



Académie des Sciences d'Outre-Mer

Le séisme du 11 Mars 2011 au Japon et ses conséquences

par **Gérard MOTTET**,
membre libre de l'*Académie des sciences d'outre-mer*

Résumé :

Le fort séisme du 11 Mars 2011, d'intensité 9 sur l'échelle de Richter et le très meurtrier « tsunami » qui a affecté le littoral nord-oriental de l'île principale de l'archipel japonais, Honshu, s'inscrivent directement dans le contexte tectonique de subduction par lequel la plaque de nature géologique « continentale » de l'Est de l'Asie entre en contact permanent et actif avec la plaque plus lourde de nature « océanique » du Nord-Ouest du Pacifique.

Ce contact a généré, au cours des temps géologiques et jusqu'à nos jours, des Philippines au Kamtchatka, des arcs et guirlandes insulaires jalonnés de volcans au dynamisme ultra-explosif (Taal, Pinatubo Unzen, Sakurajima, Aso, Fuji San, Kliushevskaja, etc).

Ces arcs insulaires sont bordés, sur leur façade Pacifique convexe externe, de fosses profondes qui sont la conséquence géomorphologique de plans obliques de cette subduction dite « spontanée », bien soulignés dans leur tracé, par la localisation des épïcêtres des très nombreux séismes enregistrés.

Sur leur façade concave interne asiatique, ces mêmes arcs sont séparés du continent asiatique lui-même, par des mers ou « bassins d'arrière-arc », Mer Jaune, Mer du Japon, Mer d'Okhotsk, mers en cours d'enfoncement par ce même processus de subduction, dans sa partie interne la plus profonde.

Mais, au moins, ces mers intérieures sont, elles, à l'abri des tsunamis générés dans les fosses actives de la façade externe Pacifique des archipels.

On ne peut donc que s'interroger du choix de localisation des centrales nucléaires de Fukushima, Onagawa et Tokai, sur cette façade Pacifique de Honshu, à l'un des endroits les plus sensibles à la sismicité, et, de ce fait, à l'impact des tsunamis générés par celle-ci.

Le Japon est ainsi confronté, malgré son haut niveau scientifique et économique, à une triple dépendance, énergétique, tectonique et géographique.



Académie des Sciences d'Outre-Mer

1- L'archipel japonais, cadre général et évolution des connaissances.

Des Ryu Kyu aux Kouriles, l'archipel japonais est un des systèmes d'arcs générés par la subduction spontanée et active de l'Ouest de la « plaque Pacifique », accompagnée d'un fort volcanisme ultra-explosif : l'île principale de l'arc japonais, Honshu, comporte, à l'Ouest de la métropole capitale de Tokyo-Yokohama, le puissant volcan symbole du Japon, le Fuji Yama (3776 mètres).

Au Nord de Honshu, l'île de Hokkaïdo, également très volcanisée, est une convergence structurale : point d'arrivée de l'arc de Honshu, point de départ et d'intersection de l'arc des Kouriles au Nord Est de l'île et, au Nord Ouest, de l'axe allongé de Sakhaline.

Au Sud Ouest de Honshu, commence avec les îles de Kyu Shu et Shikoku l'arc des Ryu Kyu qui va poinçonner plus au Sud le Nord Est de Taïwan.

Chacun de ces arcs volcanisés est bordé, sur son front convexe, du côté de la lithosphère océanique Pacifique, d'une fosse profonde : fosse des Kouriles (-10540 mètres), fosse du Japon (- 9850 mètres), fosse des Ryu Kyu (- 6365 mètres).

Dans la partie concave de chaque arc s'étend un « bassin d'arrière-arc » : mer d'Okhotsk pour l'arc des Kouriles, mer du Japon pour l'intérieur de Honshu, mer Jaune pour celui des Ryu Kyu.

A) Le Japon de Max Derruau (1970)

Pour comprendre l'évolution des connaissances concernant ce cadre structural, il est utile de commencer à prendre en compte les données contenues dans l'ouvrage de Max Derruau (*Le Japon*, P.U.F., 1970).

Dans ce livre, l'auteur rappelle les phases orogéniques successives qui, « sur l'emplacement d'une fosse marine, un géosynclinal » sont à l'origine de l'archipel japonais : « orogénie Akiyoshi à l'extrême fin du Primaire et au début du Secondaire » puis « orogénie Sakawa au milieu de l'époque Secondaire ». L'auteur insiste sur la différence essentielle dans cette double formation entre la zone interne où « les mers restèrent peu profondes » et le « côté externe, c'est-à-dire du futur océan Pacifique, où elles s'approfondirent en un géosynclinal ».

Puis il souligne « l'originalité des chaînes qui se formèrent du côté interne, originalité qui réside dans de nombreuses intrusions de granite et de roches apparentées qui s'injectèrent pendant le plissement, suivant un style assez courant tout autour du Pacifique ».

L'auteur insiste ensuite sur la profondeur des fosses « du côté de l'océan Pacifique... plus de 10500 mètres dans la fosse de Honshu... à peu près autant au fond de la fosse des Kouriles ».



Académie des Sciences d'Outre-Mer

Suit alors un chapitre mettant en évidence les volcans et leur activité : « plusieurs centaines de volcans, anciens, récents ou actuels. Cent quatre vingt d'entre eux sont nés au Quaternaire et soixante ont eu des éruptions à l'époque historique et il faut leur ajouter douze solfatares actives ».

Puis, en vrai et grand géographe du volcanisme, Max Derruau constate que « dans la caldeira de l'Aso, à Kyu Shu, l'ancien lac comblé par des alluvions a fait place à des rizières où vivent plus de 50.000 habitants ». De même, la plaine centrale de Honshu, le Kanto est, elle aussi, enrichie par « des limons volcaniques plaqués sur les terrasses ». Dangers et fertilité attractive des régions au volcanisme explosif actif, comme en Indonésie...

L'auteur donne ensuite un tableau complet des diverses sources d'énergie utilisées dans les années 70 ; pétrole (67%), charbon (21 %) énergie hydraulique (8%) et « l'énergie nucléaire, cette nouvelle venue, 0,6 % ».

Dans la carte qui accompagne cette étude sont, en effet bien mentionnées les deux centrales nucléaires de cette époque : Tsuruga, au N.E. d'Osaka, sur le littoral de la Mer du Japon et Tokai Mura, sur le littoral Pacifique, au Nord-Est de Tokyo.

Les choix de ces deux sites sont donc évidents : la proximité des grandes métropoles avides d'énergie.

Le Japon connaît, en effet, à cette période, un développement économique considérable dont l'extension de ses grandes villes portuaires sous forme de « polders industriels » est le plus fort symbole (baie d'Osaka, baie de Tokyo).

Ce développement aboutira, de décennies en décennies, à l'augmentation significative de la part de cette énergie nucléaire, comme tout pays en expansion mais confronté à la dépendance énergétique.

Mais les mêmes décennies virent s'accomplir une autre expansion, celle des sciences de la Terre, de la connaissance géologique du fond des océans et de la tectonique « globale ».

B) Une « Révolution dans les Sciences de la Terre »

Tel est le titre de l'ouvrage d'A. Hallan (1972) qui résume et diffuse l'ensemble des travaux aboutissant à la « tectonique des plaques », forme moderne et vérifiée des hypothèses et théories de Snider, Alfred Wegener et Taylor, déjà fondées elles-mêmes sur des arguments géologiques, paléontologiques et paléo-climatiques.

Hallan sait, avec rigueur et honnêteté, rappeler les travaux antérieurs du géophysicien hollandais F.A. Vening-Meinesz qui, le premier, s'aperçut « que les fosses qui bordent le côté océanique des arcs insulaires de l'Asie du Sud-Est se caractérisent par une importante anomalie négative de la pesanteur ».



Académie des Sciences d'Outre-Mer

Ces arcs insulaires, dont celui du Japon et sa fosse profonde, ont donc été le centre de tous les travaux visant à mieux comprendre leur géodynamique, leur forte activité sismique et volcanique.

Le moteur de cette activité fut trouvé, après la Seconde Guerre Mondiale, par le géologue et commandant de sous-marins américain Harry Hess : les dorsales océaniques d'accrétion, partie supérieure ascendante de cellules de convection divergentes intérieures au manteau qui entraînent dans leur mouvement la lithosphère du fond des océans « comme un tapis roulant » et en provoquent l'enfoncement dans des fosses bordant les arcs volcaniques, dont la fosse du Japon.

Ce processus fut nommé à l'époque par R.S. Dietz (revue Nature, 1961) : « sea floor spreading ». Ce perpétuel renouvellement de la lithosphère des fonds océaniques expliqua alors, au rythme des sondages et prélèvements profonds, le pourquoi de la « jeunesse géologique de celle-ci, nulle part antérieure au Crétacé ».

Xavier Le Pichon, un des grands acteurs français du projet FAMOUS (French American Mid Ocean Undersea Survey), le confirma dès 1976 avec Guy Pautot (*Le Fond des Océans, Que sais-je ?, P.U.F.*) : « il n'existe nulle part de lithosphère océanique d'un âge supérieur à 180 m.a. (millions d'années), ce qui suggère que cet âge est la limite au dessus de laquelle l'instabilité gravitationnelle devient si forte que la lithosphère plonge nécessairement dans l'asthénosphère ». Ainsi se trouvaient définis les plans de subduction spontanée qui jalonnent et précèdent les arcs insulaires de l'Ouest du Pacifique.

Adolphe Nicolas, (*Les montagnes sous la mer, BRGM, 1990*) pouvait alors, avec clarté, distinguer dans ce processus de subduction entre la « subduction forcée » affectant une lithosphère jeune, mince et légère (Est Pacifique), et la subduction « spontanée » affectant une lithosphère vieille, épaisse et lourde, en rappelant les travaux de géologues japonais sur ce cas, S. Ugeda et H. Kanamori, 1979, (J. Geophys.).

Serge Lallemand pouvait alors, dans une magistrale synthèse (*La subduction océanique, G.I.B. 1999*), s'appuyer, dès le début de son ouvrage, sur le cas significatif de l'arc insulaire japonais, pour définir d'Est en Ouest, selon un coupe géologique et structurale tectonique, sismique et volcanique fondamentale, à lire d'Ouest en Est, définissant les grandes unités morfo-structurales suivantes et qui sont le fondement des coupes et croquis de cette étude :

- La croûte océanique, avec volcans sous-marins
- La fosse du Japon
- Le prisme d'accrétion
- Le bassin d'avant arc
- L'arc insulaire émergé et volcanisé(Honshu)
- Le bassin d'arrière arc ou mer marginale (mer du Japon)

avec, en coupe, le plan de subduction et d'enfoncement de la plaque Pacifique sous l'arc insulaire volcanisé, selon une « zone à forte vitesse sismique ».



Académie des Sciences d'Outre-Mer

Et l'exemple le mieux détaillé est bien, le long de ces pages essentielles, le plan de subduction du Nord-Est du Japon, connu et étudié depuis 1929 par Wadati puis Benioff(1949) et nommé de ce fait, « plan de Wadati-Benioff », plan d'une épaisseur de 40 km environ, « à forte vitesse sismique ».

Suit alors le commentaire d'une « coupe verticale de la zone de subduction de Honshu (Japon N.E.) » reprenant les travaux de Zhao et al. (1994) matérialisant cette zone par le nombre très élevé des épencentres de séismes (une centaine de points !) et l'intensité des ondes P. atteignant 6%.

Vient alors un relevé des « séismes inter-plaques majeurs » de magnitude supérieure à 8, de 1904 à 1986, où les Kouriles, Hokkaido et Honshu sont cités 10 fois, dont 3 fois pour Honshu.

Il est donc significatif que, depuis le début du XX^e siècle jusqu'à nos jours, l'arc sismique et volcanique du Japon a été le plus étudié de tous les arcs de subduction spontanée et active du pourtour du Pacifique occidental.

Au point que, dès la fin du XX^e, il soit devenu le type même de la structure de subduction océanique spontanée à forte séismicité et volcanisme ultra-explosif corrélatif.

En 1995, Jacques Marie Bardintzeff citera dans son livre *Volcans et Séismes* (Hachette, 96 p.) la meurtrière éruption récente du volcan japonais Unzen dont une nuée ardente lourde et cachée par le brouillard coula la vie à plusieurs volcanologues dont Maurice et Katia Krafft.

L'arc insulaire du Japon a donc été au cours du siècle précédent, par son activité sismique et volcanique répétée et meurtrière, au cœur des Sciences de la Terre, de la compréhension de sa géodynamique active et de ses conséquences humaines.

Le Nord-Est de Honshu :

Cette île qui concentre la majorité de la population du Japon est de plus affectée par le recouplement de l'arc du Japon s.s. avec celui, commençant des Kouriles, bordé, lui aussi, d'une fosse encore plus profonde coté Pacifique.

Ce recouplement a été étudié en détail (Lallemand, Chamot-Rooke, Le Pichon, 1986-1987) avec des plongées du Nautilé qui ont révélé, à l'intersection du recouplement, un front de déformation et un volcan en cours de subduction (Lallemand S. , opus cité p.102 et 103).

La façade Pacifique convexe de l'arc insulaire du Japon, à l'Est de l'île de Honshu, a donc été un des berceaux de la connaissance géophysique des rapports entre une plaque lithosphérique de nature « continentale » à dominante granitique, la plaque dite eurasiatique



Académie des Sciences d'Outre-Mer

d'une part, et une plaque de nature « océanique » plus lourde à dominante basaltique, la plaque dite du Nord-Ouest Pacifique, d'autre part.

Rapports qui se concrétisent par la fréquence et la position des épicentres des séismes qui matérialisent le plan d'enfoncement oblique de subduction et celui des chambres magmatiques des volcans explosifs qui jalonnent les arcs insulaires.

Le danger du Sud –Est de Honshu :

Au Sud-Est de Honshu, à l'Est immédiat de Tokyo, le danger sismique est encore accru par la jonction de deux plaques tectoniques : celle du Pacifique occidental et celle des Philippines, jonction matérialisée par l'alignement des îles volcaniques d'Izu-Ogasawara que prolonge plus au Sud celui des Mariannes. Ainsi le séisme ressenti le 16 Avril 2011 au N.E. de Tokyo (I : 6,5) est bien une conséquence, à moyenne profondeur, de cet axe et de la jonction de ces deux plaques en plus grande profondeur.

Cette jonction de plaques explique aussi, au plan géomorphologique, la seule grande plaine ou « Fossa Magna » qui découpe au Nord de la baie de Tokyo, l'île de Honshu.

On comprend mieux, de ce fait la vive crainte exprimée par un ingénieur japonais (émission télévisée « Envoyé spécial » du 14 Avril 2011) quant au grand risque de choix du site des deux centrales nucléaires de Tokai I et de Tokai II entre les deux villes d'Hitachi et de Mito, sur cette si sensible façade Pacifique de Honshu.

Jonction de plaques tectoniques, mais aussi jonction d'erreurs d'implantations.

2- Typhons et tsunamis d'origine climatique

D'Okinawa au Sud (26° lat. N.) aux îles Kouriles japonaises au Nord (46°lat. N.), l'archipel japonais s'étire à l'Est du continent asiatique dans l'espace de l'océan Pacifique du Nord-Ouest sur lequel passent en moyenne chaque année 28 tempêtes tropicales, soit le 1/3 du total planétaire, dont 18 typhons, ce qui fait de cet espace aérologique « la région cyclonique par excellence, par le nombre, par la durée de la saison cyclonique et par la taille atteinte par les super-typhons (3 à 4 par an) » (*Marcel Leroux, la dynamique du temps et du climat, Masson, 1993*).

Cette instabilité climatique s'explique par le fort contraste qui affecte en latitude la masse continentale sino-sibérienne et le monde insulaire de la zone tropicale de l'hémisphère Nord, (*La Climatologie / Pierre Pagny, Que Sais Je ? P.U.F., 1995, pp. 20 et suivantes*).

L'archipel japonais, sub-polaire, froid et humide au Nord (Hokkaido) et sub-tropical au Sud (Kyu-Shu et Ryu Kyu) est situé, de ce fait, sur le trajet Sud-Ouest-Nord-Est de multiples cyclones de genèse tropicale.



Académie des Sciences d'Outre-Mer

Il n'est donc pas étonnant que le terme qui désigne, tant en Chine qu'au Japon, ces fortes dépressions soit à peu près le même : thaï fong en chinois, taï fu en japonais, sources communes du terme de typhon.

« Tsu nami », (vague dans le port) et « taï fu », (cyclone), deux termes essentiels de la langue et du vécu quotidien du peuple japonais, passés, de nos jours, depuis le drame de 2004 à Sumatra et celui de 2011 à Sendai et Fukushima dans le vocabulaire mondial...

Les typhons saisonniers affectent toutes les côtes japonaises, mer du Japon, mer Intérieure, littoral Pacifique externe. Ils génèrent, selon leur intensité et la pression de l'air dans « l'œil » du cyclone (960 à moins de 930 H.P.), eux aussi des tsunamis, d'origine climatique et non sismique et, de ce fait, plus prévisibles.

Seule la partie la plus concave du littoral interne de la mer du Japon, de Yonago à Nagaoka, naturellement abritée par une presqu'île, est moins atteinte, ainsi que l'extrême Nord d'Hokkaido.

Tout le reste du littoral japonais a fait l'objet d'aménagements préventifs de ces tsunamis d'origine cyclonique : plus de 3.000 km de littoraux ont donc été protégés par des digues et des vannes qui se ferment dans les ports et protègent des effets destructeurs des tempêtes d'origine cyclonique, bref, des tsunamis d'origine climatique.

Morcellement insulaire, typhons, séismes, éruptions volcaniques, relief montagneux laissant peu de place aux plaines rizicoles, densités de population très élevées, très haut niveau scientifique, technologique, économique et financier, mais forte dépendance énergétique, tout aurait dû conduire ce grand pays sorti tragiquement de la Seconde Guerre Mondiale, à une très grande prudence quant à la localisation géographique de ses centrales nucléaires et quant au choix lui-même de cette source d'énergie.

Hiroshima (1945), Fukushima (2011) : 66 ans séparent ces deux drames de contexte, certes, très différent, mais tous deux liés par leurs graves conséquences pour un même peuple et pour une même nation.

3- Japon sismique et Japon nucléaire, la « grande contradiction »

Malgré les deux frappes nucléaires qui ont conduit le Japon à la capitulation en 1945, et un long temps de contraintes militaires et politiques, ce pays moralement fort s'est courageusement redressé.

Après le temps du charbon local d'ailleurs limité, puis du pétrole importé, il lui a bien fallu, pour accéder au rang de grande puissance mondiale, entrer dans le concert des nations utilisant la force nucléaire civile comme source d'énergie, seule manière, comme pour la France, de compenser sa dépendance énergétique.



Académie des Sciences d'Outre-Mer

De 0,6% en 1970 (Max Derruau, opus cité) la part de l'énergie électrique d'origine nucléaire est passée en 2011 à 33%, devenant ainsi, avec 46.821 Mw. le 3^{ème} pays producteur d'électricité d'origine nucléaire, après les Etats-Unis et la France.

Cette électricité provient de 59 réacteurs répartis en 18 centrales, et 11 réacteurs supplémentaires sont, en principe, prévus d'ici 2018.

Ces 18 centrales sont toutes, comme l'activité urbaine et économique, situées sur ou très près de littoraux.

L'île principale de Honshu où vivent 105 des 128 millions d'habitants du Japon, concentre à elle seule 14 des 18 centrales nucléaires, 9 sur les côtes de la mer du Japon, et 6 sur la côte Pacifique dont 5, Onagawa, Fukushima Daïchi, Fukushima Daïni, Tokaï I et Tokaï II en pleine face de la convexité tectonique de subduction spontanée et sismique de la fosse du Japon précédemment évoquée.

Or, comme le démontre la présente synthèse, cette façade Pacifique de l'île la plus peuplée du Japon cumule tous les dangers naturels auxquels ce pays est quotidiennement confronté :

- danger climatique, avec le passage des typhons saisonniers
- danger sismique, avec le plan le plus marqué de subduction spontanée
- danger tectonique global, par la jonction des deux plaques au N.E. de Tokyo
- danger de recoupement d'arcs de subduction, au N.E. de Honshu.

Oui, de Tokyo à Onagawa, la localisation de centrales nucléaires sur cette façade des plus sensibles, est bien la « grande contradiction » dont aujourd'hui, les autorités japonaises mesurent les dramatiques conséquences.

Cette façade littorale Pacifique de Honshu où arrivent les tsunamis sismiques les plus puissants, n'aurait jamais dû voir l'installation de centrales nucléaires, comme l'a préconisé depuis longtemps, avec courage, un ancien préfet de Fukushima.

Une ferme leçon aurait dû être tirée des conséquences du séisme de 2004 à Sumatra et du tsunami, également sismique et lié à la subduction, qui a détruit la ville de Banda Aceh : 200.000 victimes bien trop vite oubliées...

Les analyses géophysiques japonaises et celles de la communauté scientifique internationale menées depuis 40 ans auraient dû être prises en compte pour une autre géographie de l'aménagement et de l'implantation des centrales nucléaires ainsi qu'une meilleure prévention des risques dus aux méga tsunamis d'origine sismique.

Incontestablement, dans ce pays pourtant doté d'une recherche de très haut niveau et d'une grande expérience des catastrophes naturelles, la pression des intérêts économiques et financiers a, une fois de plus, prévalu sur l'analyse scientifique et la rigueur géographique



Académie des Sciences d'Outre-Mer

Conclusion

Recouvrements d'arcs de subduction active, jonctions de plaques tectoniques, passages de typhons fréquents en saison cyclonique, arrivées de tsunamis d'origine sismique ou climatique, concentrations urbaines dans des baies portuaires à polders industriels, étroitesse des couloirs littoraux à l'arrière pays immédiat montagneux, tout aurait dû conduire à une prise en compte lucide et objective de ces données géographiques défavorables lors du choix des sites des centrales nucléaires, surtout et avant tout sur la façade littorale Pacifique convexe de l'île de Honshu, synthèse de tous ces facteurs répulsifs.

Si, du fait de sa dépendance énergétique, le Japon a été conduit au choix nucléaire, du moins aurait-t-il dû mieux prendre en compte les fortes réserves émises par la communauté scientifique japonaise et internationale, et s'en tenir, pour l'implantation de ces centrales à la seule côte intérieure de la Mer du Japon, mieux abritée, elle, de l'impact des tsunamis sismiques.

La catastrophe meurtrière du 11 Mars 2011 qui a frappé le littoral Pacifique du Japon et la centrale de Fukushima Daïchi, est une dramatique erreur géographique d'aménagement d'un territoire sensible et complexe.

Elle démontre, une fois de plus, que la pression permanente des intérêts économiques et financiers ne veut pas tenir compte des travaux scientifiques lorsque ceux-ci, par leur rigueur et leur objectivité spatiale, contrarient leurs ambitions. Mieux vaut la proximité d'un marché urbain que quelques pertes en ligne.

Doté, par son insularité d'une très vaste zone économique exclusive (Z.E.E.), le Japon devra procéder à une plus grande diversification de ses sources d'énergie, en accentuant, par exemple, ses recherches géothermiques dans les deux bassins sédimentaires de la Mer du Japon, de part et d'autre du banc de Yamoto.

Le peuple japonais, digne dans les épreuves en toutes circonstances, ne peut se contenter d'une seule vision économique de son développement. Il devra introduire, dans cette vision, une dimension permanente d'analyse et de prise en compte, avant toute décision, des rapports très sensibles, dans cet archipel sur développé, entre les contraintes naturelles et les activités humaines.

Le « pays du soleil levant » doit être aussi celui du « matin calme », surtout sur sa côte orientale en face d'un océan qui n'a de « Pacifique » que le nom. Le Japon devra, au plus vite, pour sa survie, instaurer lui aussi à son échelle, un véritable dialogue social, spatial et territorial entre le monde de la recherche et celui de la décision.

Un nouveau protocole de Kyoto, centré cette fois ci sur les sciences de la Terre devrait tirer les leçons du drame du 11 Mars 2011 afin d'en éviter d'autres.

Car la subduction océanique de la façade Pacifique du Japon ne s'arrêtera jamais.



Académie des Sciences d'Outre-Mer

Orientation bibliographique

La Climatologie, Que Sais Je ?, PUF, 1985

Les climats de la Terre / P. Pagney, Masson, 1976

La dynamique du temps et du climat / M. Leroux, Masson, 1993

Le fond des océans / X. Le Pichon et G. Pautot, Que Sais Je ?, PUF, 1976

Géographie des risques dans le monde / G. Wackermann, G. Mottet [et al.], Ellipses, 2005

Le Japon, Magellan / M. Derruau, P.U.F. 1970

Les montagnes sous la mer / A. Nicolas, BRGM, 1990

Une révolution dans les sciences de la Terre / H. Hallan, Seuil, 1976

La subduction océanique / S. Lallemand, G.I.B., 1999

Volcanologie / J.M. Bardintzeff, Masson, 1991

Volcans et séismes, Hachette, 1995, 96 p.