

UNE IMAGE DE LA MOBILITÉ SUPERFICIELLE DES FONDS AU LARGE DE SUMATRA

Équipes SUMENTA et COSTEL*

RÉSUMÉ Une analyse de morphologie mathématique sur le modèle numérique de terrain (MNT) d'une pente sous-marine à l'ouest de Sumatra a pour but d'inventorier des sites favorables ou défavorables à l'immersion de sismomètres travaillant sur le fond et d'expliquer certains des signaux qu'ils ont enregistrés.

• FONDS SOUS-MARINS • GÉODYNAMIQUE SOUS-MARINE EXTERNE • MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE • SÉISME • SUMATRA

En République Indonésienne, la prévention du risque sismique est un élément clé des politiques d'aménagement. En septembre et en octobre 1991, une campagne océanographique franco-indonésienne, appelée INDOBS SUMENTA, a eu pour objectif, entre autres, de préciser la localisation de certains foyers sismiques susceptibles d'affecter la côte méridionale de Sumatra.

La procédure scientifique consiste à disposer sur le fond un maillage d'OBS (Ocean Bottom Sismometer) pendant une période d'un mois, puis de récupérer les enregistrements et d'en déduire la localisation des épencentres. La sensibilité des OBS est telle qu'ils peuvent enregistrer autre chose que des séismes: des activités biotiques, des courants turbides et autres événements gravitaires...

ABSTRACT Applying mathematical morphology to a DEM of a submarine slope off the coast of Sumatra makes it possible to select or discard sites for the launching of ocean bottom sismometers and to understand better some of the signals recorded.

• EARTHQUAKE • MATHEMATICAL MORPHOLOGY • OCEAN BOTTOM • SUBMARINE MORPHODYNAMICS • SUMATRA

D'autre part, la longue durée de leur immersion fait qu'ils peuvent s'enfouir dans les sédiments sous-marins meubles ou être recouverts par les produits d'une solifluxion. Une partie du travail préliminaire à l'exploitation des données est donc d'établir une image du fond assez précise pour qu'elle puisse donner une indication de la géodynamique externe, et permette ensuite une analyse discriminante des enregistrements. C'est la fabrication de cette image qui fait l'objet de cette présentation.

La région concernée est la pente interne du bassin de l'avant-arc de Sumatra à la latitude de Bengkulu (fig. 1). L'acquisition de la donnée bathymétrique a été faite à partir d'un sondeur acoustique à faisceau large. La densité des routes ne donnant pas une information homogène

RESUMEN Un análisis de morfología matemática sobre el modelo numérico de terreno de una vertiente submarina del oeste de Sumatra tiene como objetivo la clasificación de los sitios favorables o desfavorables para la inmersión de sismógrafos y la explicación de algunas señales que éstos han recibido.

• FONDOS SUBMARINOS • GEODINÁMICA SUBMARINA EXTERNA • MORFOLOGÍA MATEMÁTICA • SUMATRA • TERREMOTO



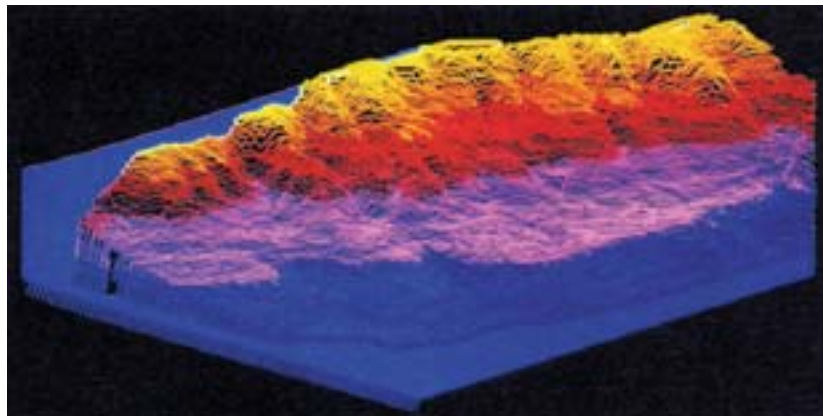
1. Localisation de la zone étudiée

* L'Équipe Sumenta (Paris VI, Paris XII, IPG, ORSTOM, BPPT, LEMIGAS, Rennes II) se compose de J. Malod, R. Louat, P. Patriat, H. Regnaud, J. Deverchère, L. Droz, C. Deplus, Y. Hello, B. M. Kemal, B. Herunadi. L'Équipe Costel (Rennes II, CNRS) se compose, pour ce travail, de H. Regnaud, P. Gouéry, J. Fournier, F. Le Henaff, A.Y. Roué et a bénéficié de l'aide de Y. F. Thomas de l'URA 141 du CNRS.

dans l'espace, un premier travail a consisté à retracer la carte à partir d'une interpolation. Celle-ci est lancée en utilisant un algorithme mis au point à l'ORSTOM (programme OROLOG, Depraetere, 1991). Ce MNT (ensemble d'éléments d'image localisés en x, en y, en z) est alors visualisé avec un des programmes de l'équipe COSTEL (fig. 2). Dès lors, le traitement numérique peut commencer. Il a pour objet de faire l'inventaire des itinéraires qu'une dynamique superficielle pourrait utiliser, de quantifier le type et la continuité des flux potentiels et de permettre une évaluation des signaux reçus par les OBS. En retour, ceux-ci peuvent indiquer quels itinéraires ont été actifs durant la période test. La première partie de cette démarche est décrite ci-après.

En milieu sous-marin il n'est pas possible d'employer les techniques habituelles d'extraction de bassin versant, puisque les écoulements d'eau ne se font pas nécessairement de l'amont vers l'aval, mais aussi inversement ou parallèlement aux isobathes. Il faut donc calculer des itinéraires de flux sans préjuger du système de pente. La méthode employée consiste à simplifier le relief par des algorithmes morphométriques indifférents à la pente, puis à comparer le relief simplifié avec le MNT initial. Les reliefs réels qui échappent à la simplification ont une particularité morphométrique spécifique. Il est ainsi possible de dresser l'inventaire de certains types d'incisions ou de promontoires susceptibles d'influer sur les flux sédimentaires.

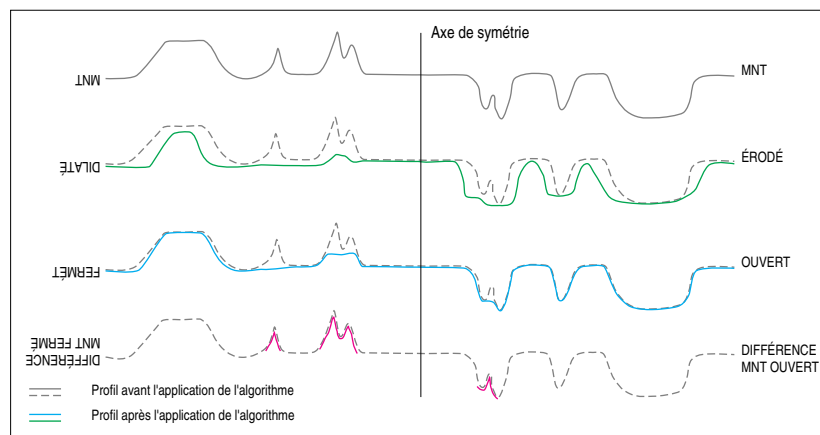
Les algorithmes de traitement reposent sur les notions mathématiques d'érosion et de dilatation, explicitées par Serra (1982). Le programme a été mis au point par Y. F. Thomas et P. Gouéry. L'*érosion* consiste à fixer un élément structurant B autour d'un pixel et à affecter à ce pixel la valeur la plus petite rencontrée dans ce voisinage (fig. 3). La *dilatation* fait l'inverse. L'image créée par une dilatation avec un élément structurant de rayon 1 est représentée sur la figure 4, sous forme de MNT. Il est important de noter que ce MNT est fictif: il ne représente qu'une surface mathématique et non pas un relief existant. On peut observer un élargissement des crêtes et un comblement des talwegs par rapport au MNT initial. Mais il ne s'agit pas de la simulation d'une accumulation sur la pente: un déplacement latéral des versants parallèlement à eux-mêmes



2. Modèle Numérique de Terrain

Onze sismomètres ont séjourné un mois sur cette pente et ont enregistré, outre des séismes, des glissements superficiels.

Photo: © Équipes SUMENTA et COSTEL, H. Regnaud - P. Gouéry, 1992.



3. Processus de morphologie mathématique

À partir d'un MNT on peut extraire des reliefs positifs ou négatifs d'une taille donnée en combinant deux algorithmes: érosion et dilatation. Les deux cheminements sont exactement symétriques et la figure peut donc être lue à l'endroit comme à l'envers.

vers les talwegs ne correspond à aucun processus morphologique réel. Cette image n'est qu'une étape dans la démarche.

L'image créée par une érosion avec un élément structurant de rayon 1 est visible sur la figure 5. Elle se caractérise par un recul des versants et un élargissement des vallées, mais elle ne simule pas un processus géomorphologique d'érosion puisqu'il n'y a pas d'approfondissement des talwegs. Une succession de dilatation et d'érosion est possible, ce qui donne des surfaces mathématiques appelées «ouvertes» ou «fermées», symétriques l'une de l'autre comme la figure 3, lisible à l'endroit et à l'envers, permet de le comprendre. Les figures 6 et 7 présentent ces deux transformations mathématiques, traduites en trois dimensions. Le «fermé» (fig. 6) dessine un relief dont tous les creux inférieurs (en surface) à l'élément structurant ont disparu

tandis que l'«ouvert» (fig. 7) montre la disparition de toutes les bosses de cette taille. Il s'agit de deux lissages qui atténuent la rugosité du relief.

Une comparaison entre un «ouvert» et un MNT donne l'inventaire des reliefs positifs dont la surface est inférieure à l'élément structurant. La figure 8 permet d'identifier les lignes de crêtes ou les points hauts dont la surface atteint 5 km² et qui sont susceptibles, topographiquement, de devenir les points de départ de glissements. Une comparaison entre le MNT et un «fermé» extrait les reliefs en creux. L'image «C(1)» (fig. 9) donne l'inventaire de tous les pièges à sédiments susceptibles de concentrer des flux de matières ayant glissé depuis un bassin versant égal à 8 pixels, soit 0,9 km². Ce que nous savons par ailleurs des vitesses de sédimentation sur la pente ne permet pas d'imaginer que de tels glissements puissent concerner plus que quelques mètres cubes.

En faisant varier la taille des éléments structurants, il est possible de dresser un inventaire exhaustif de tous les creux depuis les plus petits (un pixel) jusqu'aux plus vastes, dans les limites du MNT. On peut faire de même pour les bosses. Les classifications hypercubes donnent, dans ces cas, de bons résultats.

En premier résultat, on peut établir une carte des itinéraires de flux sédimentaires et prévoir la probabilité comparée pour chaque OBS d'en enregistrer un. Il est aussi possible de proposer des hypothèses sur la nature du substrat, fin et plastique dans les talwegs, plus compact

De haut en bas:

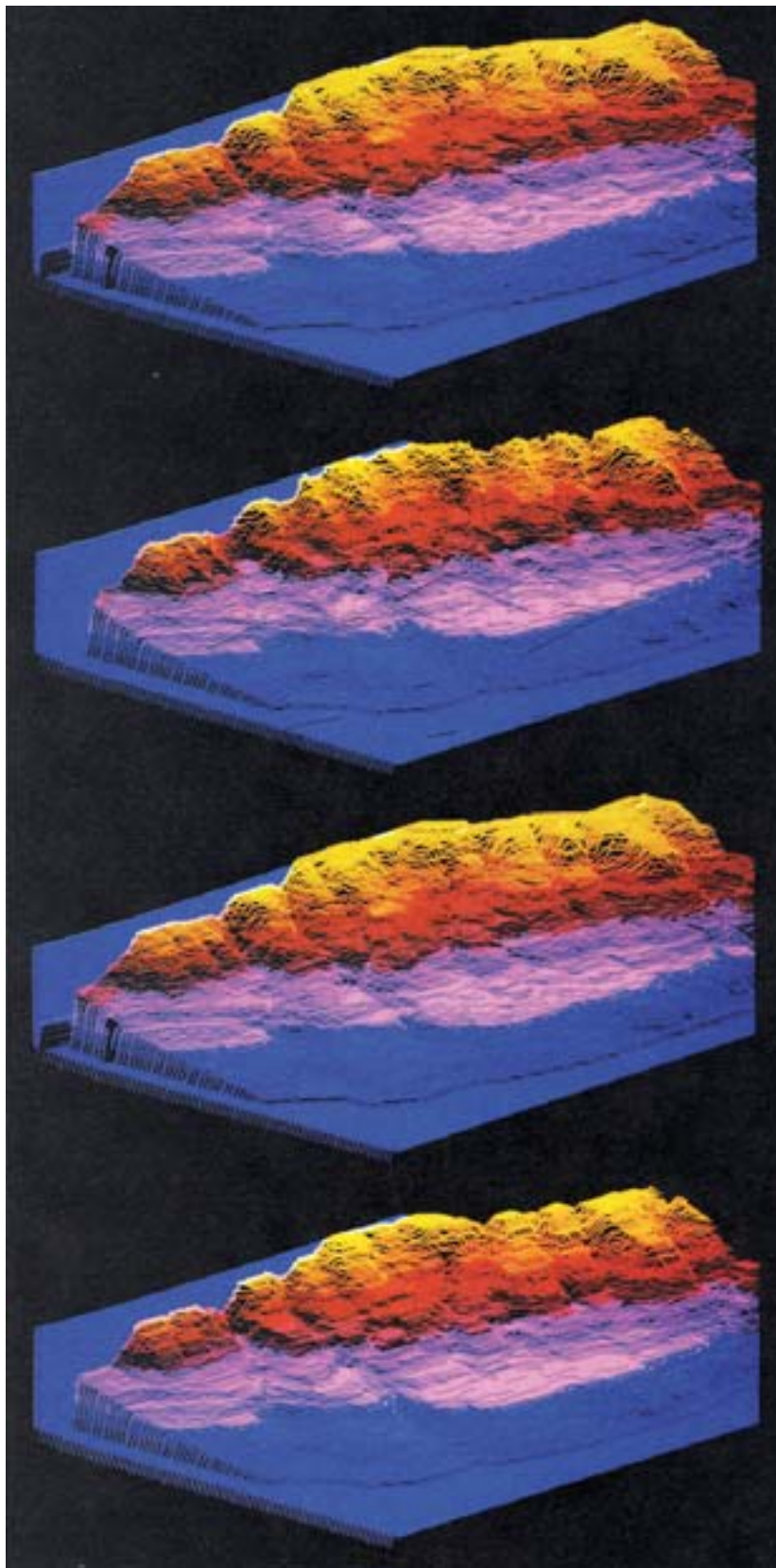
4. MNT dilaté avec un élément structurant de rayon 1

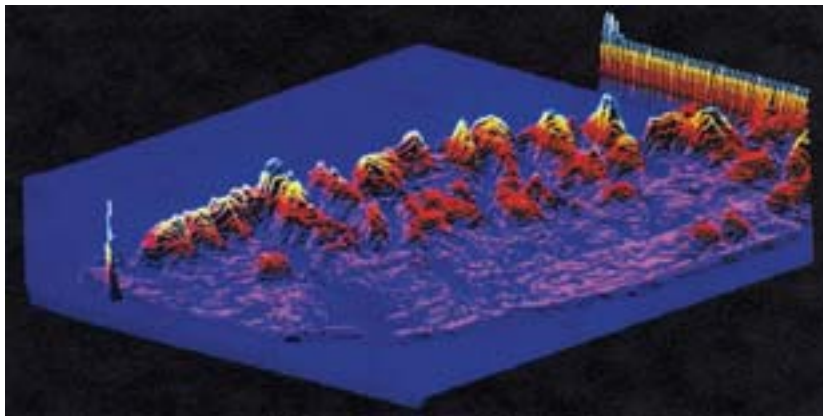
5. MNT érodé avec un élément structurant de rayon 1

6. MNT fermé, soit érosion d'une dilatation, élément structurant de rayon 3

7. MNT ouvert, soit dilatation d'une érosion, élément structurant de rayon 2

Photo: © Équipes SUMENTA et COSTEL, H. Regnaud - P. Gouery, 1992.

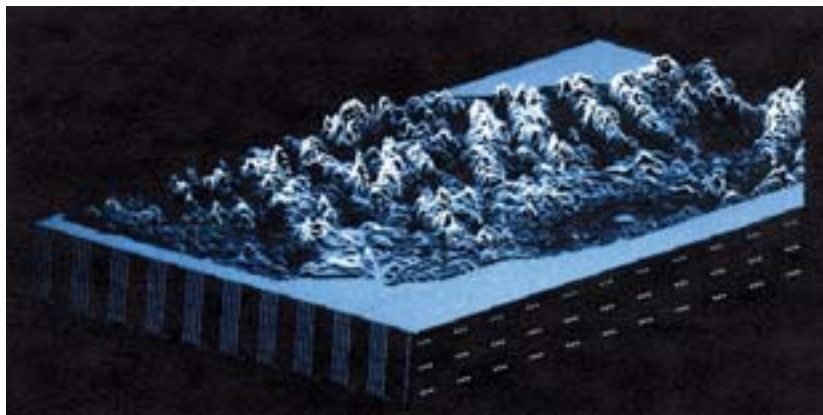




8. Inventaire d'un des types de points hauts

Ces espaces sont probablement dépourvus de sédiments fins, ou n'en possèdent qu'une faible épaisseur. Ce sont des sites sur lesquels les sismomètres ont une faible probabilité de s'enfouir dans la vase. Les couleurs correspondent à un gradient de profondeur de 0 à 20 mètres par rapport au MNT. Les pics colorés sur les bords de l'image sont des artefacts.

Photo: © Équipes SUMENTA et COSTEL, H. Regnaud - P. Gouery, 1992.



9. Inventaire d'un des types de creux

Dans ces sites, les sismomètres ont de fortes chances d'enregistrer des signaux de glissement et d'être perturbés par les mouvements de la vase. La présentation en niveau de gris est une alternative à la présentation en couleur, car plus lisible. Elle n'a aucune justification thématique. Ces grisés correspondent à un gradient de profondeur de 0 à 20 mètres par rapport au MNT.

Photo: © Équipes SUMENTA et COSTEL, H. Regnaud - P. Gouery, 1992.

sur les versants. Le choix des emplacements d'immersion des OBS est alors plus argumenté. Posés sur des fonds durs, les OBS s'enfouissent moins et sont moins susceptibles d'être parasités par des glissements superficiels. Ils remontent plus vite à la fin de leur séjour au fond, puisqu'ils ne sont pas enfouis dans la vase. Un deuxième résultat est plus géodynamique. Il n'y a pas continuité des écoulements de matière entre le haut et le bas du système de pente. S'il y a discontinuité et pièges «perchés» de sédiments, il faut imaginer des processus de relais, avec stockages plus ou moins longs de matière puis vidange brutale à l'occasion d'un événement particulier et local.

Les OBS ont enregistré de tels signaux: le signal existe sur un seul OBS, sans que celui situé plus haut ou plus bas ne le détecte. Cela ne peut être un séisme ni un courant turbide. Nous avons quelques arguments morphométriques pour supposer qu'il s'agit d'un remaniement superficiel à l'intérieur d'une faible surface du système de relief, sans effet en dehors de cet espace.

De nombreuses pistes doivent encore être explorées. En premier lieu, il serait intéressant de pouvoir mettre en relation la surface du relief de départ du flux et la quantité de matière mobilisée. Sur de longues périodes et de vastes surfaces, les analyses de coupes dans le sédiment donnent ces renseignements. Sur de courts laps de temps, on ne peut se fier qu'à des renseignements indirects (signaux des OBS) ou à des extrapolations théoriques. En second lieu, il faut tenter de simuler l'action de ces flux de matière sur la morphologie. On pourrait alors présenter l'évolution du relief à partir d'hypothèses sur la fréquence des événements gravitaires, et compléter les scénarios déjà existants sur l'évolution du littoral.

Les traitements de morphologie mathématique appliqués à des reliefs sous-marins en zone sismique ont pour utilité immédiate de faciliter le choix des emplacements d'immersion des sismomètres pour leur permettre de travailler dans les meilleures conditions. À plus long terme, ils permettent de proposer des scénarios d'évolution de la forme du fond: en milieu péri-littoral, c'est un élément indispensable à la prévision des dynamismes hydrologiques en cas d'élévation du niveau marin ou de mobilité tectonique du littoral. En milieu profond, c'est un outil d'analyse de géodynamique externe qui doit être exploité en relation avec d'autres techniques d'études.

Références bibliographiques

- DEPRAETERE C., 1991, *DÉMIURGE: chaîne de production et de traitement de MNT*, Montpellier, ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, 144 p.
- SERRA J., 1982, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, 310 p.