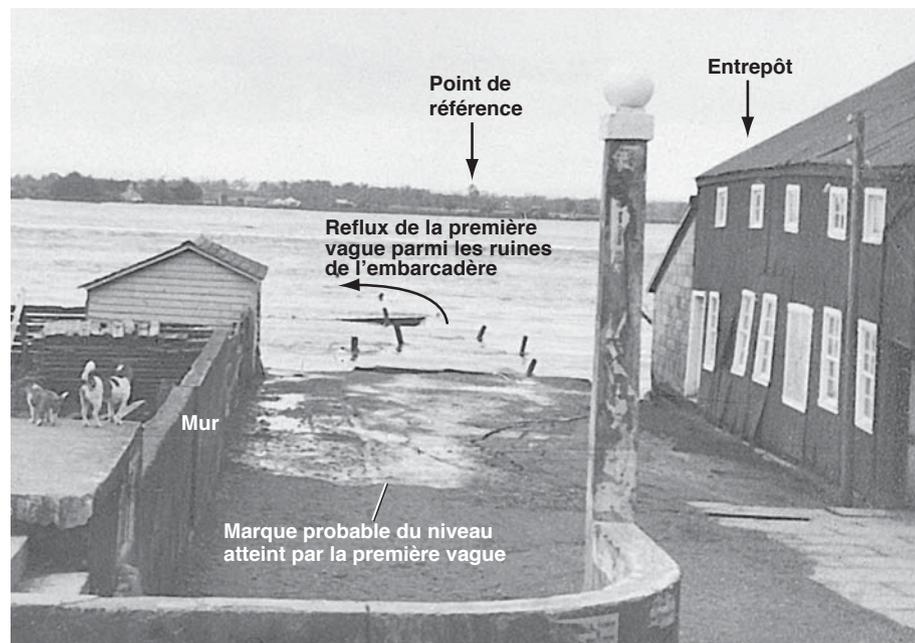
Au moment où M. Atala était emporté par la deuxième vague, sa grange aux abords de Maullín offrait un refuge à une vingtaine de personnes, qui eurent ainsi la vie sauve. (Voir le récit page 15).

En 2010, dans la ville de Constitución, un homme se trouvait dans sa maison face à la rivière. La maison était en béton armé. Elle résista au séisme de magnitude 8,8, mais l'homme s'enfuit vers une zone sûre. À son retour, sa maison avait été détruite et il trouva des poissons et des déchets jusqu'au troisième étage.



Nabih Soza, à son magasin en 1989, se souvient de Ramón Atala, lui aussi commerçant à Maullín (Chili). M. Atala était entré dans un entrepôt de la ville entre la première et la deuxième vague du tsunami chilien de 1960.

Ces photographies prises pendant le tsunami montrent l'entrepôt au moment où la première vague se retire (en haut) et la même vue après que la deuxième vague a balayé le bâtiment (en bas).



Ne pas compter sur les routes

Lorsque vous fuyez un tsunami provoqué par un séisme survenu à proximité, il se peut que vous trouviez des routes coupées ou bloquées

Quelques minutes après le séisme chilien de 1960, René Maldonado, qui était à cheval sur la route venant de Maullín (Chili), dut sauter par-dessus des crevasses nouvellement formées. Les vagues du tsunami consécutif au tremblement de terre coupèrent la route endommagée peu de temps après, laissant des chenaux trop larges pour que même un cheval puisse les franchir d'un saut.

Tous les habitants de la région ne furent pas aussi chanceux que M. Maldonado lorsqu'ils tentèrent de fuir le séisme et le tsunami. La route de certains d'entre eux fut barrée par les vagues. (Voir le récit page 15).

Les secousses du séisme de 1960 ne se contentèrent pas d'endommager les routes mais provoquèrent aussi des glissements de terrain qui non seulement bloquèrent des routes mais créèrent aussi un barrage sur la rivière San Pedro sur les

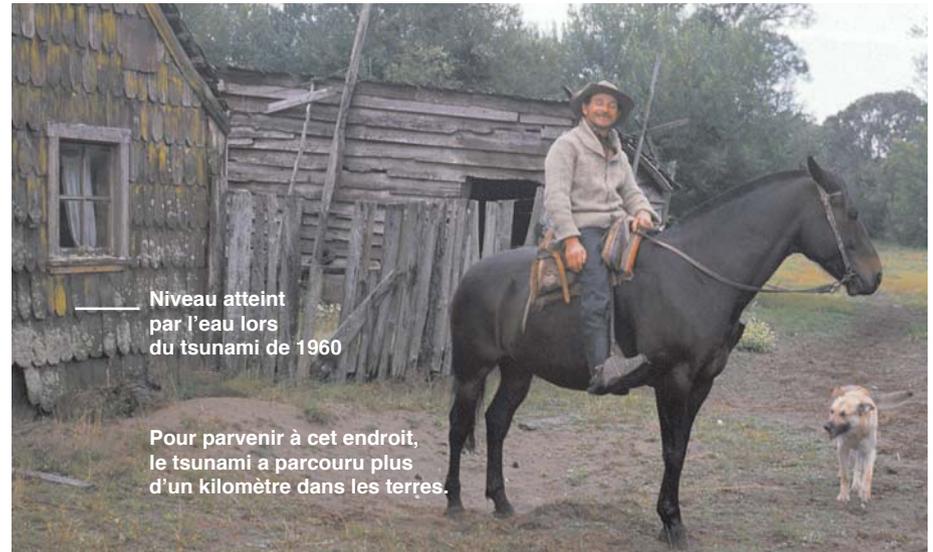
contreforts des Andes à environ 65 km à l'est de la ville de Valdivia (Chili). Ultérieurement, la rupture de ce barrage provoqua une inondation qui recouvrit une partie de la ville (voir la carte).

Le séisme de 2010 endommagea également des routes, des ponts et des voies ferrées.

À droite, M. Maldonado pose à cheval en 1989 à côté de sa maison de 1960.

Ci-dessous, une photo de 1960 prise à Valdivia (Chili) montre un quai défoncé par les secousses du séisme, qui ont déplacé le terrain vers la rivière toute proche.

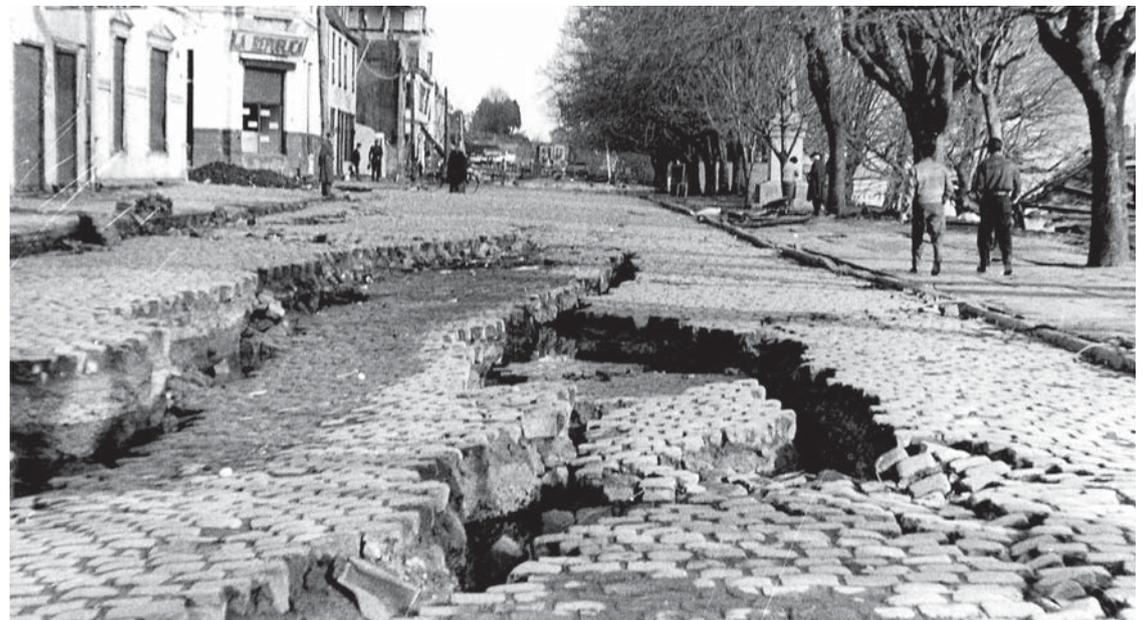
Le séisme chilien de 1960 a créé une faille dans une route près de Maullín (Chili), route empruntée quelques minutes plus tard par René Maldonado et bientôt coupée par les vagues du tsunami consécutif au séisme.



Niveau atteint par l'eau lors du tsunami de 1960

Pour parvenir à cet endroit, le tsunami a parcouru plus d'un kilomètre dans les terres.

À Tubul, la forte secousse a provoqué la chute de portions du pont, laissant la chaussée impraticable.



Monter dans les étages supérieurs ou sur le toit d'un bâtiment

Uniquement si vous êtes pris au piège et que vous ne pouvez pas gagner une hauteur, montez dans les étages ou sur le toit d'un immeuble solide

La famille de José Navarro, qui cultivait des terres sur une péninsule basse près de Maullín (Chili), ne disposait que d'un itinéraire rapide vers les collines après le séisme chilien de 1960. Cet itinéraire courait en direction de l'est le long d'une route non pavée, passait par un pont enjambant une rivière à marées et rejoignait un plateau appelé Chuyaquén. Un voisin emprunta rapidement cette route, mais la famille Navarro resta chez elle, près d'une autre rivière à marées (voir la photographie de droite).

Quelques minutes après le tremblement

de terre, la famille Navarro vit les eaux de la rivière se retirer. Ils n'avaient jamais vu une aussi grande partie de son lit à découvert. À ce moment-là, la première vague du tsunami consécutif au séisme approchait mais restait hors de vue à l'ouest (voir la localisation sur la photographie page 17).

Ce n'est que lorsqu'ils virent un petit mur d'eau à moins de 2 km de distance que les Navarro partirent se réfugier sur les hauteurs. La famille n'avait que 800 m à parcourir pour atteindre le pont qu'avait emprunté leur voisin. Ils firent suffisam-

ment de chemin pour assister à sa destruction par la première vague du tsunami juste sous leurs yeux.

Alors que la première vague refluit, ils cherchèrent à grimper sur quelque chose. Rien autour d'eux ne dépassait quelques mètres de haut, à l'exception de leurs pommiers de neuf ans et de plusieurs haies de cyprès. Cependant, à 1,2 km de là au sud, se trouvait une grange qui appartenait à Ramón Atala – lequel était sur le point d'être emporté par la deuxième vague à Maullín (voir le récit page 13).

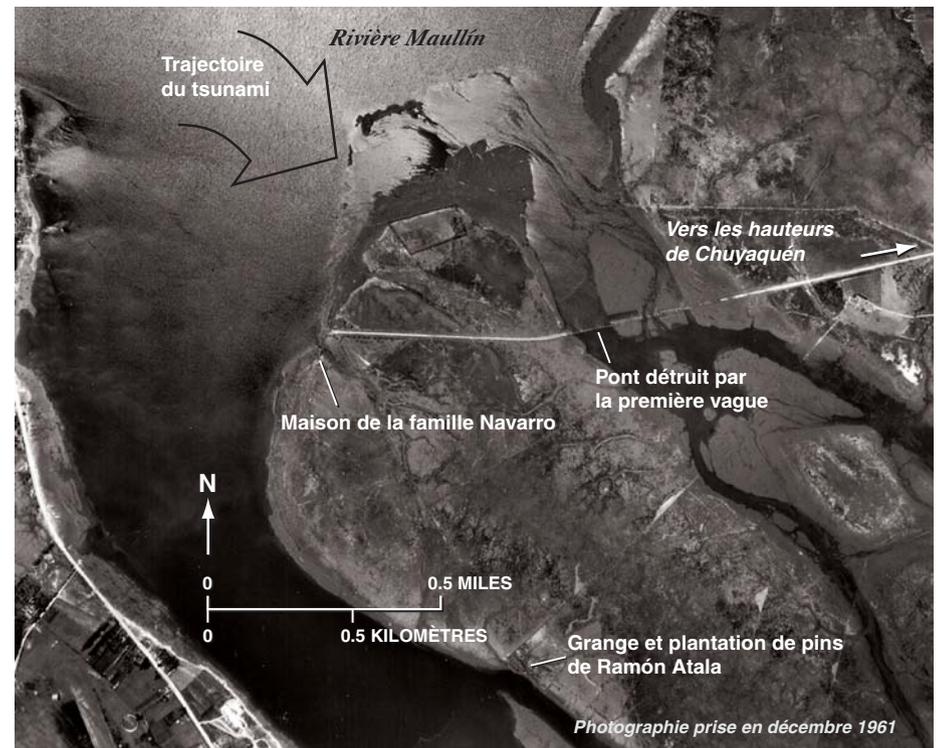
Alors que sa femme et ses enfants se

dirigeaient vers la grange, M. Navarro ne les accompagna pas et voulut sauver quelques biens de la maison familiale. Cependant, lorsqu'il entendit des cris en provenance de Maullín, il y vit le signal de l'arrivée d'une deuxième vague et prit aussitôt la direction de la grange.

La deuxième vague atteignit la grange juste au moment où M. Navarro y rejoignait sa famille. Avec 14 autres personnes, la famille Navarro passa la nuit dans le grenier de la grange de Ramón Atala, à l'abri des eaux du tsunami qui coulaient au-dessous d'eux.



Mme et M. Navarro, rejoints par leur fille, posent pour une photo en 1989 sous le porche de la maison qu'ils habitent depuis le tsunami, sur les hauteurs près de Maullín (Chili). Le tsunami chilien de 1960 avait détruit leur ancienne maison, qui était située en plaine près d'une rivière à marées. La photo ci-dessus montre les points de référence de leur course pour la survie pendant les deux premières vagues du tsunami.



Grimper à un arbre

En dernier recours, si vous êtes resté piégé en plaine, grimpez sur un arbre solide

Au moins 12 personnes près de Maullín (Chili) survécurent au tsunami chilien de 1960 en grimpant à un arbre (voir la localisation en page 17). Toutefois, d'autres périrent lorsque l'arbre sur lequel ils étaient montés fut arraché par le tsunami (voir le récit page 17).

Ramón Ramírez, 15 ans à l'époque du tsunami, a survécu en escaladant les branches d'un cyprès (photographie à droite) dans une plaine à l'ouest de Maullín. Alors que M. Ramírez était en sécurité dans le cyprès, les eaux du tsunami tourbillonnaient autour de l'arbre. Elles atteignirent 4,60 m au-dessus du niveau de la mer et montèrent de plusieurs pieds le long du tronc.

À Quenuir, toute proche, à l'embouchure de la rivière Maullín, Estalino Hernández grimpa sur un myrte pour échapper aux

vagues du tsunami. Alors qu'il s'accrochait à l'arbre, l'eau monta jusqu'à sa taille.

Non loin de là, l'eau, qui se précipitait à flots, recouvrit la terre sur une hauteur de 9 m au-dessus du niveau de la mer. Si M. Hernández survécut au tsunami, les flots emportèrent son fils de 13 ans. Quenuir déplora 104 autres victimes, dont la plupart évacuèrent la côte en bateau juste après le séisme et furent emportées par la première vague du tsunami.

À l'intérieur des terres, une femme enceinte, María Vera, et huit autres personnes montèrent sur un arbre dans une prairie de faible altitude au nord de la rivière Maullín (photographie ci-dessous). Toute la nuit, les eaux se déchaînèrent sous eux, creusant la terre sablonneuse aux alentours.



María Vera, enceinte, se trouvait à plus de 800 m de collines et échappa au tsunami chilien de 1960 en grimpant à un arbre aux abords de Quenuir (Chili). Ramón Ramírez (à droite, en 1989) se tient près du cyprès dans lequel il resta à l'abri tandis que les eaux du tsunami tourbillonnaient autour du tronc.



Grimper sur un objet qui flotte

Si vous êtes emporté par un tsunami, cherchez quelque chose qui pourrait vous servir de radeau

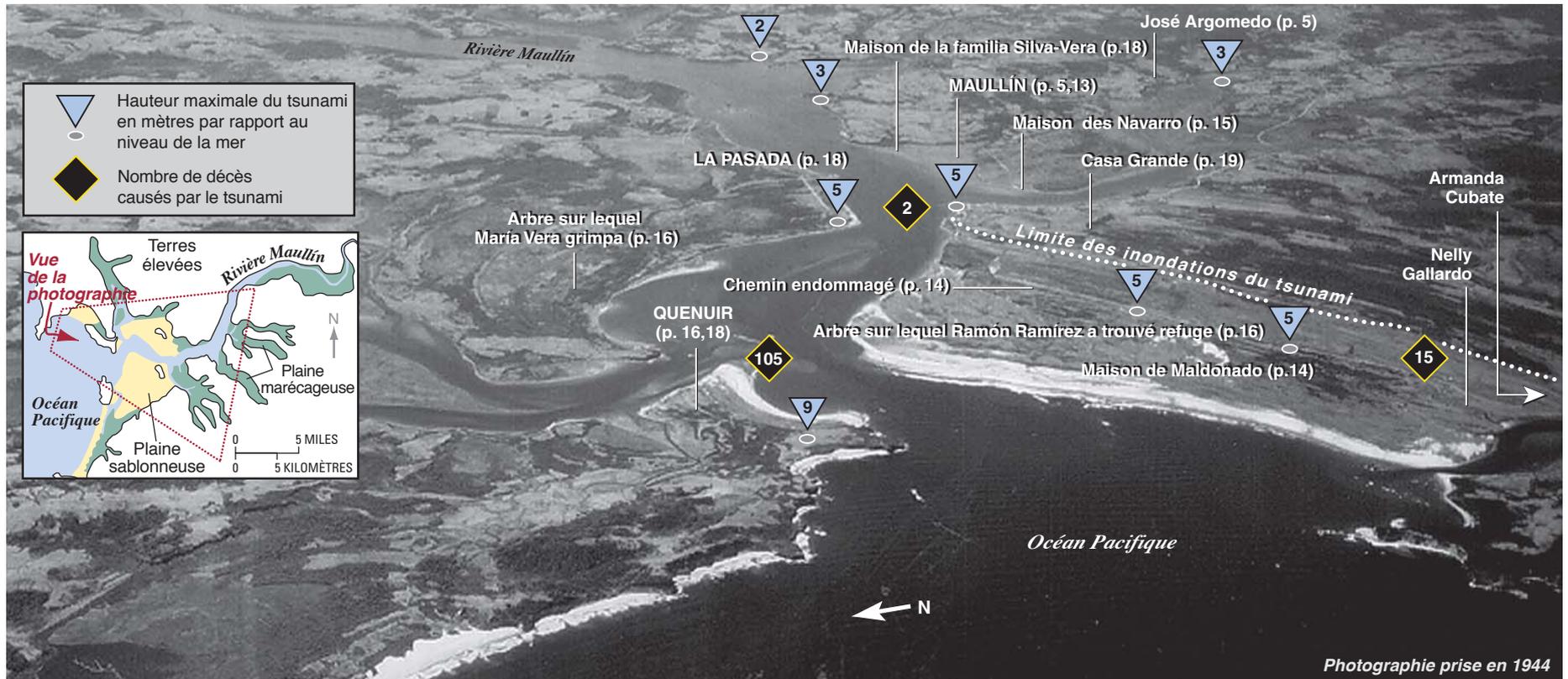
Nelly Gallardo a survécu au tsunami consécutif au séisme chilien de 1960 en s'accrochant à un rondin. Le séisme frappa alors qu'elle cherchait des palourdes sur la plage plus de 6 km à l'ouest de Maullín (Chili). Peu après la fin des secousses, elle marcha près de 100 m vers l'intérieur des terres en direction d'une maison qui se trouvait à plus de 800 m de la colline la plus

proche. Ensuite, ce dont Mme Gallardo se souvient, c'est qu'elle flottait sur un tronc d'arbre. Elle s'accrocha à ce tronc jusqu'au lendemain matin. Pendant un moment, elle entendit la voix d'un homme qui appelait à l'aide – son corps fut retrouvé plus tard. À l'aube, elle se trouva à plus de 1,5 km de l'endroit où le tsunami l'avait fauchée. Le tsunami était

arrivé en plusieurs vagues, mais Mme Gallardo ne se souvient que de celle qui l'emporta à la dérive.

Le toit de la maison de sa famille servit de radeau de survie à Armanda Cubate, son neveu de 4 ans Nelson et cinq autres personnes. La maison, située à faible altitude à l'ouest de Maullín, résista au séisme de 1960. Elle résista aussi aux

deux premières vagues du tsunami qui s'ensuivirent, mais la troisième la balaya. Non loin de là, cette vague arracha aussi l'arbre sur lequel le père de Mme Cubate avait grimpé pour échapper au tsunami. Lui et la mère de Mme Cubate se noyèrent dans les flots. Un peu plus tard, les survivants sur le toit hissèrent le corps de la mère hors de l'eau.



Comme le montre cette photo de l'embouchure de la rivière Maullín (Chili) prise en 1944, le tsunami chilien de 1960 a parcouru près de 3,5 km à l'intérieur des terres depuis la plage au premier plan à droite. Dans une grande partie de cette zone inondée, l'eau a atteint une hauteur de 4,50 m au-dessus du niveau de la mer. Après avoir été emportée par le tsunami, Nelly Gallardo a dérivé sur un rondin et Armanda Cubate sur un toit jusqu'au lendemain matin (voir à l'extrême droite de la photo). Elles ont survécu au tsunami, mais 15 autres personnes près d'elles sont mortes.

S'attendre à ce que les vagues laissent des débris

Un tsunami laisse derrière lui sable, débris de maisons et corps

Le tsunami fut si puissant qu'il exhuma même les morts. Ce dicton vient de Quenuir (Chili), village à l'embouchure de la rivière Maullín (photographie page 17). Le tsunami consécutif au séisme chilien de 1960 tua 105 habitants de Quenuir – un quart de la population du village. Outre les personnes qui périrent, Quenuir perdit nombre de ses morts. Le cimetière du village était situé sur un sol sablonneux que le tsunami emporta. Des débris du cimetière furent retrouvés à près de 5 km en amont de la rivière. Là, juste à la sortie de La Pasada, Tulio Ruiz trouva des croix et même un cercueil.

Le tsunami de 1960 déposa aussi du sable le long de la rivière Maullín, notamment sur des terres appartenant à Juan Vera. Lui et sa femme, María Silva, vivaient en plaine à 3 km à l'est de Maullín. Le séisme de 1960 frappa alors que Mme Silva était chez elle et son mari sur une colline avoisinante. Leur maison s'effondra, mais Mme Silva s'échappa et rejoignit rapidement son mari sur les hauteurs. Ensemble, ils regardèrent le tsunami recouvrir leurs terres et emporter au loin les vestiges de leur maison. Le lendemain, M. Vera trouva une couche

de sable de plusieurs pouces d'épaisseur sur la plus grande partie du terrain que le tsunami avait envahi.

De nombreuses maisons furent emportées à l'intérieur des terres par le tsunami de 1960. Après avoir fui sur les hauteurs près de Queule, à plus de 160 km au nord de Maullín, Filberto Henríquez vit des maisons flotter et s'éloigner de la ville. Il se souvient que certaines d'entre elles, dont le poêle fumait encore, ressemblaient à des navires. Des carcasses de maisons de Queule finirent leur course jusqu'à 1,5 km à l'intérieur des terres

(selon un rapport de Wolfgang Weischet ; voir page 6) mais celle de Margarita Liempí fut redéposée intacte ; même les verres ne furent pas cassés.

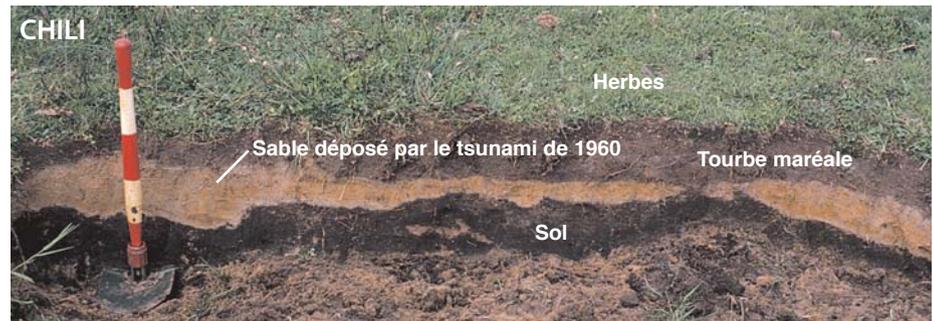
À Mehuín, près de Queule, Jacinto Reyes enterra certaines des victimes du tsunami. Parmi elles, les parents de deux fillettes retrouvées dans des ronces, en vie malgré des égratignures. Toutes les victimes du tsunami ne furent pas retrouvées rapidement. Environ dix jours après le tsunami, M. Reyes trouva par hasard des corps ensablés que les oiseaux dévoraient.



Le tsunami chilien de 1960 a déposé une couche de sable sur les champs de Juan Vera près de Maullín (Chili).

Lorsque la photo de M. Vera a été prise en 1989, la couche de sable était toujours visible sur le bord de la rivière.

Une couche de sable similaire liée au tsunami de Cascadia de 1700 recouvre les vestiges d'un camp de pêcheurs indiens découverts sur une rive de la Salmon River, dans l'Oregon (photo en bas à droite ; voir la localisation en page 3)



S'attendre à ce que les secousses abaissent ou soulèvent le sol le long de la côte

Un séisme de forte amplitude peut abaisser les terres côtières environnantes, permettant au raz-de-marée de les inonder

Non seulement le séisme chilien de 1960 a provoqué un tsunami qui a emporté Ramón Atala (voir le récit page 13), mais il a aussi transformé sa plantation de pins de Monterey aux abords de Maullín (Chili) en marais salant. Les pins, cultivés pour leur bois, poussaient sur des terres peu élevées autour de la grange de M. Atala (voir le récit page 15). Le séisme abaissa ces terres. Les marées pouvant alors inonder la plantation, le sol devint trop détrempé et salé pour que les arbres puissent survivre.

Ce qui est arrivé à la plantation de M. Atala s'est produit dans de nombreux endroits le long de la côte chilienne. Lorsque la plaque tectonique sud-américaine s'affina

sur 960 km de long suite au séisme de 1960, les terres alentour s'abaissèrent de près de 2,50 m (voir graphique B, page 3). La mer put alors recouvrir les fermes, les forêts et les pâturages côtiers.

Pour sa part, le séisme chilien de 2010, de magnitude 8,8, provoqua une élévation de 1 à 2 m de la moitié sud, et un affaissement de 0,5 m de la partie nord, des côtes touchées. Dans la péninsule méridionale d'Arauco, l'élévation fit émerger coquillages et algues de façon permanente (voir photographie).



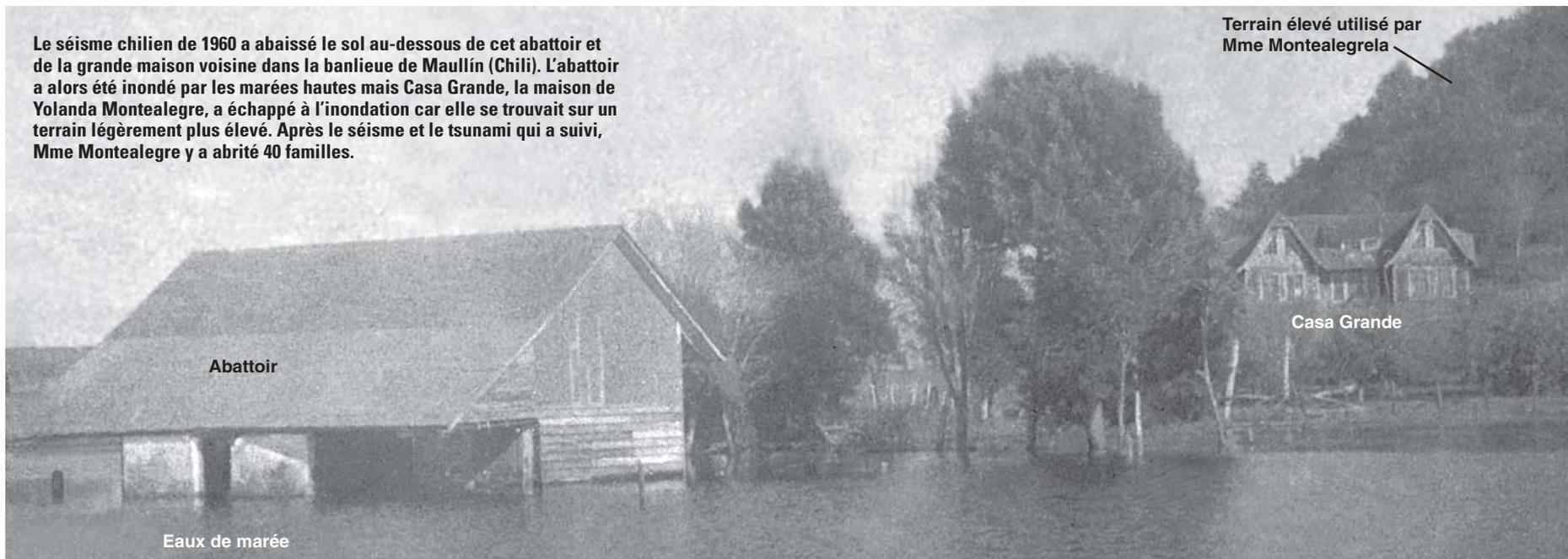
Sur l'île de Santa María (ci-dessus), le soulèvement de la côte lors du séisme chilien de 2010 a exposé des algues (notamment des algues corallines, en blanc) et des moules.

S'attendre à avoir de la compagnie

Offrez un abri à vos voisins

Au cours des premières semaines qui ont suivi le séisme et le tsunami chiliens de 1960, Yolanda Montealegre a offert un abri à 40 familles à Casa Grande, sa grande maison à la périphérie de Maullín (Chili). Mme Montealegre quitta sa maison quelques minutes après les secousses et gagna les hauteurs à temps pour assister à l'arrivée de la deuxième vague du tsunami consécutif au séisme. Le lendemain matin, elle retrouva Casa Grande en bon état, le rez-de-chaussée au sec. Les familles qu'elle accueillit peu de temps après faisaient partie de quelque 1 million de Chiliens laissés temporairement sans abri par le séisme et le tsunami.

Le séisme chilien de 1960 a abaissé le sol au-dessous de cet abattoir et de la grande maison voisine dans la banlieue de Maullín (Chili). L'abattoir a alors été inondé par les marées hautes mais Casa Grande, la maison de Yolanda Montealegre, a échappé à l'inondation car elle se trouvait sur un terrain légèrement plus élevé. Après le séisme et le tsunami qui a suivi, Mme Montealegre y a abrité 40 familles.



Abattoir

Eaux de marée

Terrain élevé utilisé par Mme Montealegre

Casa Grande

Crédits et sources

Personnes interviewées

[Liste alphabétique par nom de famille paternel. Les chiffres correspondent à leur âge en 1960, qui est omis s'il n'est pas connu. Le nom des personnes citées ou photographiées dans le présent fascicule apparaît en caractères gras.]

Maullín, Quenuir et La Pasada (Chili)

Ricardo Águila (34), Juan Águila (36), Carlos Andrade (12), **José Argomedo Hernández** (22), José Asencio Cárcamo (45), Elisa Asencio Téllez (19), **Eduardo Atala B.** (42), Reinaldo Cárcamo (52), Hernán Cárcamo Gómez (33), Víctor Chávez Villegas (56), **Armanda Cubate Estrada** (27), **Nelly Gallardo** (23), René García Silva (39), Hermógenes Gómez Rival, Adelina Gómez Rival (44), Felisa del Rosario Hernández Paredes (39), **Estalino Hernández** (54), Gaspar Hernández, Tulio Hernández, René Leichtle Krebs (43), **René Maldonado** (30), Alejandrino Mancilla, Antonio Segundo Mancilla (22), Bernarda Mancilla S. (23), **Yolanda Montealegre Mücke** (40), Rodrigo Morales, Fidel Navarro (50), Oscar Navarro Navarro (34), **José Miguel Navarro Silva** (44), Enoc Ojeda (20), José B. Ojeda Muñoz (40), Julia Paredes Toledo (54), **Ramón Ramírez Solís** (15), Braulio Reyes, Jorge Ruiz (34), **Tulio C. Ruiz** (23), José Ruperto Sánchez Gallardo (15), René Serón (36), **María Isolina Silva** (29), Domitila Solís (50), Pedro Soto (62), **Nabih Soza** (23), Gastón Ezequiel Toledo Arria (22), José Elizardo Torralbo (27), **María Vera** (42), Guillermina Vera Mancilla (39), **Juan Vera Mancilla** (34), el padre de Ángela Vera Reyes.

Valdivia, Puerto Saavedra, Mehuín et Queule (Chili)

Denis García (75), Erna Espinosa, Elsira Flores, **Filiberto Henríquez Jaramillo** (32), **Martín Huaracán**, Hernán Liempí (11), **Margarita Liempí** (18), **Vitalia Llanquimán**, Matrimonio Moraga, Gilberto Nahuelpán Liempí (25), Daniel Nahuelpán Rumillanca (32), **Juan Peña**, Alberto Perón Antilco (23), **Jacinto Reyes Reyes** (54), **Jovita Riquelme**

(45), Alejandro Villagrán Rojas (25), Andrea de Mehuín, Erasmo de Mehuín (23), Diodema de Mehuín (35).

Onagawa y Miyako (Japon)

Endo Fukuei (40), Moriai Miya (40), Moriai Mutsuhara (22), **Takanohashi Go** (12), Yamasaki Nori (26), **Yamazaki Toshio**, Kimura Tsuneo (28).

Hilo (Hawaii)

Carol D. Brown (16) y **Jerry P. Eaton** (33).

Preparation de l'ouvrage

Entretiens (C, Chili; J, Japon)

Brian F. Atwater (C, J), Joanne Bourgeois (C), José Ulloa Cortés (C), Marco A. Cisternas Vega (C), Héctor Jiménez Núñez (C), Marcelo López Bermedo (C), Carlos Pineda (C), Musumi Satoko (J), Mary Ann Reinhart (C), Adriana Sandoval Lagos (C), Tsuji Yoshinobu (J), Ueda Kazue (J) y David K. Yamaguchi (J).

Entretiens (Hawaii)

Adaptation des récits de survivants de tsunamis dans «Tsunami !» de Walter C. Dudley et Min Lee, 1998 (Presses universitaires d'Hawaii), complétés par les entretiens réalisés en 1999 par Walter C. Dudley, Peter H. Stauffer et James W. Hendley II.

Photographies

Centre international d'information sur les tsunamis (p. 4, 12, 14). Marco A. Cisternas Vega (p. 8, 19), École d'architecture et de design de l'Université pontificale catholique de Valparaíso (Chili) (p. 7, couverture), Armée de l'air du Chili, Service aérophotogrammétrique (p. 15, image 16019), Honolulu Advertiser (p. 12), Municipalité de Maullín (p. 5, 13, 19), Diego Muñoz (p. 8), Musée des tsunamis du Pacifique (p. 9, 12), Saint-Amand (1963 ; p. 6 et 14), Hellmuth Sievers (p. 8), Université de Tokyo (p. 10, 11), Defense Mapping Agency (États-Unis) (p. 16, image 503-333 ; p. 17, image 552.R.13), UNESCO/Daniel Melnick (p. 14), Constanza Vallejos (p. 2), A. Yamauchi (p. 14), María

Carolina Zúñiga (p. 7).

Observations critiques

Sally Atwater, Sergio Barrientos, Eddie Bernard, Jan Bono, Steven R. Brantley, Gary Brown, George Crawford, Lori Dengler, Rich Eisner, Stephanie Fritts, Imamura Fumihiko, Eric Geist, Helen Gibbons, Frank González, Dick Hagemeyer, T.J. Harmon, Víctor Huérfano, Chris Jonientz-Trisler, Hal Mofjeld, Alan Nelson, Dave Oppenheimer, Jim Phipps, George Priest, Peter Stauffer, Uri Ten Brink, Barbara Thurman, Vasily Titov, John Vollmer, Christa von Hillebrandt-Andrade.

Ont également contribué à la réalisation du présent fascicule :

Mario Pino (Université australe du Chili) ; Carolina Villagrán et Sergio Barrientos (Université du Chili) ; Équipe de recherche Gracilaria de Maullín (Université australe du Chili). Isoda Hisako, Kishimoto Kiyo et Satake Kenji (Service géologique du Japon) ; Murakami Yoshikane, Sato Hiroshi et Watanabe Tokie (Université de Tokyo, Institut de recherche sismique) ; Abe Motomu (village d'Onagawa) et Ota Yoko.

Pour de plus amples renseignements

Séisme et tsunami chiliens de 1960

Berkman, S.C., and Symons, J.M., sin fecha de Berkman, S.C., et Symons, J.M., sans date de publication, The tsunami of May 22, 1960, as recorded at tide stations : U.S. Coast and Geodetic Survey, 79 pages.

Cisternas, M., Atwater, B.F., Torrejón, F., Sawai, Y., Machuca, G., Lagos, M., Eipert, A., Youlton, C., Salgado, I., Kamataki, T., Shishikura, M., Rajendran, C.P., Malik, J.K., Rizal, Y., et Husni, M., 2005, Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake : Nature, v. 437, p. 404-407.

Dudley, W.C., et Lee, M., 1998, Tsunami ! : Presses universitaires d'Hawaii, 362 pages.

Eaton, J.P., Richter, D.H., et Ault, W.U., 1961. The tsunami of May 23, 1960, on the Island of Hawaii : Seismological Society of America Bulletin, v. 51, n° 2, p. 135-157.

Griffin, Wallace, 1984, Crescent City's dark disaster : Crescent City Printing Co., 188 pages.

Agence météorologique japonaise, 1961, Rapport sur le tsunami consécutif au séisme chilien de 1960 : Rapport technique de l'Agence météorologique japonaise, n° 8, 389 pages (en japonais).

Lachman, R., Tatsuoka, M., et Bonk, W.J., 1961, Human behavior during the tsunami of May 1960 : Science, v. 133, p. 1405-1409.

Lander, J.F., Lockridge, P.A., et Koach, M.J., 1993, Tsunamis affecting the west coast of the United States 1806-1992 : National Oceanic and Atmospheric Administration, NGDC Key to Geophysical Records Documentation n° 29, 242 pages.

Lockridge, P.A., 1985, Tsunamis in Peru-Chile : National Oceanic and Atmospheric Administration, World Data Center A for Solid Earth Geophysics. Rapport SE-39, 97 pages.

Lochnitz, C., 1970, Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955 : Geologische Rundschau, Bd. 59, p. 938-960.

Plafker, G., et Savage, J.C., 1970, Mechanism of the Chilean earthquakes of May 21 and 22, 1960 : Geological Society of America Bulletin, v. 81, p. 1001-1030.

Saint-Amand, P., dir. publ., 1963, Special issue – oceanographic, geologic, and engineering studies of the Chilean earthquakes of May 1960 : Bulletin of the Seismological Society of America, v. 53, n° 6, p. 1123-1436.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (Service hydrologique et océanographique de la marine chilienne), 2000, El maremoto del 22 de Mayo de 1960 en las costas de Chile (2e éd.) : Valparaíso, SHOA, 72 pages.

Shepard, F.P., MacDonald, G.A., et Cox, D.C., 1950, The tsunami of April 1, 1946 : Scripps Institution of Oceanography Bulletin, v. 5. p. 391-528.

The Committee for Field Investigation of the Children Tsunami of 1960, 1961, Report on the Chilean tsunami of May 24, 1960, as observed along the coast of Japan (Comité d'enquête sur le terrain sur le tsunami chilien de 1960, 1961, Rapport sur le tsunami chilien du 24 mai 1960, tel qu'observé le long des côtes du Japon), Tokyo, Maruzen Co., Ltd., 397 pages.

Séisme et tsunami chiliens de 2010

Bray, J., et Frost, D., 2010, Geo-engineering Reconnaissance of the 2010 Maule, Chile Earthquake. Rapport n° GEER-022 de l'équipe de la GEER Association sponsorisée par la NSF.

Earthquake Engineering Research Institute, 2010. The Mw 8.8 Chile Earthquake of February 27, 2010, EERI Special Earthquake Report – Juin 2010, 20 pages.

Fariñas, M., Vargas, G., Tassara, A., Carretier, S., Baize, S., Melnick, D., et Bataille, K., 2010, Land-level changes produced by the Mw 8.8 2010 Chilean earthquake. *Science*, 329(5994), 916-916.

Franco, G., Siembieda, W., Tardanico, R., 2010, Report from Social Science & Policy Team – Talca and Constitución : An EERI Report from the Field. Rapport de l'équipe de la GEER Association sponsorisée par la NSF.

Fritz, H.M., C.M. Petroff, P.A. Catalan, R. Cienfuegos, P. Winckler, N. Kalligeris, R. Weiss, S.E. Barrientos, G. Meneses, C. Valderas-Bermejo, C. Ebeling, A. Papadopoulos, M. Contreras, R. Almar, J. C. Dominguez, C. E. Synolakis, 2011. Field survey of the 27 February 2010 Chile tsunami. In *Tsunamis in the World Ocean: Past, Present, and Future*, Volume II, Kenji Satake, Alexander Rabinovich, Utku Kanoglu, Stefano Tinti, dir. publ., Pure and Applied Geophysics, vol. 168, n° 11, p. 1989-2010. DOI : 10.1007/s00024-011-0283-5

Marín A., et al. The 2010 tsunami in Chile: Devastation and survival of coastal small-scale fishing communities. *Marine Policy*, 2010, DOI : 10.1016/j.marpol.2010.06.010

Melnick, D., Cisternas, M., Moreno, M., et Norambuena, R., 2012, Estimating coseismic coastal uplift with an intertidal mussel: calibration for the 2010 Maule Chile earthquake (Mw 8.8). *Quaternary Science Reviews*, 42, 29-42.

Morton, R.A., Buckley, M.L., Gelfenbaum, G., Richmond, B.M., Cecioni, A., Artal, O., Hoffman, C., et Perez, F., 2010, Geological impacts and sedimentary record of the February 27, 2010, Chile tsunami – La Trinchera to Concepcion : U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1116, 28 pages.

UNESCO Rapid Response Survey, 2010.

Winckler, P., Reyes, M., et Sepúlveda, I., 2010, Evaluación del Tsunami del 27-02-2010 en Poblado de San Juan Bautista, Isla Robinson Crusoe, Archipiélago Juan Fernández. Université de Valparaíso 2010.

Références (cartes régionales, p. 4)

Barkan, R., et ten Brink, U., 2010, Tsunami Simulations of the 1867 Virgin Island Earthquake: Constraints on Epicenter Location and Fault Parameters. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(3), 995-1009.

Barrientos, S.E., 2007, Earthquakes in Chile, 2007, Earthquakes in Chile, Moreno, T., 2007, The geology of Chile (p. 263-287). Geological Society Publishing House.

Carena, S., 2011, Subducting-plate Topography and Nucleation of Great and Giant Earthquakes along the South American Trench. *Seismological Research Letters*, 82(5), 629-637.

Devora, S., Antonio, J., et Sanz, S. F. F., 1993, Catalog of Tsunamis on the Western Coast of Mexico. World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Rapport SE-50, Boulder, CO.

Farreras, Salvador, 1997, Tsunamis en México. *Oceanografía Física en México* (dir. publ. : MF Lavín), Monografía, (5), 1-25.

Fritz, H. M., Hillaire, J. V., Molière, E., Wei, Y., et Mohammed, F., 2012, Twin Tsunamis Triggered by the 12 January 2010 Haiti Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 1-12.

Kelleher, J. A., 1972, Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions. *Journal of Geophysical Research*, 77(11), 2087-2103.

Mercado-Irizarry, A., et Liu, P. L. (dir. publ.), 2006, Caribbean tsunami hazard. World Scientific Publishing Company Inc.

Sladen, A., Tavera, H., Simons, M., Avouac, J. P., Konca, A. O., Perfettini, H., ... et Cavaignoud, R., 2010, Source model of the 2007 Mw 8.0 Pisco, Peru earthquake: Implications for seismogenic behavior of subduction megathrusts. *Journal of Geophysical Research*, 115(B2), B02405.

Uri, S., Bakun, W. H., et Flores, C. H., 2011, Historical perspective on seismic hazard to Hispaniola and the northeast Caribbean region.

Journal of Geophysical Research, 116(B12), B12318.

Séisme et tsunami de Cascadia en 1700

Atwater, B.F., et Hemphill-Haley, E., 1997, Recurrence Intervals for Great Earthquakes of the Past 3,500 Years at Northeastern Willapa Bay, Washington : U.S. Geological Survey Professional Paper 1576, 108 pages.

Atwater, B.F., Yelin, T.S., Weaver, C.S., et Hendley, J.W. II, 1995. Averting surprises in the Pacific Northwest : U.S. Geological Survey Fact Sheet 111-95, 2 pages.

Atwater, B.F., Musumi-Rokkaku, S., Satake, K., Tsuji, Y., Ueda, K., et Yamaguchi, D.K., 2005, The orphan tsunami of 1700 – Japanese clues to a parent earthquake in North America : U.S. Geological Survey Professional Paper 1707, publié conjointement avec les Presses universitaires de Washington, Seattle, 133 pages. [<http://pubs.usgs.gov/pp/pp1707/>].

Clague, J.J., 1997, Evidence for large earthquakes at the Cascadia subduction zone: *Reviews of Geophysics*, v. 35, p. 439-460.

Satake, K., Shimazaki, K., Tsuji, Y., et Ueda, K., 1996, Time and size of a giant earthquake in Cascadia inferred from Japanese tsunami record of January 1700 : *Nature*, v. 379, p. 246-249.

Satake, K., Wang, K., et Atwater, B.F., 2003, Fault slip and seismic moment of the 1700 Cascadia earthquake inferred from Japanese tsunami descriptions : *Journal of Geophysical Research*, v. 108, 2325, DOI : 10.1019/2003JB002521.

Tsuji, Y., Ueda, K., et Satake, K., 1998, Registres concernant le tsunami survenu au Japon en janvier 1700 à l'issue d'un séisme dans la zone de subduction de Cascadia : *Zisin*, v. 51, p. 1-17 (en japonais, avec résumé, figures et légendes en anglais).

Yamaguchi, D.K., Atwater, B.F., Bunker, D.E., Benson, B.E., et Reid, M.S., 1997, Tree-ring dating the 1700 Cascadia earthquake : *Nature* v. 389, p. 922-923 ; correction dans v. 390, p. 352.

Autres sources

Dans la comparaison de la hauteur des tsunamis au Japon (p. 3), les hauteurs du tsunami

de 1960 sont connues à une quinzaine de centimètres près, voire mieux. Les chiffres proviennent de rapports de l'Agence météorologique japonaise (1961) et ont été compilés par Satake et al. (2003), et Atwater et al. (2005). La comparaison avec 1700 n'est pas ajustée pour les changements du niveau terrestre entre 1700 et 1960 ; corriger ces changements augmenterait la plupart des hauteurs de 1700 de plusieurs pieds (Tsuji et al., 1998).

Nikita Khrouchtchev (p. 4) se référait à l'incident de l'U-2 de Francis Gary Powers. Ses observations sont issues d'une conférence de presse donnée après l'annulation d'un sommet avec Dwight Eisenhower à Paris. Une transcription partielle avait été reproduite dans le *New York Times* du 19 mai 1960. Les tensions est-ouest constituaient toujours l'information principale le 23 mai, mais ce jour-là un premier compte rendu d'agence de presse sur le séisme et le tsunami chiliens du 22 mai 1960 était à la une du *Times*. Le tsunami est resté à la une des éditions des 24 et 25 mai – en deuxième position seulement derrière les informations relatives à l'espionnage entre les États-Unis et l'Union soviétique et à un satellite américain de détection de missiles –, des pertes étant à déplorer à Hawaii et au Japon suite au tsunami.

Les hauteurs du tsunami et le nombre de décès liés au raz-de-marée figurant dans ce rapport proviennent d'entretiens et d'enquêtes réalisés en 1988 et 1989. Les hauteurs sont arrondies à environ 75 cm près, mais certains points précisément identifiés par les survivants sont indiqués à une quinzaine de centimètres près. Le chiffre de 105 décès à Quenuir vient de René Serón. Fonctionnaire en 1960, M. Serón tenait le registre des naissances, décès et autres questions officielles à Quenuir. En 1989, il se rappelait que la ville, avant le tsunami, comptait une cinquantaine de maisons, une église, un cimetière et entre 400 et 450 habitants.

Informations relatives au risque de tsunami sur le World Wide Web

<http://www.ioc-tsunami.org/>

<http://www.tsunamiwave.info>

<http://www.tsunami.gov/>

<http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/>



Les initiatives qui ont sauvé des vies et celles qui en ont coûté, racontées par les témoins du tsunami consécutif au séisme le plus puissant jamais enregistré (séisme de magnitude 9,5 au Chili, le 22 mai 1960). Lors d'entretiens réalisés des décennies plus tard au Chili, à Hawaii et au Japon des gens se souviennent du tsunami. Leurs récits contiennent des enseignements sur la survie en cas de tsunami :

- Nombreux sont ceux qui survivront au séisme
- Tenir compte des signaux d'alerte naturels
- Ecouter la tradition orale
- Se méfier du retrait de la mer
- S'attendre à de nombreuses vagues
- Se diriger vers les hauteurs et y rester
- Tenir compte des alertes officielles
- Abandonner ses biens
- Ne pas compter sur les routes
- Monter dans les étages supérieurs ou sur le toit d'un bâtiment
- Grimper à un arbre
- Grimper sur un objet qui flotte
- S'attendre à ce que les vagues laissent des débris
- S'attendre à ce que les secousses abaissent ou soulèvent le sol le long de la côte
- S'attendre à avoir de la compagnie

La plus grande partie de cette brochure est une copie de la circulaire 1218 du United States Geological Survey (USGS), document libre de droits à disposition du public.

La circulaire 1218 est consultable à l'adresse : <http://pubs.usgs.gov/circ/c1218/>



Préparé en coopération avec le United States Geological Survey, l'Université australe du Chili, l'Université de Tokyo, l'Université de Washington, le Service géologique du Japon, le Musée des tsunamis du Pacifique, la National Oceanic and Atmospheric Administration des États-Unis d'Amérique, l'Université pontificale catholique de Valparaíso, le programme Explora et le Centre international d'information sur les tsunamis COI/UNESCO-NOAA.