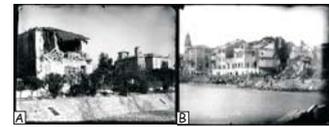


# Le séisme et le tsunami du 23 Février 1887 sur la côte Ligure (Méditerranée Occidentale) : où est la faille ?

Christophe Larroque<sup>1</sup>, Oona Scotti<sup>2</sup>, Mansour Ioualalen<sup>1</sup> et André Laurenti<sup>3</sup>

1. GéAZur, UMR 6526 CNRS, 250 av. Einstein, 06560 Valbonne, France  
2. Institut de Recherche et de Sécurité Nucléaire, IRSN / DEI / SARE / BERSISIN, B.P.17 92262 FONTENAY-AUX-ROSES Cedex  
3. 14 rue de la Placette, Haut de Cognes, 06800 Cognes-sur-Mer

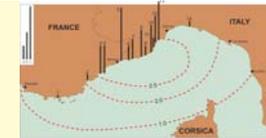


Photographie prises sur la Côte Ligure (A, Menton; B, Diano Marina) après le séisme de 1887 (Photos fournies par A. Laurenti).

Times (GMT)	Intensity (MSK)
05 : 22 : 00	IX
05 : 29 : 00	N/A
07 : 51 : 00	N/A

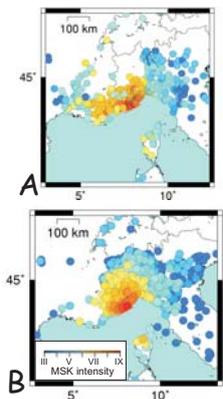
Heure et intensité du séisme de la séquence sismique du 23-02-1887 (Guidoboni et al., 2007).

Nous proposons une relocalisation du séisme Ligure à partir des données macrosismiques des catalogues français (SISFRANCE-2008) et Italien (DBMI-2004) en utilisant un nouveau modèle d'atténuation mieux adapté à la structure crustale de la région. Conjointement, en considérant le système de failles nord-Ligure comme la source du séisme nous avons modélisé le tsunami associé et testé les modèles en référence au marégramme de Gênes afin de définir le meilleur scénario pour la rupture et la magnitude du séisme.



Mouvements de la surface de la mer associés au séisme Ligure. Les barres noires correspondent aux run-up observés localement : a. 0.5 m b. 1 m c. 2 m. Les lignes pointillées rouges correspondent aux intensités du tsunami [échelle d'intensité d'après Sieberg (1923) modifiée par Ambraseys (1962), compilation par A. Laurenti].

## ESTIMATION MAGNITUDE-LOCALISATION



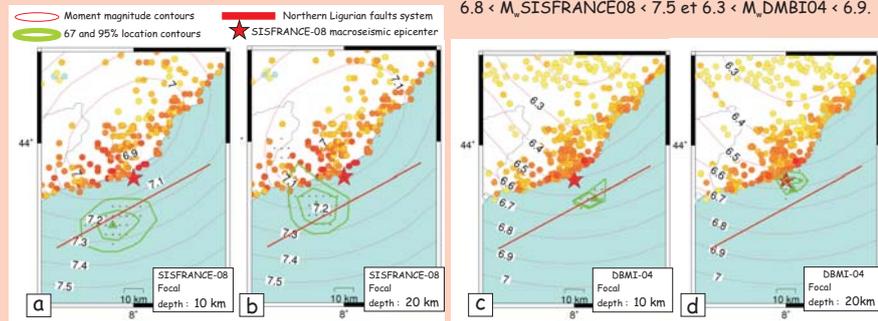
Distribution géographique des points d'intensité pour le séisme Ligure : bases de données macrosismiques SISFRANCE-2008 (A) et DBMI-2004 (B).

(2) Les intensités et les intervalles à 67 et 95% de confiance pour la LOCALISATION de l'ÉPICENTRE sont déterminés par la technique de "bootstrap resampling" (cependant la valeur des intensités est affectée par des incertitudes liées au cumul des 3 chocs constituant la séquence sismique et par des effets de site potentiels) : --> Dans tous les cas la position de l'épicentre est en mer dans la zone [43,65N-43,78N] et [7,82E-8,07E]. --> Les données SISFRANCE (b) semblent indiquer qu'une localisation de l'épicentre à terre est possible mais pour une profondeur focale d'au moins 20 km ce qui semble trop important pour un tel événement.

(3) La MAGNITUDE est estimée suivant les incertitudes épistémiques et aléatoires à partir du modèle d'atténuation "providence" proposé par Bakun and Scotti (2006) :

--> La magnitude du séisme de 1887 (contours en rouge) est estimée au niveau 1 sigma entre  $6.8 < M_{SISFRANCE08} < 7.5$  et  $6.3 < M_{DBMI04} < 6.9$ .

(1) La PROFONDEUR FOCALE est fixée entre 10 et 20 km, ce qui correspond à la zone sismogénique actuelle dans la région Ligure.



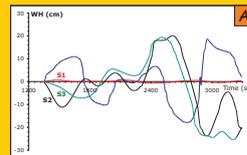
## MODELISATION DU TSUNAMI

Paramètres pour les sept scénarios les plus représentatifs de la rupture sur la faille nord Ligure. La rupture est considérée comme une zone rectangulaire et la localisation du centroïde est considérée constante : 8,08°E - 43,70°E.

L'objectif de la modélisation du tsunami est d'essayer de déterminer plus précisément l'intervalle de magnitude et la cinématique de la faille dans l'hypothèse ou c'est le système de failles nord-Ligure qui a été activé en faisant différentes hypothèses sur la cinématique de la source (Table 1).

La modélisation est fondée sur la bathymétrie fine de la campagne MALISAR et du SHOM, sur le marégramme de Gênes. La vague initiale est calculée suivant le modèle de dislocation d'Okada (1985) et la propagation/runups/inondation sont modélisés avec FUNWAVE. La méthodologie de la modélisation est décrite dans Ioualalen et al. (2007).

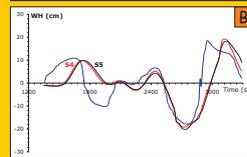
scenario	cinématique	direction	δ pendage	L longueur (km)	W largeur (km)	Δ déplacement (m)	Mw
S1	inverse	N70°E	70°S	20	15	0.8	6.5
S2	normale	N70°E	70°N	40	15	1.5	6.9
S3	normale	N70°E	70°S	40	15	1.5	6.9
S4	inverse	N70°E	74°S	40	15	1.5	6.9
S5	inverse	N70°E	16°N	40	15	1.5	6.9
S6	inverse	N55°E	70°S	35	17	1.3	6.8
S7	inverse	N55°E	16°N	35	17	1.5	6.9



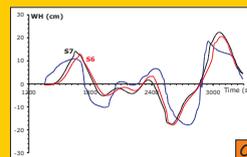
Une comparaison visuelle entre le marégramme de Gênes (en bleu) et les tsunamis simulés montrent que plusieurs des scénarios proposés peuvent être éliminés (A) :

--> soit pour des problèmes d'amplitude des vagues trop faible (exemple S1; Mw=6,5),

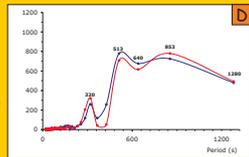
--> soit pour des raisons de mauvaise séquence de vagues : nous avons considéré l'ensemble des possibilités cinématiques, faille inverse ou faille normale avec des pendages vers le Nord et vers le Sud, et dans tous les cas de rupture en faille normale une crête apparaît en premier ce qui est contraire à l'observation (exemples S2, S3).



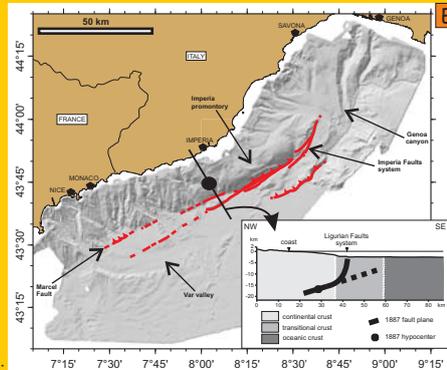
Sur l'ensemble des tests effectués (B), c'est une source sismique en faille inverse avec Mw=6,9 qui donne une séquence de vagues cohérente. Pour une direction de faille N70°E, les scénarios S4 et S5 sont ceux qui font le mieux apparaître le double pic (vers 2300 s) avec un pendage qui peut également être de 74° vers le Sud (S4) où de 16° vers le Nord (S5). Cependant les statistiques et le spectre d'ondes (non montrés ici) attestent que la séquence de vagues n'est pas très bien résolue [c'est en particulier le cas pour le premier creux, vers 1900 s, dont la différence entre S4-S5 et le signal observé excède les 3-4 s d'incertitude (B)].



S6 et S7 correspondent à une direction de faille de N55°E, inclinée à 70° vers le Sud (S6) et 16° vers le Nord (S7). Les résultats obtenus sont bien meilleurs pour le premier pic, la première crête et le double pic qui se trouvent tous dans les 3-4 cm d'incertitude (C).



Les statistiques (non montrées) sont largement améliorées et le spectre d'onde (D) indique cette fois un très bon recouvrement du contenu fréquentiel avec des pics identiques entre les marégrammes observé (en bleu) et simulé (S6 - S7 en rouge). L'influence de la direction de la faille dans le résultat de la modélisation s'explique certainement par un effet de directivité des ondes du fait de la direction du plan de faille qui est proche de la direction entre celle-ci et Gênes.



La modélisation du tsunami ne permet donc pas de dégager une solution unique, cependant d'autres données permettent de choisir entre les 2 pendages possibles (16°N ou 70°S). En effet de nombreuses caractéristiques morphotectoniques de la marge attestent de son soulèvement durant le Quaternaire et la déformation active le long du système de failles nord-Ligure s'explique aussi par un pendage des failles vers le Nord (Larroque et al., 2011).

Le faible pendage de la faille (16°N) est en faveur de l'existence d'un chevauchement sous la marge nord-Ligure qui accommoderait l'essentiel de la déformation compressive (E). La géométrie précise de ce chevauchement n'est pas connue mais il pourrait émerger au niveau du système de failles nord-Ligure dans la zone de transition océan-continent.

## CONCLUSION

Ainsi en tenant compte des données macrosismiques, de la modélisation du tsunami, de la tectonique long terme et de la déformation active de la zone, nous proposons : (1) que le séisme "Ligure" ait une magnitude Mw=6,8-6,9 avec un épicentre localisé en mer et un foyer situé vers 15 km de profondeur et (2) qu'il ait été produit par une faille de direction N55°E, avec un pendage de 16° vers le Nord correspondant, en surface, au système de failles nord-Ligure.