2000 ans en 2 heures.

Comment un tsunami contracte le temps et réduit l'espace.

Par Hervé Regnauld

Le *tsunami* qui a frappé la côte ouest de Sumatra le 26 décembre 2004 a fait plus de 110 000 morts en Indonésie. Un collègue, avec lequel j'avais travaillé, par deux fois (1991 et 1992) durant plusieurs mois, sur la faille au large du *bassin avant arc*1 de Sumatra, est l'un d'entre eux. C'est la raison pour laquelle cet article traite de ce qui le motivait : prévenir le risque en cartographiant les espaces vulnérables.

Causes.

Le *tsunami* est dû au jeu d'une faille à la fois coulissante et chevauchante, située à une centaine de kilomètres au large, dans l'océan Indien. Cette cassure majeure correspond à un système de forces original, mais pas unique à l'échelle de la planète : c'est une subduction oblique. Au fur et à mesure que l'Océan Indien passe sous la plaque asiatique (chevauchement de l'Asie sur l'océan Indien), il ne se contente pas de s'enfoncer (subduction), il se décale aussi latéralement (coulissage). Il y a donc une poussée descendante vers le nord-est et une friction coulissante vers le nord-ouest. On qualifie ce jeu de chevauchement/décrochement transpressif.

Ce type de structure (relativement proche de la situation en Californie, en Sicile, dans le nord du Japon…) est considéré comme un des modes tectoniques les plus générateurs d'énergie. Si un séisme y survient (et sans relation proportionnelle simple entre son intensité et la profondeur de son foyer) l'effet morphologique sur la faille va non seulement être vu dans le décalage vertical entre les deux bords, mais aussi dans un glissement longitudinal de ces mêmes bords entre eux. Le 26 décembre, il y a eu un jeu vertical proche du mètre et un décrochement latéral supérieur à 40 mètres. Il est important de voir que ce décrochement concerne la faille sur près de 100 kilomètres de longueur.

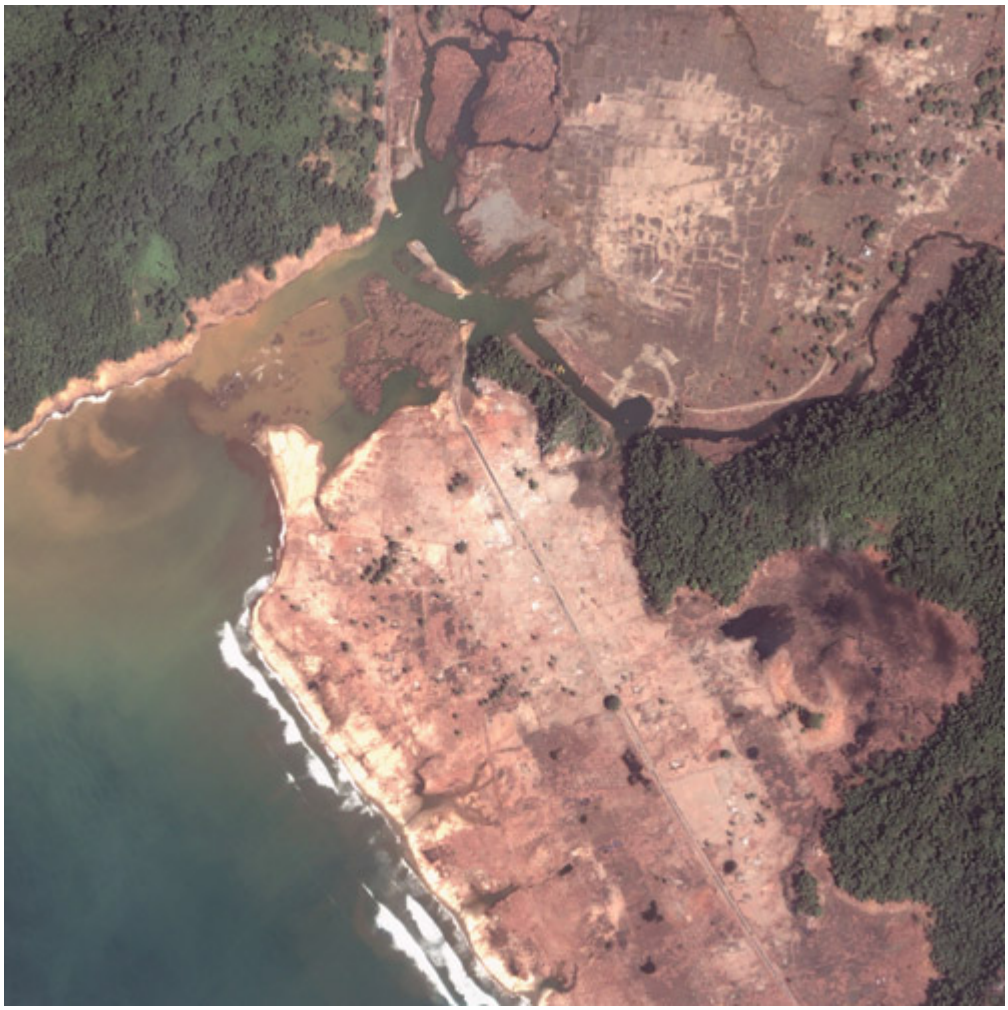
Du point de vue de la génération du *tsunami*, ce type de mouvement est redoutable. Le *tsunami* n'est pas créé par un événement ponctuel, à partir duquel il se diffuserait en cercles concentriques, il est crée par le mouvement des deux espaces séparés par une ligne, parallèle à la côte. Il est comme généré simultanément en plusieurs points jointifs (une ligne peut être faite de points) et il entraîne la naissance d'une onde qui est — toute proportions gardées — semblable à un train de houles parallèles arrivant perpendiculairement au littoral avec la même amplitude partout.

L'effet sur la côte basse est catastrophique : l'énergie délivrée équivaut, en fait, à plusieurs *tsunamis* simultanés impactant des plages jointives. Le volume d'eau concerné est gigantesque : une vague de 15 mètres d'amplitude sur 300 mètres de longueur d'onde peut représenter autour de 2,5 à 5 km^3 d'eau par kilomètre linéaire de plage…

Les images satellites, dont le pixel est de l'ordre du mètre (avant rectification, ce qui est le cas ici) montrent ce qu'une telle énergie produit : un déplacement du littoral comme l'aurait fait 2000 ans de remontée marine à la vitesse de 1 mm par an.



Le site de Gleebruck en avril 2004…



…et en janvier 2005• © DigitalGlobe.

Effets.

Une remontée du niveau marin, sur une côte basse, rectiligne et riche en sédiment peut être modélisée selon une règle déjà ancienne, dite de Bruun, qui prédit que les accumulations migrent vers l'intérieur en proportion de l'élévation du plan d'eau. Le taux de migration est variable mais, sur ce type de côte, il est de l'ordre de 100 pour 1, soit 100 mètres de déplacement pour un mètre d'élévation marine. Le sédiment (terrigène) est abondant parce que Sumatra est une île volcanique aux fortes dénivelées et au climat très humide. La côte est rectiligne parce qu'elle est d'une part alignée sur des failles, d'autre part régularisée par des houles habituellement faibles (cette côte est sous le vent, sà 4° de latitude nord, donc dans le domaine habituel des vents d'est-nord-est,

mousson d'été exceptée). À cause de la turbidité des eaux (liée aux pluies et aux alluvions apportées à la mer) il n'y a pas (ou peu) de coraux et pas d'obstacles sous-marins pouvant s'opposer aux houles. Toutes les conditions sont donc idéalement remplies pour que la règle de Bruun s'applique.

L'image *ante-tsunami* (avril 2004) présente un estuaire, barré par une flèche alimentée depuis le Sud, et des bancs mobiles obstruant partiellement l'issue de l'estuaire, avec une dérive littorale secondaire depuis le nord. L'essentiel de ce sédiment vient du fleuve qui le dépose au large, puis des houles qui l'emportent à la côte. Le sédiment est donc abondamment disponible.

Le *tsunami* a d'abord fonctionné comme un balai qui ramasse le sédiment sur le fond et le met en suspension dans l'eau. L'eau, sous forme d'une vague très haute (15 mètres est une valeur plausible) a ensuite déferlé sur la cote, en repoussant tout sur son passage et en déposant tout ou partie de sa charge sur l'espace ainsi libéré. Le sédiment apporté par le *tsunami* a donc été déposé en une couche sub-homogène sur l'emplacement ancien du littoral, tandis que le matériel qui était initialement en place a été repoussé : la flèche, réduite en volume et en surface se trouve maintenant localisée dans l'estuaire (comme une flèche de mi-baie). Son déplacement n'a pas mis en cause la pérennité de sa nature morphologique : il s'agit toujours bien d'une flèche et sa résilience lui a permis de subsister. Son déplacement (il est de l'ordre de 200 mètres) exprime graphiquement bien le concept d'« *accomodation space* », ou espace nécessaire pour que l'ensemble des processus dynamiques fonctionnent ensemble. Tout cela s'est fait en environ deux heures et simule curieusement ce qu'un modèle prédit pour 2000 ans de remontée de la mer.

Image et temps réel.

Les deux images sont deux produits techniques dont la temporalité de fonctionnement est de l'ordre du temps réel[2]. Entre l'acquisition par le satellite et la mise à disposition sur le site de la Noaa (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) il s'écoule moins de 24 heures. Ce qu'elles permettent de voir sont deux situations que l'on peut dire — techniquement — vraies et ponctuelles, et que l'on peut penser, dans une vulgate géographique, comme deux états d'un

système. Ce qu'elle permettent de réfléchir est plus intéressant. Il s'agit du décalage, du découplage, entre le temps chronologique et les temporalités comportementales du littoral. En un temps très court, la quantité d'énergie a été telle qu'elle a déplacé autant de matériel que des conditions standard le feraient en 2000 ans. Le point très délicat est d'examiner quelle quantité d'espace est concernée : autant qu'en 2000 ans, ou plus ? ou moins ?

Sur les images la réponse est claire : l'espace concerné est minime. La dévastation est grande, mais la mer est revenue à son emplacement originel. Le *tsunami* est alors interprété (par certains) comme un événement exceptionnel, qui a « anormalement » déployé l'énergie sismique sur une zone littorale qui « normalement » aurait dû en être abritée. Une autre interprétation est possible, et préférable. Le concept d'*accomodation space* incite, en effet, à modifier le jugement. L'énergie sismique n'a aucune raison d'être vue comme une énergie rationnelle pour laquelle les termes de normal ou anormal ont un sens statistique. L'énergie est par nature — osons dire qu'il y a de l'événementiel naturel ! — différente de la raison. L'énergie du *tsunami* est, à l'approche de la côte, pure dispersion, spatialement irréductible à toute logique de distribution : en ce sens elle est irrationnelle. En revanche les effets de cette énergie sur la côte sont dépendants de la nature de la côte et peuvent donc être, sinon prévus, du moins expliqués. L'espace impacté n'est donc pas prévisible, mesurable, calculable, avec des outils rationnels, il est simplement constatable, *a posteriori*, une fois que les traces de ses modifications sont inventoriées. Il est simulable par un modèle comportemental, mais pas prédictible par une loi déterministe.

Deux images cartographient donc à la fois une dynamique (celle du sédiment), deux concepts spatiaux (résilience et accommodation) et une modélisation théorique (règle de Brunn). En ce sens, bien que ces images ne soient pas des cartes au sens le plus classique et restreint du terme, elles remplissent mieux qu'une carte ce qui devrait être l'objet de la démarche cartographique littorale : représenter non pas un état figé (qui sur le littoral n'existe jamais) mais l'extension nécessaire à la mobilité (mal prévisible mais assez bien calculable) du littoral. On pourrait, certes, à partir de ces deux images, prendre le temps de construire deux cartes. C'est techniquement possible. On perdrait cependant l'essentiel du message : entre les deux images il y a, chronologiquement,

quelques semaines tandis qu'il y a géomorphologiquement soit deux heures, soit deux millénaires. L'image satellite fabrique une donnée « brute » dont la temporalité ne triche pas ; elle ne dépend que de la couverture nuageuse qui rend visible (ou pas) le sol. Le temps de ces deux images n'est pas le produit d'une stratégie de représentation, le temps est la conséquence d'un fonctionnement technique (temps de retour du satellite) et météorologique sur lequel un éventuel auteur n'a pas de prise. Il y a comme une sorte de cartographie automatique. La nature numérique de l'image rend ensuite possible qu'on lui applique des algorithmes qui simulent — numériquement — un comportement. L'image est donc l'instrument qui permet de simuler le modèle de l'aléa… et donc, la vulnérabilité.

En revanche, entre deux cartes, il n'y aurait, forcément, aucun espace temps réel : elles auraient toujours été dessinées simultanément, l'une avec l'autre et l'une en sachant ce qu'était l'autre. Ainsi, les deux cartes seraient forcément contemporaines en ce sens que, pour dessiner la différence entre elles, l'intervention d'un auteur serait nécessaire, qui fasse l'inventaire des objets et établisse la liste de leurs changements[3]. La carte diachronique postule donc, chez celui qui la dessine, une connaissance des événements, une maîtrise de la durée et une stratégie de représentation. Un type bien particulier de temps plutôt linéaire est donc ouvertement présupposé : il doit permettre que les deux cartes soient comparables et leur impose des constructions semblables. En ce sens la carte diachronique se rattache bien plus à un discours qu'à une représentation. Elle a donc les limites du discours, qui sont celles de la limite que la raison impose et que les événements ignorent. Les deux images satellitales, inversement, sont bien des représentations et, de ce fait méritent probablement d'être appelées « cartes-modèles » ; ce sont des cartes d'un certain type. Pragmatiquement elles constatent. Et l'une des choses qu'elles constatent au point de l'exhiber, c'est la faiblesse de la raison cartographique.



La zone touchée en plan large avant le tsunami (avril 2004) • © DigitalGlobe.



La zone touchée en plan large après le tsunami (janvier 2005) • © DigitalGlobe.

Crédit images : © DigitalGlobe

Résumé

Le tsunami qui a frappé la côte ouest de Sumatra le 26 décembre 2004 a fait plus de 110 000 morts en Indonésie. Un collègue, avec lequel j'avais travaillé, par deux fois (1991 et 1992) durant plusieurs mois, sur la faille au large du bassin avant arc1 de Sumatra, est l'un d'entre eux. C'est la ...

Notes

1 Un bassin avant arc est un bassin océanique situé entre la subduction et la terre, au contraire d'une fosse océanique qui est le bassin provoqué par la

subduction elle-même. En général la subduction implique la création d'un prisme sédimentaire, qui parfois émerge, et forme des îles, comme les Mentawai à l'ouest de Sumatra. Entre ces îles et la terre, le bassin avant arc est une structure tectonique souvent instable.

2 L'image n'est pas strictement un instantané, mais entre le moment où les capteurs du satellite mesurent des valeurs et celui où ces valeurs sont traduites en fichier il s'écoule moins de quelques minutes. On parle donc quand même de temps réel.

3 Pour que des cartes puissent être « comparées » sans auteur, il faudrait d'abord les convertir en « fichier image » (numérisation en pixels).