

FACTEURS TECTONIQUES ET CLIMATIQUES DE L'IMPORTANCE
DES SEISMES DANS L'ATLAS.
IDEES NOUVELLES SUR LEUR PREVISION.

Tectonic and climatic factors of seismic activity in the
Atlas. New theories on its forecast.

A.C. PERRUSSET*

ABSTRACT

The neotectonics of the Atlas show a behaviour of transform fault, marked by reverse faults with a SW-NE orientation and a volcanism of the canarian type. Most of the seismic focuses are located on active faults pointed out by Landsat A and B satellite records. Geological and meteorological observations made in Agadir let hope a short-dated forecasting of catastrophic earthquakes.

RESUME

La tectonique atlasique traduit un comportement de réseau de failles transformantes, souligné par des failles inverses SW-NE à décrochement sénestre et un volcanisme de type canarien où dominent les phonolites et les basaltes limburgitiques. La plupart des foyers des séismes sont localisés sur des failles actives mises en évidence sur les imageries des satellites Landsat A et B. Les observations géologiques et météorologiques faites à Agadir, aux confins atlantiques de la chaîne atlasique, permettent d'envisager la prévision à court terme des séismes catastrophiques.

L'atlas et la tectonique des plaques (Fig. 1)

Les traits géomorphologiques de la chaîne atlasique sont apparus de très bonne heure, dès la fin des plissements hercyniens (DRESCH & LEPINEY, 1938). C'est ainsi que les cuvettes permotriasiennes et le couloir créacé sont orientés comme la chaîne actuelle ou coïncident avec elle. Quant aux soubresauts actuels, ils traduisent une constante dans

* Université Hassan II, Casablanca, Maroc. Egalement : 2, Avenue Malherbe, 13100 Aix-en-Provence, France.

l'histoire géologique de l'Atlas, à savoir son instabilité ininterrompue depuis la période des plissements carbonifères.

Un premier rajeunissement est marqué dans la géomorphologie par un approfondissement des cuvettes permo-triasiques, un volcanisme du Trias supérieur (basaltes doléritiques) et des soulèvements d'ensemble et ondulations de détail pendant le Jurassique (l'Atlas de Marrakech n'a pas été recouvert par les mers jurassiques). Ce long travail d'érosion a abouti à une pédiplaine antécrotacée, au pied de rares reliefs dus à l'extraordinaire résistance des laves. L'abrasion marine, contemporaine de la transgression crétacée, a parachevé le rabotage de la plaine d'érosion coïncidant parfois avec la surface structurale des basaltes. Les mers crétacées et éocènes, peu profondes et chaudes, ont recouvert la chaîne actuelle, dans un domaine compris entre les môles du Houz et de la Méséta au Nord et du Sahara au Sud. A partir de l'Eocène, l'Atlas a été soulevé par un formidable pli de fond, en conséquence d'une compression entre ces blocs. C'est ainsi que la haute chaîne axiale domine brutalement, avec des sommets supérieurs à 4000 m (Mont Toubkal : 4165 m), un avant-pays septentrional dont la monotonie et l'absence de relief ne sont interrompues que par les monts Jebilet (qu'il faut d'ailleurs considérer comme une ramification de l'Atlas sensu stricto).

Ces observations permettent de préciser l'histoire géologique du Maghreb dans le cadre de la théorie de la Tectonique des Plaques. Si l'on admet que l'Atlantique Nord s'est ouvert, du Sud vers le Nord, pendant le Jurassique (150 à 140 Ma) au Sud de l'actuelle zone de fractures Açores-Grenade, on ne peut manquer d'imaginer un premier foyer de séparation entre l'Afrique, les Amériques et l'Eurasie qui annoncerait la cicatrice hercynienne de l'Atlas. Un point triple, situé au Sud de l'actuel point triple des Açores, aurait été alors localisé à l'intersection de la ride médio-atlantique naissante et de ce qui constitue aujourd'hui l'alignement faille transformante Atlantis Grand Météore-Iles Canaries, dans le prolongement occidental de l'Atlas. A cette occasion, et dans un contexte tectonique voisin de celui de la Californie actuelle, l'Atlas de Marrakech aurait subi le premier soulèvement jurassique dont il a été question plus haut, au-dessus d'une imbrication très mobile de ride, rift et faille transformante. C'est au niveau de l'Atlas que se serait alors produite la collision entre l'Afrique et l'Eurasie (avec un bloc rifo-mésétien solidaire du bloc ibérique), accompagnée

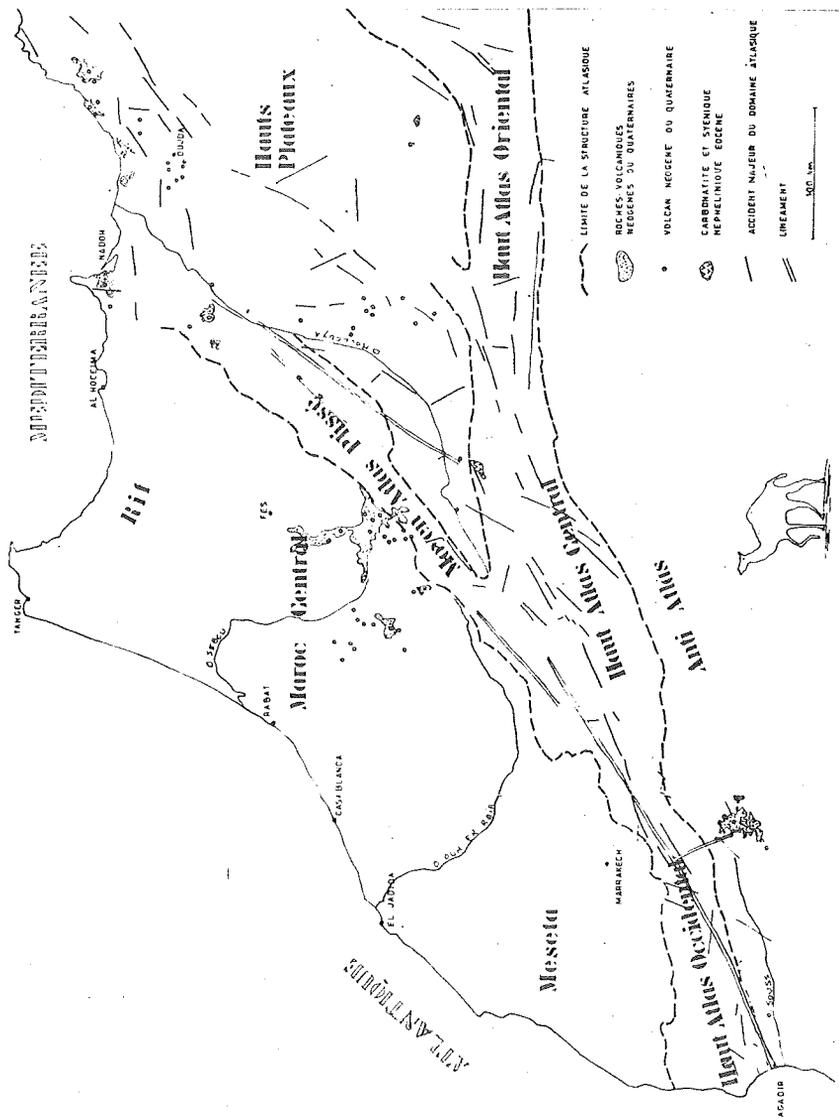


Fig. 1 : Accidents majeurs de l'Atlas Marocain et volcanisme récent. Sources : imageries satellitaires Landsat A et B, carte structurale du Maroc au 1/2.000.000 (1982).

du jaillissement du coeur hercynien et de failles SW-NE, inverses et à décrochement sénestre, traduisant un coulissage vers l'Est de l'Afrique par rapport à l'Eurasie.

L'existence d'une langue marine peu profonde au Crétacé sur le site atlasique permet d'envisager, ensuite, un relâchement de la poussée de l'Afrique contre l'Europe, alors que le pôle de séparation Amérique-Eurasie remontait vers le Nord. Ceci confirmerait l'hypothèse d'inversion du mouvement relatif de l'Afrique par rapport à l'Eurasie, passant de sénestre à dextre (SMITH, 1971; DEWEY, 1973; BIJU-DUVAL, 1976), et contredirait celle d'un déplacement sénestre et continu depuis le Jurassique inférieur (TAPPONNIER, 1977).

A partir de l'Eocène, alors que se créait l'ouverture la plus septentrionale de l'Atlantique, entre l'Europe du Nord et le Groenland, le coulissage à déplacement sénestre aurait repris dans la zone atlasique toujours active et en voie de soulèvement final traduisant le dernier acte d'une évolution entamée dès le Trias (MICHARD, 1976).

Néotectonique atlasique

Les études pétrographiques et géomorphologiques attestent l'activité tectonique continue de l'Atlas. Citons en particulier les carbonatites du Jbel Bou Agraou, traduisant l'existence de "points chauds" il y a 40 Ma, les failles inverses à décrochement sénestre qui affectent la couverture néogène de la Méséta, et le volcanisme néogène et quaternaire riche en basaltes limburgitiques et en phonolites qui rappelle celui, sub-actuel, des Iles Canaries.

Les paysages actuels témoignent de l'histoire géologique vue ci-dessus et d'une érosion aujourd'hui intense, à l'assaut d'un massif atlasique en perpétuelle instabilité. La lourdeur des hauts massifs andésitiques, de couleur sombre et d'aspect austère (Angour, Azrou, Toubkhal et Ouanoukrim), contraste avec la jeunesse de vallées encaissées dans une couverture permo-triasique et crétacée-éocène haute en couleurs (conglomérats rouge carmin du Permo-Trias, grès rouge vermillon du Crétacé inférieur, marnes vertes du Crétacé moyen, marnes rouges et calcaires blancs du Crétacé supérieur). Bien qu'abrupts, les versants des vallées montrent des ressauts de raccordement entre différents cycles d'érosion, comme ceux de la vallée de l'Ourika, hauts vallons perchés et comblés de débris où l'eau suinte dans des prairies spongieuses. Enfin, les vallées débouchent souvent brutalement, dans les plaines du

Haouz et du Souss, par de véritables défilés (Nfis, Rherhaia). Dans la région d'Agadir, les dépôts dunaires déformés du Maghrébien, du Villafanchien et du Quaternaire témoignent des mouvements récents du littoral (MICHARD, 1976).

L'impression d'une vieille chaîne soulevée en bloc et par à-coups, de nos jours encore agitée de secousses et soumise à une érosion violente, surprend le géomorphologue : des plateaux d'érosion anté-cambriens perchés dans les nuages (sommet du Mont Toubkal) et des lambeaux de péneplaine permo-triasique (sommet de l'Ouakaimeden) voisinent avec des ravinements profonds, des glissements et des coulées de boue qui laissent à nu les massifs de lave noire et patinée, et de véritables cañons entaillant des vallées emboîtées en escalier de géant.

Les données séismiques confirment et complètent ces observations de terrain. En particulier les travaux de BEN SARI (1978), RAMDANI & TADILI (1980) mettent en avant les deux axes tectoniques Açores-Grenade et Canaries-Agadir-Atlas, soulignés par des séismes dont le mécanisme au foyer s'accompagne de décrochements sénestres. Il est alors tentant de faire jouer à ces deux axes des rôles tectoniques équivalents et de qualifier le second de faille transformante (le terme de réseau de fractures transformantes serait mieux choisi). Des arguments pétrographiques étayent cette hypothèse. Tout d'abord, l'Atlas et les Iles Canaries - elles-mêmes situées sur une faille transformante - semblent appartenir à des provinces pétrographiques de types voisins, à phonolites et basaltes limburgitiques. De plus, le volcanisme récent de l'Atlas rappelle celui des rifts du Kenya et de Tanzanie (Miocène moyen) et de la faille transformante Sao Tomé-Cameroun-Tchad (Mont Cameroun, du Miocène à l'Actuel), et il est probable qu'au cours de son histoire, comme on l'a vu, la chaîne atlasique a joué chacun des rôles de ces deux entités de la tectonique globale : les basaltes alcalins sont fréquents, accompagnés de néphélinites et de carbonatites. Enfin, le volcanisme ponto-plio-quaternaire de l'Atlas est dominé par les basaltes sous-saturés et les ankaratites (MICHARD, 1976) qui caractérisent les émissions de lave le long des failles transformantes soulignées par les îles intra-océaniques (il s'agit d'émission à profondeur plus grande qu'au niveau des rides, avec un enrichissement en alcalins, par rapport aux basaltes tholéitiques). Néphélinites et mélilitites traduisent cette sous-saturation, comme c'est le cas aux Iles Canaries, ainsi que leur association à des carbonatites. L'enrichissement des basaltes de l'Atlas en TiO_2 , voisin

de 3 % (CHEROTZKY, 1978), et en augite, est un argument supplémentaire. Il est toutefois dommage que les résultats des analyses disponibles ne précisent pas les teneurs en terres rares, notamment en Sr⁸⁷ dont la teneur apparaît plus élevée le long des failles transformantes (GIROD, 1978).

Dans ce cadre de tectonique globale, une attention particulière devrait être portée sur le complexe volcanique du Tamazeght-Bou Agraou. La pétrographie y paraît voisine de celles des rifts du Kenya et de Tanzanie. Peut-être s'agit-il d'un point triple "avorté" entre les trois directions des Atlas Occidental, Oriental et de l'Atlas Plissé (septentrional).

Les études tectoniques entre l'Afrique et l'Eurasie (TAPPONNIER, 1977) révèlent une compression dominante NNW, avec une vitesse actuelle de l'ordre de 0,5 cm/an dans la région de Gibraltar (KINSTER, 1974), avec un jeu senestre le long des failles N'Kor et Carboneras-Almeria. Ce mouvement, ainsi que l'éloignement entre l'Amérique et l'Afrique, impliquent un cisaillement SW-NE du Maghreb qui paraît se concentrer sur le site atlasique (à travers le jeu de failles inverses SW-NE et de leurs conjuguées).

L'inventaire des linéaments et accidents atlasiques majeurs fait à partir des imageries des satellites Landsat A et B au 1/1.000.000, met en avant les failles "vivantes" jalonnées de foyers séismiques. En effet, leur activité est soulignée par leur netteté sur ces documents, probablement en raison des modifications de surfaces permanentes que leurs manifestations apportent (PERRUSSET, 1976, 1980).

Prévision des tremblements de terre

Un tremblement de terre, déformation brusque de l'écorce terrestre, est la conséquence d'une rupture géomécanique, lorsque les contraintes tectoniques dépassent un certain seuil.

Une tentative de corrélation des épacentres des séismes avec la structure géologique de l'Atlas a montré que la majorité des séismes coïncident avec des failles nombreuses dans cette zone (RAMDANI & TADILI, 1980). Rappelons que l'Atlas marocain et son prolongement tellien en Algérie ont été le siège de tremblements de terre catastrophiques : Hodna (1946, 246 morts), Orléansville (1954, 1200 morts), Agadir (1960, 15.000 morts) et El Asnam (1980, 25.000 morts). La situation et le mécanisme au foyer de ce dernier séisme, de même nature que les

précédents, mais mieux étudié (HATZFELD & PHILIP, 1981), confirment l'hypothèse d'un contexte de faille transformante : séisme peu profond (8 km) et situé sur une faille inverse de direction SW-NE, à pendage NW, longue de 40 km, et à composante de coulissage senestre.

Cette étude du contexte structural et topographique des séismes atlasiques pourrait être complétée par une approche statistique, aujourd'hui autorisée par un nombre suffisant de stations sismiques dans la région. Par exemple, dans une optique de protection civile (soins d'urgence, règles de construction para-sismiques) il peut s'avérer utile de dresser des cartes donnant, pour une aire donnée, la probabilité que se produise un tremblement de terre d'intensité I et sur une période T. Mais la prévision des catastrophes naturelles implique surtout la connaissance des conditions de leur déclenchement.

Sur le modèle de l'étude de la prévision des glissements de terrain dans l'Arrière-pays niçois (PERRUSSET, 1974, 1976, 1980), il s'est avéré intéressant de préciser l'environnement climatologique de la catastrophe d'Agadir. Les statistiques pluviométriques annuelles (1931-1975) n'apportent aucun indice : en 1960, la pluviométrie a été de 181,3 mm, légèrement inférieure à la moyenne annuelle (211 mm). Par contre, les statistiques agricoles (du 1er septembre au 31 août de l'année suivante) font apparaître l'année 1960 comme exceptionnelle sur le plan climatologique : avec 46,7 mm de pluie annuelle, sa pluviométrie apparaît comme la plus faible des 45 années d'étude. Enfin, le dépouillement des statistiques mensuelles et quotidiennes fait apparaître en janvier 1960 une pluviosité élevée (107,7 mm) avec une pluie exceptionnelle le 9 janvier de 54,9 mm en 24 heures, un mois et dix jours avant le séisme dévastateur, et après une longue période de sécheresse. Dès lors, dans le contexte tectonique déjà vu, et en connaissant la nature du sous-sol d'Agadir, celle d'une "pincée triasique" (MICHARD, 1976) entre deux failles et de la présence d'évaporites coniaciennes, il est possible d'avancer l'hypothèse d'une dissolution des évaporites par une pluie énorme, autorisant l'expression des contraintes tectoniques à la surface du globe et le long de failles "vivantes" (l'hypocentre de 1960 se situait à 1,3 - 2 km de profondeur). Un tel contexte est à rapprocher de celui de la vallée de la Vésubie, dans l'Arrière-pays niçois. La conjonction faille "vivante" (vue par satellite)-gypse-séismes y est aussi présente, avec de plus, il est vrai, des glissements de terrain, dans cette région alpine et montagnaise.

Dans l'esprit de cette étude, et compte tenu de la sécheresse actuelle qui sévit depuis plus de trois ans sur le Maroc méridional, il convient de rester attentif à d'éventuelles tombées de pluies catastrophiques (30 à 50 mm/24 H, ou plus) et aux mécanismes tectoniques qu'elles peuvent réveiller le long des failles actives, dans les semaines qui suivent. On se rappellera ici l'idée du contrôle des séismes le long des systèmes de failles de San Andréas (TARLING, 1980) : une injection d'eau dans les fractures pourrait lubrifier les lèvres, réduire les points de friction donc remédier aux phases paroxysmales et catastrophiques. Cette hypothèse, à vérifier dans l'Atlas et dans d'autres régions sismiques du monde, pourrait autoriser la prévision à court terme de certains tremblements de terre.

Enfin, cette notion de cause extrinsèque des séismes - par opposition aux causes intrinsèques proprement géologiques - ne manque pas de poser le problème de l'efficacité des cartes de risques sismiques. En effet, ces documents sont généralement établis à partir d'études statistiques d'enregistrement des magnitudes des tremblements de terre, alors qu'en fait ce sont les intensités qui devraient seules être prises en compte pour l'élaboration de cartes dont l'objet est la protection civile : un séisme de magnitude relativement faible peut avoir des conséquences catastrophiques pour l'homme si son hypocentre se situe à faible profondeur, ce qui fut effectivement le cas à Agadir en 1960; inversement, des séismes de magnitude colossale, situés à grande profondeur (plusieurs centaines de kilomètres) sur le plan de Bénéioff, se manifestent moins brutalement. L'idéal serait que les futures cartes de risques sismiques puissent intégrer le maximum de facteurs, aussi bien intrinsèques (comme la nature du sous-sol, en plus de l'énergie libérée) qu'extrinsèques (pluviométrie, dépressions ...). Parmi ces derniers, les facteurs anthropiques ne devraient pas être négligés, comme les barrages, les déblais et les remblais sur les lèvres de failles actives. Toujours à propos d'Agadir, rappelons que l'idée du déclenchement du séisme par le remblayage du nouveau port sur la lèvre subsidente de la faille bordière a été émise par CHOURBERT (1984). Ajoutons que dans l'esprit de cette étude, plusieurs villes marocaines apparaissent exposées à de gros risques sismiques. Citons en particulier, outre Agadir, les villes de Taroudant, Ouarzazate, Marrakech, Beni-Mellal, Midelt, Khénifra, Azrou, Taza, Tiguig, Bou Arfa, Nador et Oujda. Dans ces cités, les constructions nouvelles devraient respecter les normes de construction parasismiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIEUX, J., FONTBOTE, J.M., MATTAUER, M., 1971. Modèle explicatif de l'Arc de Gibraltar. *Earth and Planetary Sci. Letters*, 12.
- BEN SARI, D., 1978. Connaissance géophysique du Maroc. Th. Sci. Grenoble.
- BIJU-DUVAL, B., DERCOURT, J., LE PICHON, X., 1971. La génèse de la Méditerranée. La Recherche.
- CHEROTZKY, G., 1978. Pétrographie du Maroc. E.S.G.M. *Notes et Mém., Serv. Géol.* Rabat, 266.
- CHUBERT, G., 1984. Communication personnelle aux Journées Géologiques Minières du Maroc (17 avril).
- DRESCH, J. & DE LEPINEY, J., 1938. *La structure et l'évolution du relief.* Massif du Toubkal. O.C.T. Rabat.
- GIROD, M., 1978. *Les roches volcaniques.* Doin, Paris.
- HATZFELD, D., 1976. Etude de la sismicité de la région de l'Arc de Gibraltar. *Ann. Géophys.*, 32.
- HATZFELD, D. & PHILIP, H., 1981. Le séisme d'El Asnam. *La Rech.*, 127.
- Mc KENZIE, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophys. J.R. Ast. Soc.*, 30.
- MICHARD, A., 1976. Eléments de géologie marocaine. *Soc. Géol. Mar.*, Rabat.
- MINSTER, J.B., JORDAN, T.H., MOLNAR, P. & HAINES, E., 1974. Numerical modelling of instantaneous plate tectonics. *Geophys. J.R. Ast. Soc.*, 36.
- PERRUSSET, A.C., 1974. Applications des principes de la rhéologie aux glissements de terrain. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 279 D.
- PERRUSSET, A.C., 1976. Glissements superficiels de terrains et rochers. Idées nouvelles sur la rhéologie, la géotechnique et la réalisation d'une carte prévisionnelle de risques dans l'arrière-pays niçois. Th. Sci. Nice.
- PERRUSSET, A.C., 1981. Glissements de terrains et aménagements du territoire : principes de réalisation d'une carte prévisionnelle de risques quantifiés. Comm. 26° Congrès Géol. Int. Paris et Bull. Assoc. Géol. Ing., Krefeld, 23.
- RAMDANI, M. & TADILI, B.A., 1980. Sismicité détaillée du Moyen-Atlas. Th. Géol., Grenoble.
- TAPPONNIER, P., 1977. Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée : poinçonnement et écrasement rigide-plastique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3.
- TARLING, D.H. & M.P., 1980. *La dérive des Continents.* Doin, Paris.

