

CONTRIBUTION DE LA MESURE DU NIVEAU DE LA MER AU FONCTIONNEMENT D'UN CENTRE D'ALERTE AUX TSUNAMIS POUR L'ATLANTIQUE NORD-EST ET LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE (CENALT)

Texte rédigé à partir du dossier de communication : CENALT du 1^{er} octobre 2010 (MIOMCTI, MEDDTL, CEA, CNRS/INSU, SHOM) et complété par une description plus détaillée, à jour en mai 2011, des observatoires de marée installés et gérés par le SHOM

RÉSUMÉ :

En partenariat avec le **Service hydrographique et océanographique de la marine** et le **Centre national de la recherche scientifique**, le **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives** a été chargé par les **ministères de l'intérieur et du développement durable** de créer et d'exploiter à l'horizon 2012, un système d'alerte qui aura pour missions de :

- détecter un événement sismique précurseur de tsunami ;
- déterminer les paramètres physiques du tsunami ;
- alerter les autorités nationales et locales en charge de la protection de la population ;
- informer les autorités des pays riverains de la Méditerranée occidentale (vocation régionale).

Le système nécessite de réceptionner des données en temps réel dont celles de stations de mesure de niveau de la mer le long des côtes au moyen de marégraphes.

ABSTRACT

*In partnership with the **national hydrographic and oceanographic service** and the **national center for scientific research**, the **alternative energies and atomic energy commission** was given by the **ministry of interior and the ministry for ecology and sustainable development**, the responsibility for creating and running by 2012 and alert system that will be responsible for:*

- detecting a seismic event precursor of a tsunami;*
- determining the physical parameters of the tsunami;*
- alerting the national and local authorities in charge of protecting the population;*
- informing the authorities of countries bordering the western Mediterranean (regional focus).*

The system needs to receive data in real time including sea level measurements along the coast with tide gauges.

1. INTRODUCTION

À la suite du tsunami de Sumatra du 26 décembre 2004 et de la conférence mondiale sur la prévention des catastrophes en janvier 2005 à Kobe (Japon) la commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'UNESCO a été chargée par la communauté internationale de mettre en place un système d'alerte aux tsunamis dans chacun des bassins océaniques concernés.

La direction de la sécurité civile, du ministère de l'intérieur, de l'outre-mer, des collectivités territoriales et de l'immigration (MIOMCTI/DSC), est chargée de la politique de protection des populations, de la prévention des risques civils de toute nature et de la planification des mesures de sécurité civile. La constitution d'un système d'alerte précoce de la population pour un risque naturel, tel que le tsunami, représente une des actions prioritaires de la sécurité civile.

La direction générale de la prévention des risques du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement (MEDDTL/DGPR) conduit une politique de prévention des risques naturels qui porte notamment sur les risques de tsunamis. Sont entreprises, dans l'ensemble des bassins océaniques, des actions de connaissance, d'information et de mise en œuvre de système d'alerte auxquelles le ministère apporte sa contribution.

Sur une zone s'étendant de l'Atlantique nord-est à la Méditerranée occidentale, en partenariat avec le **Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM)** et le **Centre national de la recherche scientifique (CNRS)**, le **Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et aux énergies alternatives** a été chargé par les ministères de l'intérieur et du développement durable de créer et d'exploiter à l'horizon 2012, un système d'alerte qui aura pour missions de :

- détecter un événement sismique précurseur de tsunami ;
- déterminer les paramètres physiques du tsunami ;
- alerter les autorités nationales et locales en charge de la protection de la population ;
- informer les autorités des pays riverains de la Méditerranée occidentale (vocation régionale).

Armé 24h/24 et 7j/7 par des spécialistes en analyse de données relatives aux séismes et aux tsunamis, ce centre a comme objectif opérationnel de diffuser dans les 15 minutes suivant des événements sismiques laissant supposer un risque de tsunami, un message d'alerte aux autorités françaises et un message d'information aux autres centres d'alerte nationaux et régionaux de la Méditerranée.

Situé à Bruyères-le-Châtel dans le département de l'Essonne, le centre reçoit, en temps réel, les informations émanant des stations sismiques (caractéristiques du séisme) et des stations de mesure du niveau de la mer (analyse des vagues du tsunami au large et sur les côtes) situées sur le pourtour méditerranéen.

2. LA FORMATION DES TSUNAMIS

Dans la majorité des cas, les tsunamis sont la conséquence de séismes sous-marins ou côtiers.

2.1 Qu'est-ce qu'un séisme ?

L'écorce terrestre n'est pas homogène. Elle est constituée d'une douzaine de plaques épaisses d'une centaine de kilomètres. Ces plaques se déplacent de quelques centimètres par an en se frottant les unes contre les autres. C'est ce mouvement, appelé **tectonique des plaques**, qui donne lieu à la dérive des continents. Ces déplacements provoquent la déformation de la croûte terrestre et l'accumulation de tensions dans la roche dont la libération provoque des séismes. Un séisme est la libération brutale de ces contraintes en une rupture brusque du terrain (de quelques millimètres à plusieurs dizaines de mètres) le long d'une faille. Ce déplacement s'accompagne de vibrations appelées ondes sismiques. Dans le cas du séisme de Sumatra de 2004, à l'origine du tsunami dévastateur, c'est une faille de plus de 1 200 km de long qui a rompu.

En mesurant les amplitudes des ondes sismiques, les sismologues déterminent l'énergie libérée lors de la secousse ou la magnitude du séisme. La plus grande valeur de magnitude

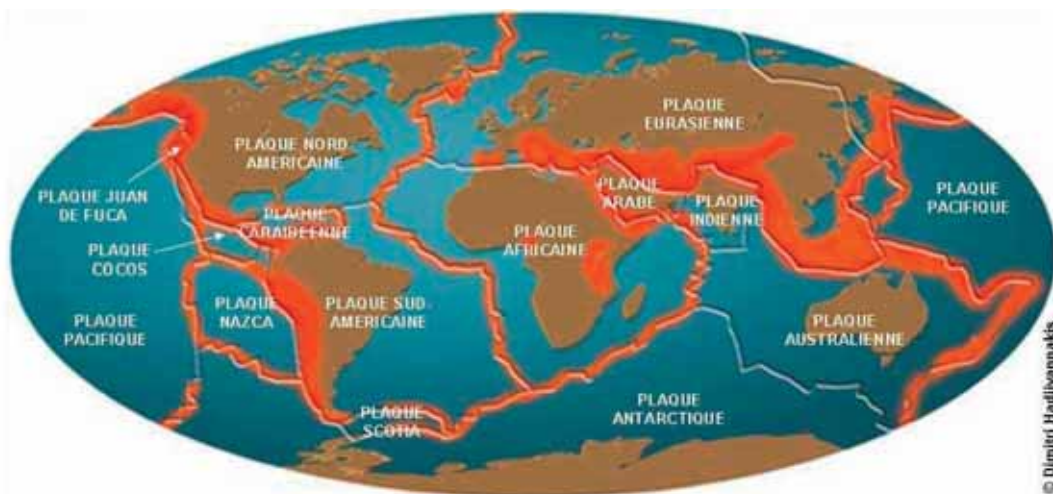


Figure 1 : La tectonique des plaques. La partie superficielle du globe est constituée d'une mosaïque de plaques lithosphériques mobiles qui frottent les unes contre les autres, provoquant des séismes

connue à ce jour correspond au séisme du Chili de 1960, dont la magnitude est estimée à 9,5. La magnitude¹ est une échelle logarithmique : le passage d'une magnitude M à une magnitude M+1 correspond à une énergie sismique libérée 30 fois supérieure.

2.2 Qu'est-ce qu'un tsunami ?

Un séisme sous-marin ou côtier se produisant à faible profondeur (moins de 50 km de profondeur) et possédant une magnitude d'au moins 6,5 est susceptible de créer un tsunami.

L'amplitude du tsunami généré augmente avec la magnitude du séisme. A partir d'une magnitude 8, le séisme peut générer un tsunami potentiellement dévastateur au niveau d'une mer ou d'un bassin océanique.

Le mouvement brusque du fond de la mer dû au séisme provoque une déformation de la surface de l'eau. Le retour à l'équilibre, sous l'effet de la force de gravité, propage une série de vagues dans l'océan. La longueur d'onde caractéristique de ces vagues (distance de crête à crête) peut atteindre une dimension colossale de plusieurs dizaines à quelques centaines de km, pour une hauteur au large dépassant exceptionnellement quelques dizaines de cm (figures 1 à 4).

Ces vagues traversent les océans en perdant peu d'énergie. Elles subissent des accélérations et décélérations en fonction de la profondeur du fond marin.

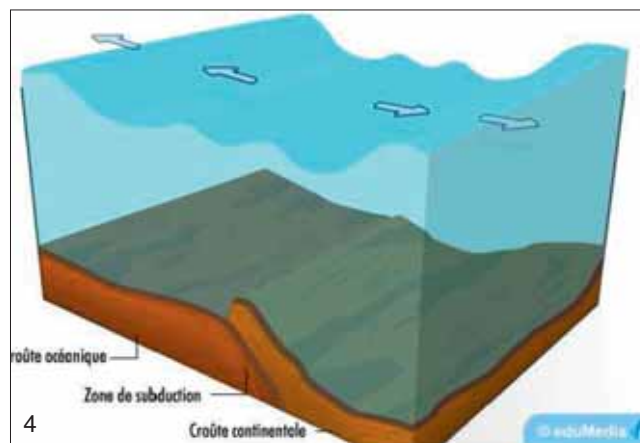
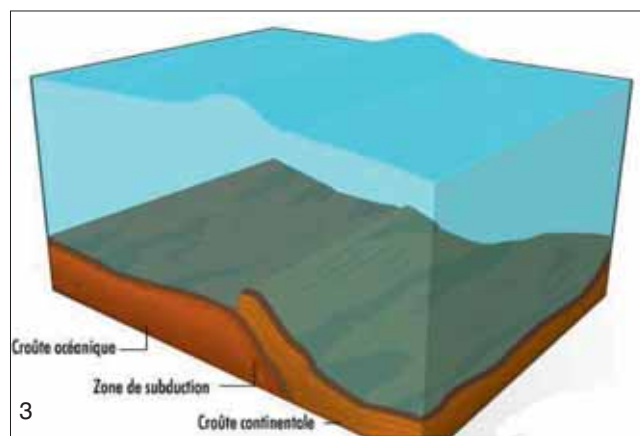
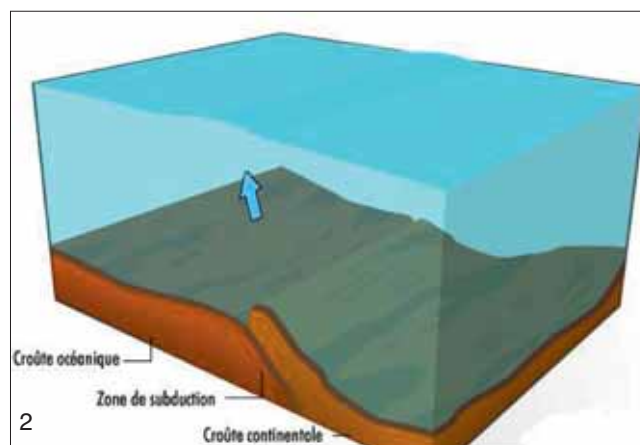
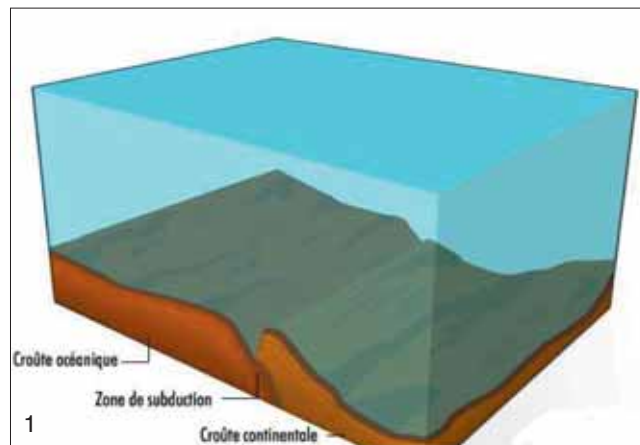
En haute mer, elles peuvent se déplacer à des vitesses de 500 à 1 000 km/h. Mais près des côtes, la profondeur d'eau diminuant, la vitesse de la vague diminue jusqu'à quelques dizaines de km/h. L'énergie se conservant et la longueur des vagues diminuant, la hauteur de celles-ci augmente : une vague de moins d'un mètre de hauteur au large peut ainsi grandir pour atteindre plus d'une dizaine de mètres de hauteur sur la ligne du rivage (figures 5 à 8).

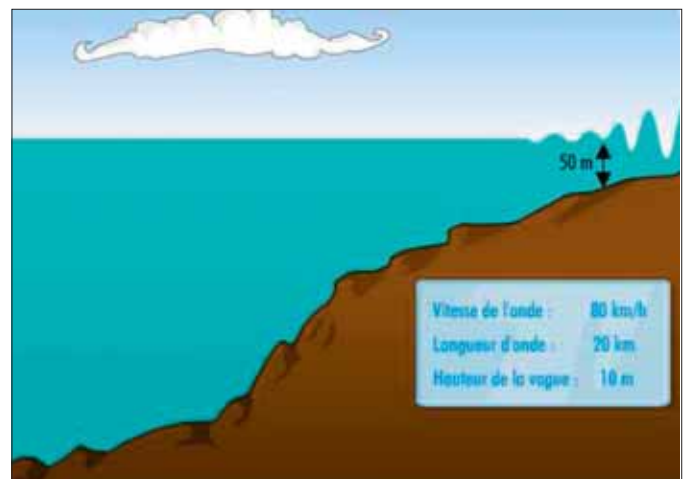
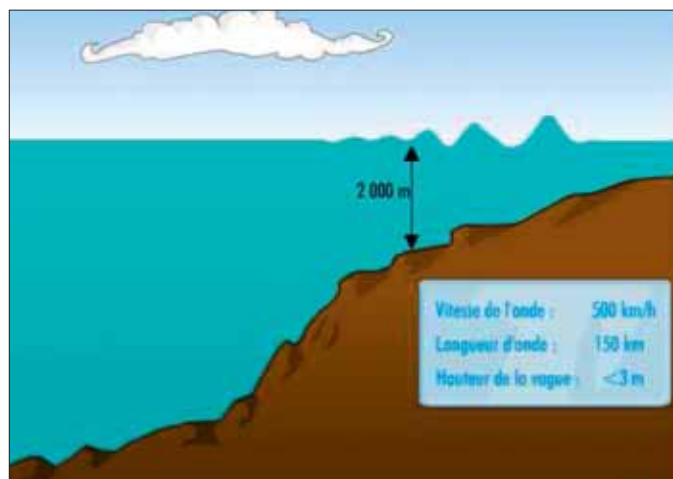
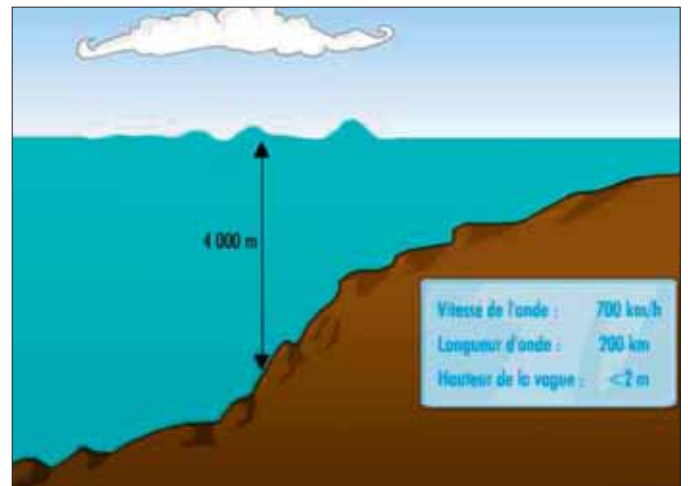
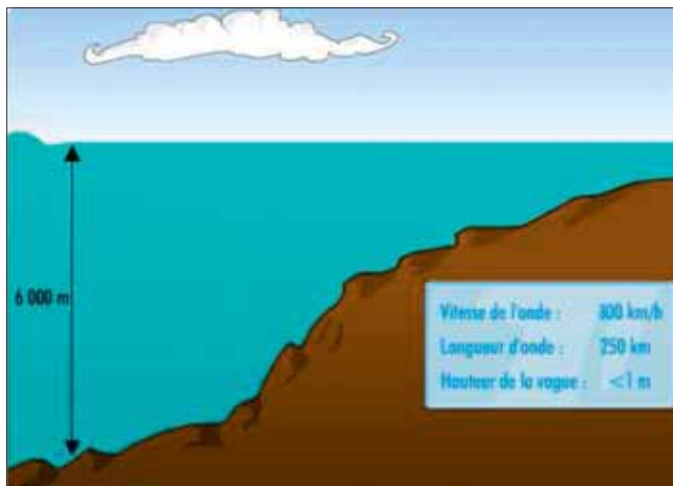
Un tsunami est constitué de plusieurs vagues qui vont inonder en général toutes les 10 à 30 minutes, pendant parfois plusieurs heures. La première vague n'est souvent pas la plus importante. Une chute rapide du niveau de la mer ou le retrait rapide de la mer, sont des signes naturels avant-coureurs de l'arrivée imminente de vagues de tsunami.

2.3 Quels sont les effets d'un tsunami

Lorsque le tsunami arrive près des côtes, la longueur d'onde de chaque vague diminue fortement mais atteint encore plusieurs kilomètres. En conséquence, le volume d'eau qui déborde et inonde le littoral est très important, même si la hauteur de la vague ne dépasse pas quelques dizaines de centimètres. En cas d'inondation modérée, la montée rapide des eaux entraîne de nombreux objets situés en bord de mer qui peuvent être très dangereux. Au reflux, ces vagues emportent tous les véhicules et les personnes. Et dès que leur hauteur dépasse plusieurs mètres, elles inondent en détruisant tout sur leur passage, y compris les bâtiments.

¹ La magnitude de Richter, établie en Californie en 1935, a été définie initialement pour quantifier la taille des séismes locaux. Aujourd'hui, pour estimer la taille des très forts séismes enregistrés sur toute la planète, les sismologues préfèrent utiliser d'autres types de magnitude comme, par exemple, Mw.





3. LE RISQUE TSUNAMI POUR L'ATLANTIQUE NORD-EST ET LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

L'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale ont été concernés par plusieurs tsunamis (carte 1). Les zones sismiques tsunamigènes (ayant généré des tsunamis) sont situées essentiellement à la frontière entre les plaques africaines et eurasiatiques.

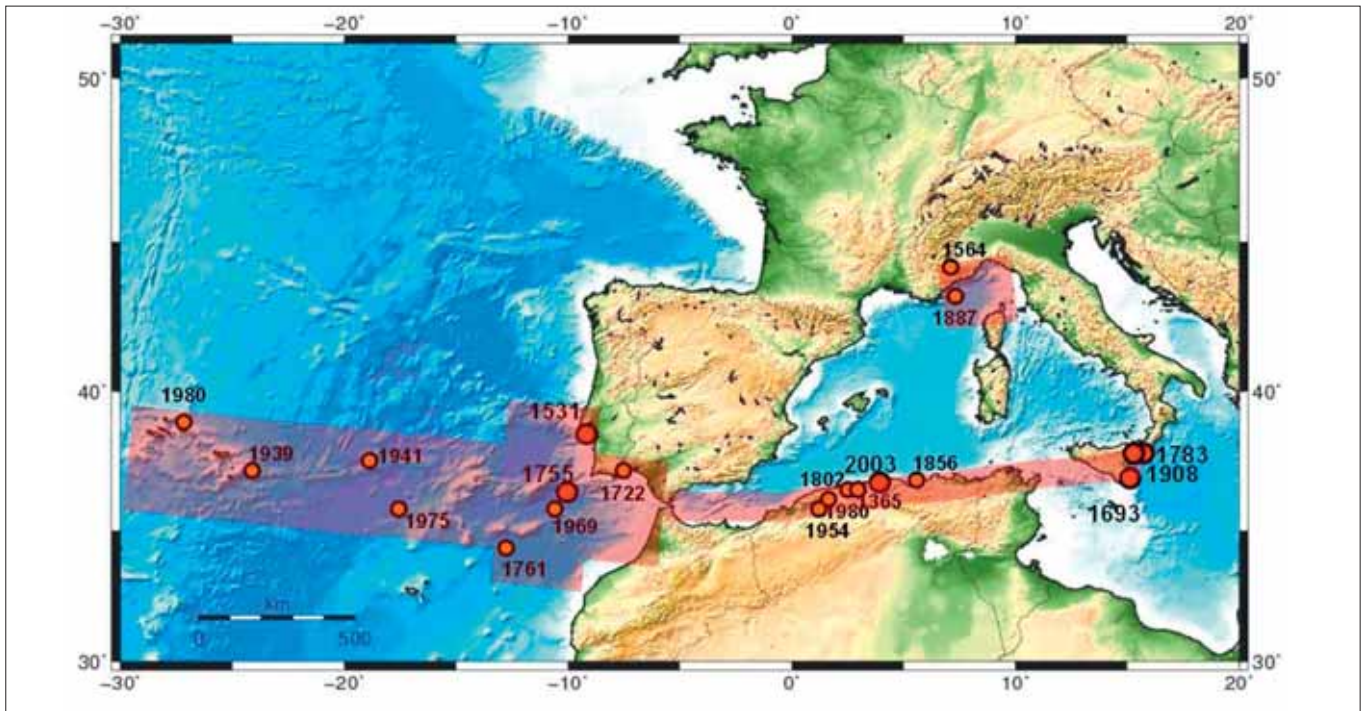
Dans l'Atlantique nord-est, une dizaine de séismes tsunamigènes ont été catalogués, essentiellement dans le golfe de Cadix, dont 2 événements particulièrement catastrophiques en 1531 et 1755.

En Méditerranée occidentale, 8 séismes ont induit des tsunamis recensés, dont deux en mer Ligure en 1564 et 1887 et un au large de l'Algérie en 2003, pour le plus récent. En Sicile, à la limite de la zone surveillée par le centre d'alerte, de très nombreux séismes ont été à l'origine de tsunamis, dont 3 majeurs entre 1693 et 1908.

Quelques repères

Les tsunamis en Atlantique nord-est et Méditerranée :

- les grands séismes tsunamigènes (> 30 000 victimes) depuis le XVIIIème siècle : Lisbonne (1755), Messine (1908) ;
- le dernier tsunami (> 200 bateaux endommagés) : Boumerdès (Algérie 2003) ;
- depuis le début du XXème siècle, une centaine de tsunamis ont été observés en Méditerranée et dans les mers qui y sont reliées (mer de Marmara et mer Noire), soit 10 % du total des tsunamis observés sur la planète.



Carte 1 : Principaux séismes tsunamigènes en Atlantique nord-est et Méditerranée occidentale (les bandeaux rouges correspondent aux zones sismiques tsunamigènes) © CEA

4. CENTRE D'ALERTE AUX TSUNAMIS POUR L'ATLANTIQUE NORD-EST ET LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE (CENALT)

Le centre, où une permanence 24h/24 et 7j/7 sera assurée par des spécialistes en analyse de données sismologiques et de tsunamis, sera implanté au centre du CEA de Bruyères-le-Châtel, où s'opère également la surveillance sismique du territoire métropolitain.

Le centre d'alerte a pour objectifs opérationnels de :

- diffuser, dans les 15 minutes suivant les événements sismiques potentiellement tsunamigènes, un message d'alerte aux autorités françaises et un message d'information aux autres centres d'alerte nationaux et régionaux étrangers de la Méditerranée ;
- diffuser des messages de confirmation (ou d'infirmer) de l'occurrence d'un tsunami, qui préciseront le cas échéant, les heures d'arrivée, et les amplitudes estimées au large des côtes. Le délai de diffusion dépendra de la disponibilité des données marégraphiques.

Le centre d'alerte bénéficiera de la solide expérience acquise par le CEA en Polynésie française, où ce dernier exploite, dans le cadre du système d'alerte aux tsunamis dans le Pacifique, le centre polynésien de prévention des tsunamis.

4.1 La gouvernance internationale

La création du centre d'alerte aux tsunamis s'inscrit dans une dynamique de gouvernance internationale. En effet, le tsunami de Sumatra, en 2004, a marqué un tournant au niveau mondial : la communauté internationale décide de mettre en place des systèmes d'alerte aux tsunamis dans l'ensemble des bassins océaniques, alors qu'auparavant, seul l'océan Pacifique disposait d'un tel système depuis 1968. L'UNESCO, organisme de l'ONU mandaté pour coordonner la mise en

place de ces systèmes, a ainsi créé le groupe intergouvernemental de coordination (GIC) du système d'alerte aux tsunamis pour l'Atlantique nord-est, la Méditerranée et les mers connectées (mer de Marmara et mer Noire). Ce groupe se réunit tous les ans et a mis en place des groupes de travail et des équipes spéciales pour mener à bien son programme. La France contribue très activement à ce programme.



Le centre d'alerte aux séismes du CEA, à Bruyères-le-Châtel, Crédits photos © C. Dupont/CEA

4.2 La gouvernance nationale

Consécutivement à la décision de la commission océanographique intergouvernementale de mettre en place dans chaque bassin océanique des centres d'alerte tsunami, la France s'est engagée, lors des sessions du GIC de Lisbonne (2007) et d'Athènes (2008), à développer un centre national d'alerte aux tsunamis pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée, avec une vocation régionale pour la Méditerranée occidentale. Cet engagement est une réponse aux préconisations exprimées par monsieur le sénateur Rolland Courteau dans le rapport

de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques du 7 décembre 2007. En mars 2009, la direction de la sécurité civile et la direction de la prévention des risques ont adressé officiellement au CEA leur demande de création d'exploitation du centre d'alerte aux tsunamis, en coopération et avec les moyens et les compétences du SHOM et du CNRS-INSU.

4.3 L'alerte aux tsunamis : une analyse en trois temps

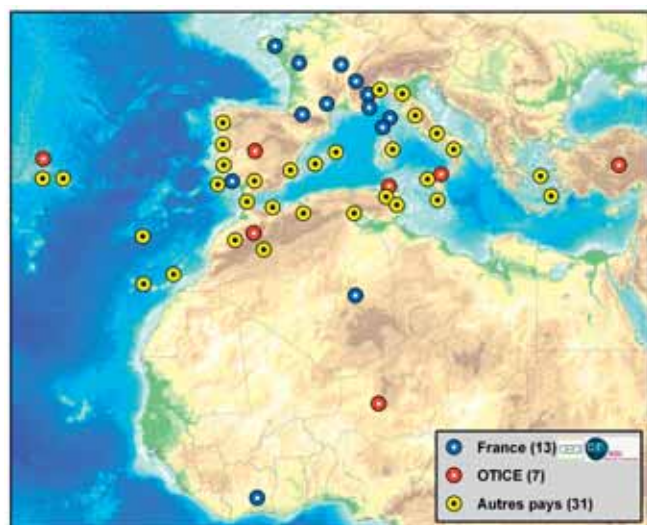
4.3.1 La réception des données en temps réel

Le centre d'alerte aux tsunamis recevra les données en temps réel, par transmission satellitaire et par liaison informatique haut débit en provenance des réseaux de mesures. Ces données seront recueillies au moyen de deux types d'outils, tous deux nécessaires à la détection de formation de tsunamis :

- les stations sismiques (carte 2), qui enregistrent les ondes sismiques à partir desquelles sont déterminées la localisation des épicentres, les magnitudes et les autres caractéristiques des séismes.

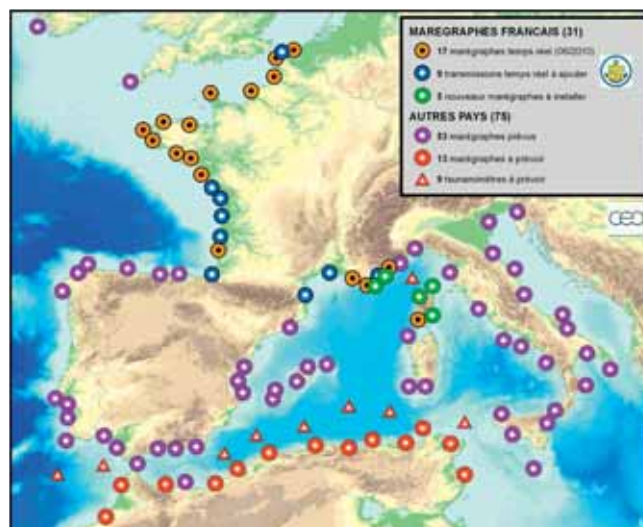


Crédits photos © CEA ; Didier Brunel © CNRS ;



Carte 2 : Réseau des stations sismiques pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale. (Octobre 2010) © CEA

- les stations de mesure du niveau de la mer (carte 3), qui enregistrent les vagues du tsunami le long des côtes (au moyen de marégraphes) ou au large (au moyen de tsunamimètres).



Carte 3 : Réseau des stations marégraphiques pour l'Atlantique nord-est et la Méditerranée occidentale. (Octobre 2010) © CEA

Pour optimiser le réseau Atlantique nord-est et Méditerranée occidentale, il sera nécessaire de procéder à certaines modernisations et à installer d'autres stations. Plusieurs pays se sont engagés à compléter leurs réseaux et à transmettre les données en temps réel. En supplément, il faudra implanter et maintenir un réseau de mesure du niveau de la mer le long des zones côtières sismiquement actives, telles que celles de l'Algérie, du Maroc et de la Tunisie (carte 3).

Sur les côtes françaises, le réseau de stations de mesure du niveau de la mer sera complété et les données transmises en temps réel, cette mission revenant au SHOM.

Le CNRS-INSU contribue au projet en donnant au centre d'alerte un accès préférentiel aux données sismologiques de 5 stations sismologiques appartenant aux réseaux RESIF et GEOSCOPE.

Le CEA, qui met à disposition des données de ses propres stations, prend en charge la mise en place d'une transmission satellitaire de ces données vers le centre d'alerte.

4.3.1.1 Contribution spécifique du SHOM, en France métropolitaine, aux observations du niveau de la mer pour la détection des tsunamis.

Ce chapitre complète le dossier de communication CENALT du 1^{er} octobre 2010 en apportant des précisions sur le réseau d'observations du niveau de la mer sous la responsabilité du SHOM.

Les informations fournies sont celles disponibles en mai 2011. La contribution du SHOM implique :

- des développements instrumentaux (voir article de N. Poffa « Evolution instrumentale des marégraphes du réseau RONIM » de ces annales) ;
- l'appui de la coordination nationale des observations du niveau de la mer (voir article de N. Pouvreau de ces annales) ;
- l'installation et le maintien en condition opérationnelle de marégraphes et de systèmes de transmission de données au profit du CENALT.

La mise en place du CENALT et les besoins associés de détection de tsunamis en Méditerranée ont conduit à envisager l'extension du réseau de 5 marégraphes (voir Carte 3) correspondant à des sites permettant de compléter la couverture

existante afin d'observer tout éventuel tsunami en provenance de la mer Ligure, mer Tyrrhénienne ou du nord de l'Algérie et de la nécessité de le détecter au plus tôt.

Trois marégraphes supplémentaires sont ainsi installés par le SHOM en Corse et deux sur la côte continentale en Provence-Alpes-Côte d'Azur, ils sont situés à :

- Solenzara (Corse), installé en octobre 2010 ;
- port de Centuri (Corse), installé en octobre 2010 ;
- île Rousse (Corse), installé en mai 2011 ;
- La Figueirette (commune de Théoule-sur-Mer), installé en mai 2011 ;
- Port Ferréol (commune de Roquebrune-sur-Argens), prévu avant mai 2012.

Dans le cadre du projet CRATANEM, 31 marégraphes du réseau RONIM en métropole transmettront d'ici mai 2012 les données de hauteurs d'eau au CENALT via Internet au travers de connexion ADSL ou GPRS. Une redondance au moyen d'un système robuste de transmission satellite est assurée via les satellites météorologiques Meteosat pour 10 stations marégraphiques, principalement localisées en Méditerranée (9 stations).

Les stations marégraphiques équipées de transmissions satellites ont été choisies en fonction des temps d'arrivée de tsunamis modélisés sur les côtes de métropole : en Atlantique pour une source sismique au sud-ouest du Portugal et en Méditerranée pour une source sismique au nord de l'Algérie. Concernant la Méditerranée, les marégraphes retenus prennent aussi en compte la détection des événements en mer Ligure et en mer Tyrrhénienne.

Ainsi les marégraphes disposant d'une transmission satellite redondante sont :

- en Atlantique, le marégraphe de Socca (Saint-Jean-de-Luz).
- en Méditerranée, les 5 nouveaux marégraphes à instrumenter dans le cadre du projet (Solenzara, île Rousse, Centuri, Les Issambres - Port Ferréol, Théoule-sur-Mer - La Figueirette) ainsi que Nice, Toulon, Ajaccio et Port-Vendres (voir photos pages suivantes).

Le rôle des marégraphes

La détection du tsunami s'effectue à travers des instruments de mesure. Le réseau de sismomètres permet de localiser l'épicentre et le foyer d'un tremblement de terre et de mesurer sa magnitude afin de déterminer si ce dernier peut provoquer un tsunami. Dans l'affirmative, les données des marégraphes (et des éventuels tsunamimètres) permettent de valider ou d'infirmer la présence d'un tsunami et d'affiner les informations concernant son amplitude. La détection rapide d'un tsunami exige donc non seulement des réseaux d'instruments de mesure en nombre suffisant, mais également des réseaux dotés de moyens de communication perfectionnés qui autorisent la transmission des données en temps réel. Quant au centre d'alerte, il doit avoir accès à ces données, mais aussi être capable de les traiter et de les analyser, ce qui implique une veille 24h/24, 7 jours/7.

Un marégraphe est un instrument qui mesure le niveau de la mer à un point donné. Dans la mesure où ils sont localisés sur le rivage, ils ne peuvent pas servir à l'anticipation d'un tsunami dans la zone où ils sont localisés. Pour autant, leur utilité est double. D'une part, ils font partie du dispositif d'alerte en fournissant de précieuses informations pour les pays limitrophes ou les régions/îles voisines, ainsi qu'aux services de sécurité civile qui peuvent déclencher immédiatement les secours en cas de détection de fortes vagues. D'autre part, les données mesurées (ampleur des vagues, nombre de vagues, heure d'arrivée) sont utilisées dans la reconstitution du phénomène et dans les modèles de simulation.



*Sites instrumentés d'une transmission satellite :
Antenne satellite sur la poissonnerie de Centuri (à gauche) Antenne satellite dans le port de Solenzara (à droite)*



*Sites instrumentés d'une transmission satellite :
Antenne satellite dans la darse d'Aspretto à Ajaccio (à gauche) à Toulon (à droite)*



Antenne satellite à Nice



Centrale d'acquisition, transmissions temps réel et batteries à Solenzara



Télémetre radar sur sa potence dans le port de Centuri

4.3.2 La caractérisation du séisme et du tsunami

En moins de 15 minutes suivant les événements sismiques potentiellement tsunamigènes, les analystes du centre caractériseront les séismes et les tsunamis et diffuseront des messages d'alerte aux autorités françaises et des messages d'information aux autres centres d'alerte des pays riverains de la Méditerranée occidentale. Pour ce faire, ils s'appuieront sur les réseaux de surveillance sismique (carte 2), sur leur connaissance de l'activité sismique de la région surveillée 24h/24, et sur des logiciels experts spécialement développés pour ce centre. En cas de très fort séisme, les heures d'arrivée calculées et les niveaux d'alerte seront ajoutés aux messages.

4.3.3 La mesure du temps d'arrivée et de l'amplitude du tsunami le long des côtes

Lorsque le réseau de mesure du niveau de la mer sera pleinement opérationnel (carte 3), les analystes diffuseront, dans



Télémetre radar sur sa potence dans le port de Solenzara

un délai de 35 minutes après le séisme, des messages de confirmation (ou d'infirmité) de l'occurrence d'un tsunami, qui préciseront pour certains sites le long de la côte les paramètres des tsunamis enregistrés, dont les heures d'arrivée et les amplitudes mesurées.

Des bases de données opérationnelles de séismes et de tsunamis, des bases de résultats de modélisation numérique de scénarios ainsi que des outils de modélisation automatiques des tsunamis permettant de caractériser les hauteurs au large équiperont le centre.

4.4 L'alerte de la population

En cohérence avec le déploiement du centre d'alerte, le système français d'alerte et d'information de la population (SAIP) va être étendu pour prendre en compte le risque tsunami. Il permettra à terme d'acheminer l'alerte vers les populations directement exposées (riverains et touristes) par un système de sirènes dédié et/ou tout autre moyen adapté à la diffusion de masse de l'alerte.

Ce projet de modernisation du SAIP sera de plus accompagné par des volets de sensibilisation de la population et de diffusion des bons comportements à adopter lors de l'arrivée d'un tsunami sur la côte.

5. RÉFÉRENCES

Organismes partenaires (octobre 2010) :



MIOMCT



MEEDDM



énergie atomique • énergies alternatives

CEA



CNRS/INSU



SHOM



Sirène du SAIP (Crédits photo DSC)



Signal de danger de tsunami (ISO)

Contact :

cenalt@cea.fr

Sur le web :

- Site du centre : Site en construction
- Interministériel : <http://www.risques.gouv.fr>
- Ministère de l'Intérieur : <http://www.interieur.gouv.fr>
- Ministère de l'Écologie : <http://www.developpement-durable.gouv.fr>
<http://www.planseisme.fr>
<http://www.tsunamis.fr>
<http://www.prim.net>
- CEA : <http://www.cea.fr>
<http://www-dase.cea.fr>
- SHOM : <http://www.shom.fr>
- CNRS-INSU : <http://www.insu.cnrs.fr>
<http://www.resif.fr>
<http://geoazur.oca.eu>
<http://geoscope.ipgp.jussieu.fr>
- UNESCO/COI : <http://www.ioc.unesco.org>
<http://ioc3.unesco.org/itic>