

## ► Sur la vague... un frisson ionosphérique

### Sources

**Three-dimensional waveform modeling of ionospheric signature induced by the 2004 Sumatra tsunami**

Giovanni Occhipinti, Philippe Lognonné, E. Alam Kherani, Hélène Hebert

*Geophysical research letters*, vol. 33, october 2006

### Notes

#### Onde de gravité :

Lors d'un séisme sous-marin, le mouvement de la croûte terrestre se transmet à l'eau qui la surplombe. La surface de l'eau reproduit ce mouvement et génère des ondes concentriques qui se propagent dans l'océan à grande vitesse. En s'abaissant ou en s'élevant, la surface de l'eau provoque une variation de la pression atmosphérique. Le mouvement est transmis à l'atmosphère comme un haut-parleur transmet un son. Il ne faut pas confondre les ondes de gravité avec les ondes gravitationnelles qui font référence à la mécanique relativiste.

#### Altitude :

L'altitude est l'élévation verticale d'un lieu ou d'un objet par rapport à un niveau de référence, généralement le niveau moyen de la mer.

#### Ionosphère :

L'ionosphère est la partie la plus haute de l'atmosphère. Commencant vers 120 km d'altitude, elle s'étend jusqu'à la magnétosphère (environ 1000 km). La densité  $y$  est si faible que, sous l'effet du rayonnement ultraviolet du Soleil, des électrons (négatifs) sont arrachés aux molécules et atomes présents qui s'ionisent alors positivement.

Constituée d'une mosaïque de plaques océaniques et continentales, l'écorce terrestre ressemble à un puzzle. Ces plaques, sous l'effet de forces tectoniques, se déplacent les unes par rapport aux autres et certaines plongent dans le manteau. Le grand séisme qui a dévasté les côtes de Sumatra le 26 décembre 2004 est associé au glissement brutal de la plaque indo-australienne sous la plaque indo-chinoise. Ce déplacement longitudinal d'une quinzaine de mètres sur un segment de faille de 600 à 1200 km de longueur s'est accompagné d'un déplacement vertical du fond marin de l'ordre du mètre. Cela a provoqué le tsunami qui s'est propagé à travers l'océan indien.

En se déplaçant horizontalement à la surface de l'océan, les tsunamis provoquent une [onde de gravité](#) qui se propage dans l'atmosphère du bas vers le haut. Lors de la propagation de l'onde atmosphérique dans la colonne d'air, l'énergie se conserve. La densité de l'atmosphère diminuant avec l'[altitude](#), plus l'onde s'élève, plus son amplitude augmente. Lorsque l'onde de gravité atteint l'[ionosphère](#), son amplitude est telle qu'elle devient détectable. L'onde de gravité a un effet différent sur les électrons et sur les ions, ce qui modifie localement et momentanément leur densité respective.

La théorie établissant l'existence d'effets ionosphériques liés aux tsunamis a été élaborée dans les années 1970. Le phénomène a été observé pour la première fois lors du séisme du Pérou en 2001. Lors du tsunami de Sumatra du 26 décembre 2004, les satellites d'océanographie Jason-1 et Topex-Poséidon qui survolaient la zone ont enregistré, dans les signaux de l'altimètre, des perturbations associées aux ondes atmosphériques excitées par le tsunami.

Pour étudier les variations du niveau des océans, ces satellites combinent des données d'[orbitographie](#) et des mesures d'[altimétrie](#). L'orbitographie détermine la position précise du satellite dans un repère terrestre. L'altimétrie calcule la distance du satellite par rapport à la surface des océans. L'altimètre émet des [ondes électromagnétiques](#) réfléchies par la surface et mesure la durée du trajet aller-retour. La quantité d'électrons de l'ionosphère influe différemment la vitesse de propagation de ces ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence.

L'altimètre émet donc deux ondes et peut déterminer ainsi le contenu électronique total (TEC) de la couche traversée, c'est-à-dire la quantité d'électrons libres présents dans la colonne d'atmosphère où l'onde se propage. La distance précise qui sépare le satellite de la surface est alors déduite des mesures, corrigées de l'influence du contenu électronique total.

► La vague vue d'en haut

Notes

**Orbitographie :**

Détermination des éléments orbitaux d'un satellite artificiel donnant les paramètres de sa position par rapport à un repère terrestre.

**Altimétrie :**

L'altimétrie est une mesure de la distance séparant le satellite (par analyse d'un rayonnement électromagnétique) de la surface de la Terre. La combinaison des données d'altimétrie et d'orbitographie restituée avec une précision centimétrique la morphologie des surfaces océanique et continentale.

**Ondes électromagnétiques :**

Une onde électromagnétique correspond la propagation d'un champ magnétique et d'un champ électrique. En fonction des gammes de fréquence (ou longueur d'onde), les ondes électromagnétiques sont désignées par différents termes. Par longueur d'onde décroissante, ce sont : les ondes radio, les ondes radar, les ondes infrarouges, la lumière visible, le rayonnement ultraviolet, les rayons X et le rayonnement gamma.

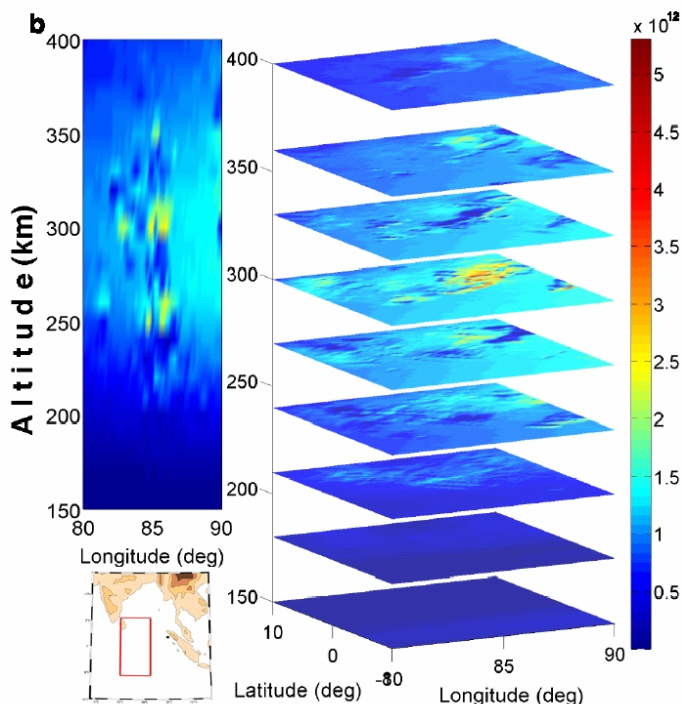


Fig. 1 : Modélisation de la perturbation créée par l'onde de gravité dans le plasma ionosphérique. Le passage de l'onde se distingue du bruit de fond et présente un effet maximal à 300 kilomètres d'altitude. La coupe est située à 1° de latitude.

Lors du tsunami de Sumatra, la propagation des signaux d'altimétrie a été perturbée par les changements de densité des électrons de l'ionosphère. La trace du passage de l'onde de gravité induite par le tsunami a ainsi été identifiée.

Les auteurs ont, d'autre part, modélisé les effets de cette onde de gravité dans toutes les couches de l'atmosphère, de la surface de la mer jusqu'au sommet de l'ionosphère. Ils ont comparé les résultats de cette simulation aux données recueillies lors du tsunami par les deux satellites. La cohérence entre ce modèle numérique en trois dimensions du couplage océan-atmosphère-ionosphère et les valeurs observées démontrent que le tsunami est à l'origine de ces perturbations. Le modèle utilisé rend donc compte avec une excellente précision des perturbations de l'ionosphère.

Des anomalies analogues ont aussi été enregistrées par le système GPS de navigation par satellite (voir encadré page 3). La télédétection des tsunamis depuis l'espace devient donc possible. Cette technologie pourrait être utilisée pour surveiller leur propagation avec, toutefois, un délai de 30 minutes correspondant au temps nécessaire à l'onde atmosphérique pour atteindre l'ionosphère et y générer un signal significatif.

► Signes « postcourseurs »

**Contacts chercheurs**

**Philippe Lognonné**  
Institut de physique du Globe de  
Paris (UMR-7154)  
Paris

[lognonne@ipgp.jussieu.fr](mailto:lognonne@ipgp.jussieu.fr)

**+ sur le web**

[Site Internet de l'Institut de  
Physique du Globe](#)

[Site Internet du CEA/DASE](#)

**+ sur le CNES**

[Site Internet du CNES](#)

[Site Internet missions  
scientifiques](#)

© CNES 2005

Reproduction possible à des fins non commerciales, sous réserve d'autorisation de notre part.

Conformément à la loi 78-17 "Informatique et Libertés" (art. 34 et art.36), vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données vous concernant, en ligne sur ce bulletin.

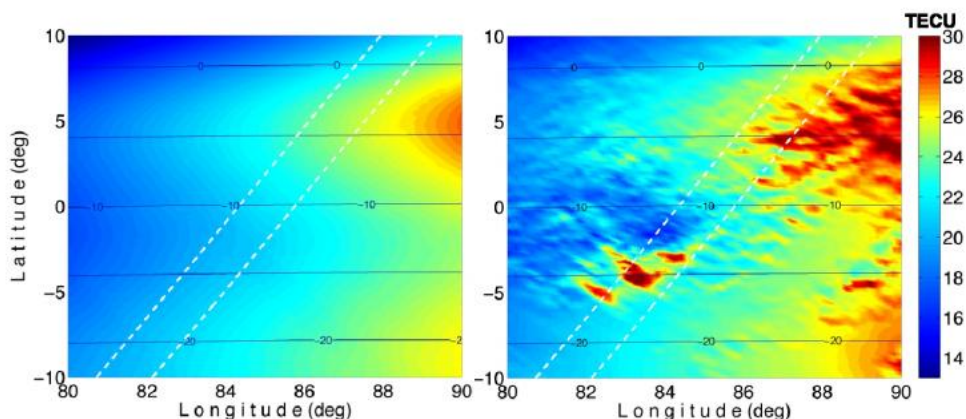


Fig. 2 : Les deux figures, établies par calcul, montrent la densité totale d'électrons de l'ionosphère. Celle de gauche montre la situation de l'ionosphère non perturbée. Celle de droite, la carte avec les perturbations générées par le tsunami. Ces cartes correspondent au moment du passage des satellites.

**Les systèmes de navigation par satellites :**

Ces systèmes sont composés de constellations de satellites en orbite autour de la Terre et de récepteurs au sol. Le récepteur reçoit des informations en provenance des satellites et peut ainsi calculer ses coordonnées, c'est-à-dire sa position par rapport à la Terre (en pratique, par rapport au système géodésique « World Geodetic System » établi en 1984, WGS 84). Les récepteurs contiennent les données qui fournissent les informations de navigation ou d'itinéraire. Les systèmes de positionnement existants sont Galileo pour l'Europe (en cours de développement), GLONASS pour la Russie, GPS pour les États-Unis, Beidou pour la Chine.

Trois satellites sont nécessaires pour localiser un point à la surface du globe terrestre. Chaque satellite envoie son numéro d'identification, sa position précise et l'heure exacte d'émission du signal. Le récepteur, grâce à son horloge synchronisée régulièrement avec celle des satellites, calcule le temps de propagation du signal et en déduit la distance avec chacun des satellites (triangulation). Pour déterminer l'altitude, un quatrième satellite est nécessaire. Calculer la position d'un objet consiste donc à résoudre un système d'équations mathématiques à quatre inconnues. Chaque satellite émet au même moment sur deux fréquences différentes ; le récepteur dispose ainsi des moyens de corriger ses calculs des altérations du signal induites par l'atmosphère.

**E-Space&Science vous informe des résultats des expériences scientifiques soutenues par le CNES**

Directeur de la publication : **Yannick d'Escatha** ■ Directeur de la rédaction : **Pierre Tréfouret** ■ Rédacteur en chef : **Michel Viso** ■ Secrétaire de rédaction : **Martine Degrave** ■ Diffusion du magazine: **INIST diffusion** ■

**Abonnement**

Vous voulez vous abonner à la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Française](#)

Vous voulez vous abonner à la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Anglaise](#)

**Désabonnement**

Vous voulez vous désabonner de la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Française](#)

Vous voulez vous désabonner de la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Anglaise](#)