



HAL
open science

Des mouvements en sol majeur

Christophe Larroque, Stéphane Gaffet

► **To cite this version:**

Christophe Larroque, Stéphane Gaffet. Des mouvements en sol majeur. *La Recherche*, 1995, 26, pp.930-931. hal-02918390

HAL Id: hal-02918390

<https://hal.science/hal-02918390>

Submitted on 20 Aug 2020

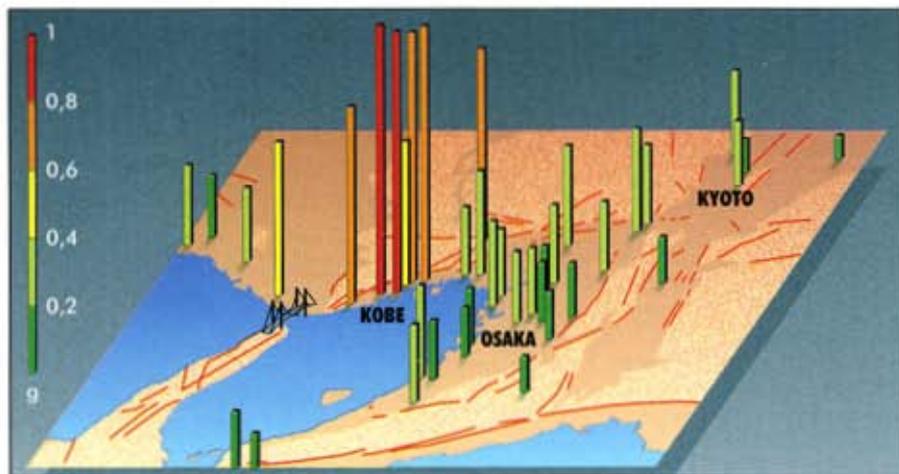
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DES MOUVEMENTS EN SOL MAJEUR

Le zonage des risques sismiques est l'une des clés de la prévention. À condition toutefois de tenir compte de la nature du sol, capable de décupler les effets destructeurs d'une secousse tellurique.

CHRISTOPHE LARROQUE ET STÉPHANE GAFFET*



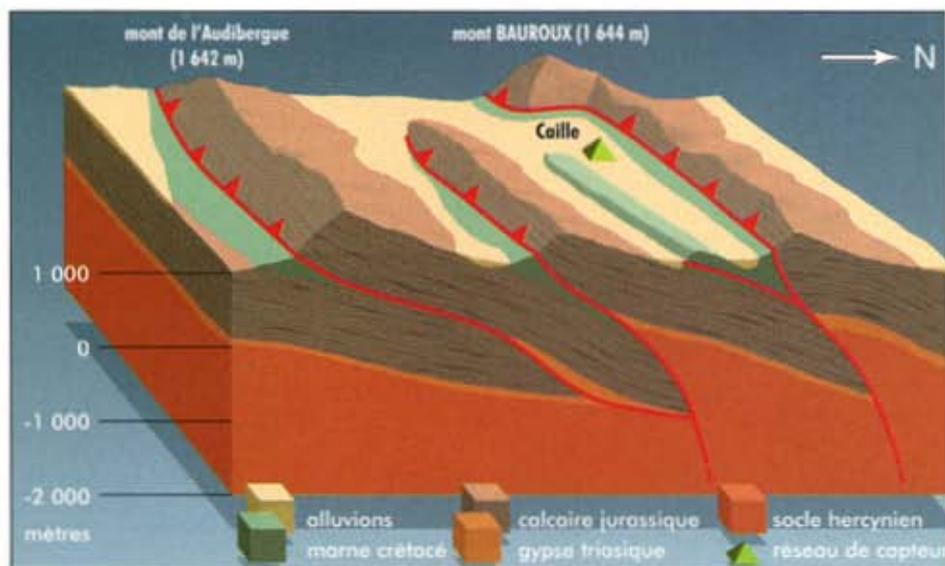
l'aléa sismique, au moins dans les régions les plus menacées.

La quantification des effets de site est un préalable indispensable pour déterminer l'aléa et définir des normes utilisables pour le dimensionnement des structures en génie parasismique. Les constructions devront résister à des mouvements du sol dont l'amplitude est évaluée à partir de l'effet de site et de la magnitude du séisme majeur attendu pour la région. L'une des premières tentatives européennes pour mesurer les effets de site a été menée dans l'arrière-pays de Grasse dans le cadre du Programme national sur les risques naturels (PNRM), par l'équipe de sismologie de l'Institut de géodynamique de l'université de Nice, en collabo-

Figure 1. Les effets destructeurs du séisme de Kobe, le 17 janvier dernier, ont été renforcés par la nature même du sol. La faille responsable du séisme n'est pas en effet localisée directement sous les zones les plus sinistrées. La ville japonaise est construite sur un site géologique complexe, où un bassin rempli sur plus de mille mètres d'épaisseur de sédiments récents jouxte un socle granitique ancien. Des accélérations maximales de 0,8 g (0,8 fois l'accélération de la gravité) ont été mesurées dans la partie de la ville la plus dévastée, localisée essentiellement sur les sédiments récents. Le socle granitique n'a pour sa part pas subi d'accélération supérieure à 0,4 g. La présence de couches géologiques superficielles peu consolidées amplifie les mouvements sismiques. Elle doit être prise en compte dans les plans d'aménagement du territoire. (D'après Menneroud et al., 1995)

Pour peu que le sol s'en mêle, les effets destructeurs d'un séisme peuvent être décuplés. Quelques sédiments mal consolidés, et c'est le drame : ~~les ondes élastiques s'accroissent~~, les vibrations du sol s'amplifient, les bâtiments déstabilisés s'écroulent. Ce que les géologues appellent dans leur jargon les « effets de sites », un phénomène fréquemment observé comme à Mexico, en septembre 1985 ou à Kobe, le 17 janvier dernier. Dans la ville nipponne, des accélérations de 0,8 g (0,8 fois l'accélération de la gravité, soit environ 8,7 m/s²) ont été enregistrées sur les alluvions, mettant en péril les constructions parasismiques dimensionnées d'ordinaire pour des accélérations beaucoup plus faibles, de 0,3 à 0,4 g (voir la figure 1 ci-dessus). La géologie locale peut amplifier de façon considérable les mouvements du sol.

Revient toujours la même question angoissée : peut-on prévoir les effets des séismes et les minimiser ? La prévision à court terme étant exclue pour le moment, nombre de scientifiques travaillent sur l'évaluation du risque sismique. Une notion qui repose sur deux paramètres : l'aléa et la vulnérabilité sismiques. L'aléa sismique est une estimation de la durée, de l'amplitude et de la fréquence des mouvements imprimés au sol lors du



séisme. La vulnérabilité consiste, quant à elle, à évaluer les effets induits par le mouvement du sol sur les constructions et donc sur les vies humaines. Elle s'est accrue au cours des dernières décennies avec la croissance de la population mondiale et les concentrations urbaines. Une vulnérabilité grandissante qui nécessite une estimation de plus en plus précise de

ration avec le Laboratoire de géophysique interne et tectonophysique (LGIT) de Grenoble. Entre octobre 1994 et janvier 1995, vingt et une stations sismiques ont été installées dans la plaine située entre les villages de Caille et d'Andon (Alpes-Maritimes), sur un périmètre de deux cent cinquante mètres de diamètre, à l'affût des moindres mouvements du sol (fig. 2).

CHRISTOPHE LARROQUE et STÉPHANE GAFFET, assistant et chargé de recherche à l'Institut de géodynamique (CIAS-université de Nice), Sophia-Antipolis, Valbonne.

* ont également participé à ce projet, pour Sophia Antipolis : P. Antraygues, N. Béthoux, G. Buffet, S. Durand, A. Deschamps, R. Michelis, J. Virieux, F. Tressols, A. Vernet ; pour Grenoble : P.Y. Bard, O. Coutant, M. Dietrich, R. Guiguet, F. Guyaton, D. Hatzfeld, B. Lebrun.

Lors d'un séisme, les ondes élastiques se propagent à travers la Terre et à sa surface à des vitesses de un à neuf kilomètres par seconde et dans une gamme de fréquence allant de 0,005 hertz (200 s) à 100 hertz. Les effets enregistrés par les sismomètres ou ceux ressentis par l'homme (que les constructions soient ou non endommagées) dépendent de la profondeur du séisme, de sa magnitude, des caractéristiques mécaniques et géologiques du site d'observation et de la distance à l'épicentre.

Les séismes sont d'autant plus destructeurs qu'ils ont une origine superficielle et que les roches environnantes sont peu consolidées

Les séismes les plus destructeurs — comme ceux d'Arette, dans les Pyrénées, en 1967 ou de Spitak, en Arménie, en 1988, respectivement de magnitude 5,5 et 6,9 — ont toujours une origine superficielle. Leur hypocentre (foyer de la rupture) est localisé dans les trente premiers kilomètres de la Terre. La brutalité de la rupture peut, en quelques fractions de seconde, transfigurer le paysage. Des blocs, larges de plusieurs dizaines de kilomètres, sont déplacés sur plusieurs

Figure 2. Un réseau dense de stations sismologiques a été installé dans l'arrière-pays de Grasse, à proximité du village de Caille afin d'étudier les effets de la nature physique des terrains sur la propagation des ondes sismiques. Outre le fait qu'elle se situe à proximité immédiate de l'une des zones les plus sismiques de France, la région de Caille présente l'avantage d'être très bien connue du point de vue géologique (couche superficielle d'alluvions gorgées d'eau reposant sur un substratum calcaire consolidé) et tectonique (empilement d'écaillés de direction est-ouest, qui plongent vers le nord). Cette expérience s'intègre dans le grand projet d'observation sismologique du sud-est de la France, des provinces italiennes Ligurie et Piémont et de la mer Ligure (projets « Très grande résolution sismique », TGRS, et « Observatoire fond de mer », OFM). Le but est d'enregistrer tous les mouvements du sol induits par des séismes de faible magnitude afin de mieux appréhender les effets probables d'un fort séisme éventuel.

mètres. Des collines sont modifiées, le cours des rivières est dévié. Des bouleversements irréversibles. Les dégâts peuvent être accrus par des ondes superficielles d'amplitude d'autant plus élevée que la magnitude du séisme est forte et qu'il est proche de la surface. Auxquelles s'ajoutent des effets de site et des effets induits : glissements de

terrains, avalanches et autres tsunamis. La zone proche de la rupture n'est pas la seule concernée. Des régions lointaines peuvent être dévastées : l'épicentre du tremblement de terre qui détruisit, le 19 septembre 1985, une grande partie de Mexico, se trouvait à 150 kilomètres de la mégalopole. L'amplification locale des ondes sismiques peut effectivement conduire à des accélérations instantanées de l'ordre de 1 g (soit 9,8 m/s²) qui, alliées à l'allongement de la durée des trains d'ondes (précédemment amplifiés), sollicitent plus fortement et plus longtemps les structures urbaines. Pourquoi avoir choisi le site de Caille pour étudier les effets de sites ? En premier lieu, ses caractéristiques géolo-

permis de placer l'ensemble des capteurs sur un même type de terrain et donc d'observer l'influence de la géologie sur les ondes sismiques qui se propagent ou qui sont piégées dans la vallée de Caille. Les capteurs utilisés permettent en outre d'enregistrer les mouvements du sol de très faible amplitude (à partir d'un micromètre) et dans une large bande de fréquence de 0,005 hertz à 40 hertz. Les stations ont fonctionné en continu pendant un trimestre. L'analyse des perturbations des ondes à proximité du site (amplification, allongement de la durée des trains d'ondes, modification du contenu fréquentiel, etc.) devrait dans les mois qui viennent nous permettre de détecter les modulations locales des

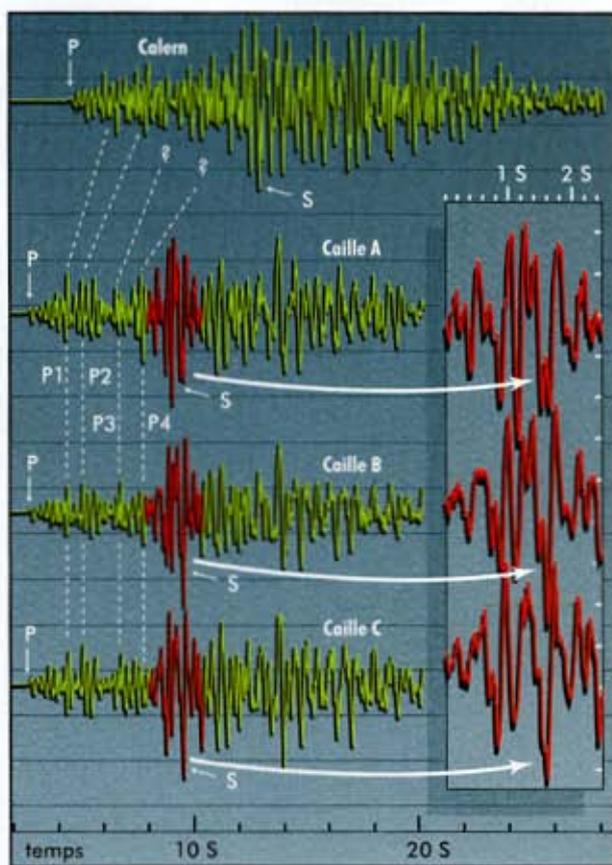


Figure 3. Les capteurs installés à Caille ont permis d'enregistrer le séisme qui a secoué Castellane, distant de vingt kilomètres, le 24 novembre 1994 (magnitude 3,1). La comparaison des différents sismogrammes avec celui obtenu à Calern, situé à trente-cinq kilomètres de l'épicentre, met en valeur des modifications de la forme des ondes élastiques (et donc du mouvement du sol). Première observation : l'enregistrement à Calern est allongé et les signaux haute fréquence atténués. Cela est dû au fait que les ondes se sont propagées sur une plus grande distance. Autre observation : les paquets d'ondes notés P et S se retrouvent à Caille et à Calern. Les paquets P1 à P4 sont en revanche spécifiques à Caille. Les différences dans la forme des ondes (en encadré) sont liées aux effets de site qui peuvent conduire à de plus fortes accélérations locales de la surface du sol.

giques et sa structure sont bien connues (fig. 2). Par ailleurs, ce site se trouve à proximité immédiate d'une des régions les plus sismiques de France (voir « La sismicité de la France » dans ce numéro). Il nous offre ainsi la possibilité d'enregistrer, en plus de la sismicité mondiale, une sismicité régionale voire locale, comme par exemple le séisme de magnitude 3,1 qui s'est produit près de Castellane le 24 novembre 1994 (fig. 3), ou celui qui ébranla la région d'Ancey, le 14 décembre dernier, de magnitude 4,8. L'originalité de ce réseau réside essentiellement dans la forte densité des stations, séparées de quelques mètres seulement. Un quadrillage serré qui nous a

ondes sismiques et par conséquent de quantifier l'effet de site. Les modifications du signal ont été mesurées pour chaque événement (fig. 3). Chaque séisme apporte par les ondes qu'il émet un éclairage différent des structures géologiques, structures intervenant dans les modifications des trains d'ondes traversant la vallée. Une fois la structure géologique d'un site reliée à son effet sismique, il sera possible d'établir des lois de comportement du sol au passage des ondes, donc de dimensionner les structures parasismiques. Mais il nous faudra encore patienter deux ans, le temps d'analyser l'ensemble des données collectées. ■