Editorial

Le tremblement de terre est la catastrophe naturelle la plus meurtrière et la plus destructrice. La prévention reste le moyen le plus efficace pour en atténuer les effets. Depuis une quinzaine d'années, les recherches effectuées dans le domaine du risque sismique ont fait des progrès significatifs. Il est donc naturel que "Risques Infos" y consacre un numéro pour faire le point sur leurs derniers développements. Il est naturel aussi qu'il fasse largement appel aux chercheurs et ingénieurs grenoblois car ceux-ci sont à la pointe de l'observation et de la recherche dans ce domaine. Définir les zones à plus haut risque, assurer une surveillance permanente de l'activité sismique et des failles, étudier les effets de site ainsi que le comportement des sols et des ouvrages, doivent conduire à l'élaboration de règles parasismiques de plus en plus fiables. Préventivement, une sensibilisation des élus locaux, des scolaires et de la population s'avère essentielle. Tous ces aspects seront abordés principalement dans le cadre de notre région qui se veut pilote dans le domaine du risque sismique en France.

Guy Perrier,
Directeur de l'observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble (1996-2001)

Guy Perrier, directeur de l'observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble (1996-2001)
Risques Infos n°13 - Juin 2002

LA SISMICITĒ DU SUD-EST DE LA FRANCE

Des millions de tremblements de terre se produisent chaque année dans le monde et nombreux sont ceux qui sont enregistrés par les observatoires sismologiques. Parmi eux, les tremblements de terre destructeurs sont relativement peu nombreux.

Depuis plus de trente ans, nous disposons d'un cadre général qui nous permet d'expliquer la cause de ces séismes : c'est la tectonique des plaques. La surface de la Terre est constituée d'une douzaine de grandes plaques qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Le mouvement relatif entre ces plaques est la cause fondamentale de l'activité tectonique terrestre : la plus grande partie des tremblements de terre se trouve donc localisée dans des bandes étroites correspondant aux frontières de ces plaques.

Pourtant, en dehors de ces zones étroites, il existe de vastes régions à l'intérieur des continents où la sismicité est diffuse. C'est le cas du **domaine alpin-méditerranéen**. On a là un exemple typique de collision entre deux plaques continentales, Afrique et Eurasie, qui a engendré les chaînes de montagne alpines dont les Alpes occidentales ne constituent qu'un fragment. Une chaîne de montagne subit une évolution très longue (plusieurs dizaines de millions d'années) et très complexe. Des déformations tectoniques importantes liées à la suture progressive des deux continents peuvent être observées sur une zone large de plusieurs centaines de kilomètres. Mais elles se produisent de façon discontinue en provoquant des séismes qui doivent donc être considérés comme la manifestation de la formation ou du rejeu de failles.

L'activité sismique observée dans les Alpes est donc la conséquence de l'affrontement de ces deux plaques (l' Eurasie et la "sous-plaque" Adriatique dépendante de la plaque Afrique) qui se rapprochent actuellement avec une vitesse moyenne de 1cm/an. Leur limite occidentale s'étend depuis la dorsale médio-atlantique au niveau des Açores jusqu'à la Grèce et la Turquie en passant par l'Afrique du nord, la Sicile, les Apennins, les Alpes franco-italiennes et les Alpes dinariques. Elle est jalonnée par les plus grands séismes du bassin méditerranéen.

Au niveau des Alpes franco-italiennes, cette limite passe probablement par la zone piémontaise en bordure de la vallée du Pô. Les séismes y sont moins nombreux et de magnitude plus faible que dans les régions méditerranéennes. On estime à un siècle, voire plus, la durée minimale pour rendre compte de l'activité sismique de cette région. Il est donc important de connaître le mieux possible la **sismicité historique** qui décrit les séismes les plus importants ayant causés des dégâts. Mais cela nécessite également de connaître de façon précise et détaillée la position géographique et le mécanisme de ces séismes. C'est pour cela qu'il a été jugé fondamental de disposer d'un réseau dense et permanent qui est décrit dans un autre article du risques infos et qui rend compte de l'activité actuelle de la sismicité, même la plus faible.

On peut ainsi dire que la sismicité du sud-est de la France est « moyenne » bien que quelques séismes aient probablement atteint la magnitude 6. Cette sismicité est superficielle (moins de 20 km en profondeur) et il est possible de définir certains alignements d'épicentres dont les plus caractéristiques sont ceux de l'arc piémontais en bordure de la vallée du Pô et de l'arc briançonnais ; ceux de la moyenne vallée de la Durance et de l'Ubaye et de la vallée du Rhône de Valence à Arles (actuellement asismiques à l'ouest de Digne : on parle alors de lacune sismique, ce qui implique une surveillance particulière) ; celui plus diffus s'étendant de Chamonix à Valence et limité au sud par une ligne reliant le Diois, les massifs de Belledonne et du Mont-Blanc et le Valais suisse. Dans la région de Nice, il faut noter un petit alignement près des vallées de la Tinée et de la Vésubie. Mais certains foyers sismiques pouvant provoquer des dommages en Provence-Côte d'Azur sont également situés plus à l'est en Ligurie (par exemple, séisme du 23 février 1887) ou sur une ligne sismique s'étendant vers le sud dans le golfe de Gênes.

Le tableau donne la liste des 22 séismes recensés qui ont causé des dégâts dans le sud-est de la France avec une intensité maximale observée supérieure ou égale à VIII (échelle MSK), c'est-à-dire une destruction des habitations les plus vulnérables ou entraînant des dommages importants aux autres constructions.

CATALOGUE DES SĒISMES DESTRUCTEURS DANS LE SUD-EST DE LA FRANCE
Intensité maximale observée ≥ VIII

Date	Latitude	Longitude	Région	Intensité
A- LES ALPES DU NORD				
19.02.1822	45,8°	5,8°	Chautagne	VIII
29.04.1905	45,9°	7,0°	Haute-Savoie	VIII
19.03.1935	44,6°	6,6°	Embrunais	VIII
25.04.1962	45,1°	5,5°	Vercors	VIII
19.08.1968	46,3°	6,8°	Chablais	VIII
15.07.1996	45,94°	6,09°	Haute-Savoie	VIII
B- LES ALPES DU SUD, PROVENCE, CÔTE D'AZUR				
05.04.1959	44,5°	6,8°	Haute-Ubaye	VIII
23.06.1494	44,0°	7,3°	Vésubie	VIII
20.07.1564	44,0°	7,3°	Vésubie	VIII
18.01.1618	43,9°	7,3°	Vésubie	VIII
15.02.1644	44,0°	7,3°	Vésubie	VIII
23.02.1887	43,9°	8,1°	Ligurie	X
13.12.1509	43,8°	5,8°	Manosque	VIII
14.08.1708	43,8°	5,8°	Manosque	VIII
20.03.1812	43,7°	5,7°	Beaumont de P.	VIII
12.12.1855	43,8°	6,4°	Chasteuil	VIII
11.06.1909	43,7°	5,4°	Lambesc	IX
14.05.1913	43,9°	5,8°	Volx	VIII
30.11.1951	43,8°	6,4°	Chasteuil	VIII
C - LA VALLĒE DU RHÔNE				
23.01.1773	44,4°	4,8°	Tricastin	VIII
19.07.1873	44,5°	4,7°	Tricastin	VIII
08.08.1873	44,4°	4,8°	Tricastin	VIII

(d' après *Mille ans de séismes en France*, Ouest Editions et BRGM, EDF, IPSN, 1996)

François Thouvenot, physicien des observatoires, laboratoire de géophysique interne et tectonophysique de Grenoble (LGIT)
Risques Infos n°13 - Juin 2002

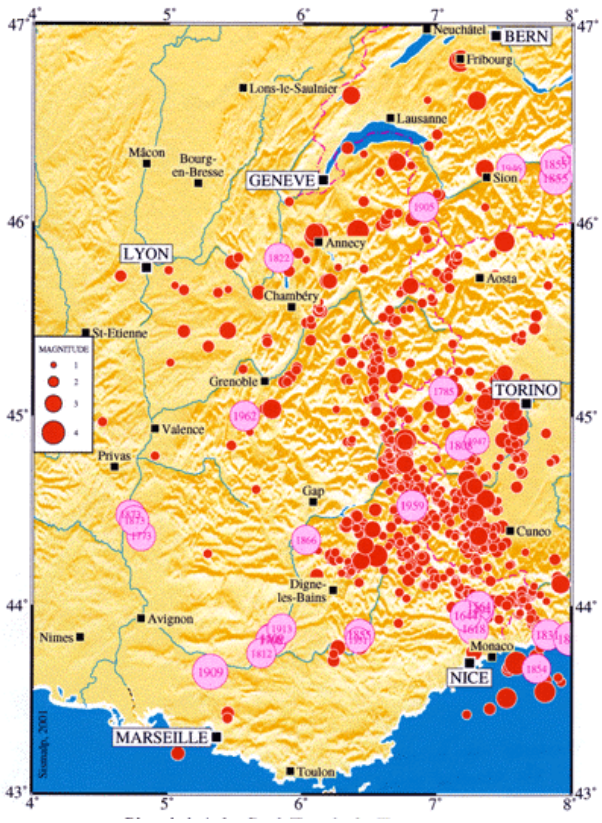
La surveillance sismique du Sud-Est de la France

Même si les dégâts immobiliers occasionnés par les séismes restent finalement tout à fait exceptionnels dans le Sud-Est de la France, le nombre de séismes ressentis par la population est loin d'être négligeable : on peut l'estimer à environ une vingtaine chaque année. Mais de nombreux autres séismes, de magnitude plus faible, se produisent sans être ressentis. Pour mieux étudier cette sismicité, il faut un réseau de détection adapté. C'est avec l'appui décisif du conseil général de l'Isère, dans le cadre de l'opération « Isère département pilote pour la prévention des risques majeurs » que le réseau Sismalp a vu le jour en 1987. Sismalp poursuit un quadruple but :

- localiser les séismes avec le maximum de précision (moins d'un kilomètre d'incertitude horizontale dans certains cas), de façon à pouvoir cartographier les failles sismiques actives et à fournir des bases aux futures réglementations parasismiques ;
- déterminer si possible l'orientation et le pendage de la faille qui a joué au moment du séisme, ce qui permet de comprendre la dynamique des Alpes ;
- mieux connaître la structure profonde de la chaîne alpine en observant des anomalies de propagation des ondes ;
- et enfin constituer une base de données pouvant être utilisée pour des études complémentaires (atténuation des ondes, mécanismes de déclenchement des séismes, etc.)

Sismalp est constitué de 44 stations sismologiques automatiques réparties du lac Léman au sud de la Corse et du Massif central à la frontière italienne. Chaque station est composée d'un capteur (sismomètre) et d'une acquisition (balise). Le sismomètre permet de transformer les vibrations du sol en un très faible signal électrique qui est amplifié par la balise. Celle-ci dispose d'une horloge très précise calée sur des émetteurs radios terrestres ou embarqués sur des satellites. Une telle précision est indispensable pour pouvoir dater l'instant d'arrivée d'une onde sismique à la milliseconde près. Tous les centièmes de seconde, la balise scrute le signal en provenance du sismomètre. Dès que celui-ci dépasse un certain seuil, on conserve dans la mémoire de la balise le sismogramme correspondant. La balise est reliée au réseau téléphonique, et un modem lui permet de communiquer avec le site central situé au Laboratoire de géophysique interne et tectonophysique (LGIT), à l'Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble. Chaque nuit, ou plus fréquemment en fonction de l'activité sismique, ce site interroge l'ensemble des stations et constitue une base de données directement exploitable.

Sismalp est l'une des composantes du Réseau national de surveillance sismique qui, depuis Strasbourg, a le rôle de lancer des alertes lorsqu'un séisme de magnitude supérieure à 4 survient sur le territoire national. Avec deux autres réseaux sismologiques situés dans l'arrière-pays niçois et dans la région d'Aix-en-Provence, avec le concours des stations du réseau du Laboratoire de détection et de géophysique du CEA implantées dans le Sud-Est et des stations suisses et italiennes proches de la frontière, la surveillance sismique exercée par Sismalp sur l'ensemble de la région est maintenant beaucoup plus efficace qu'il y a dix ans.



Carte de sismicité du Sud-Est de la France. **En rose** : sismicité historique (fichier Sirene IPSN/BRGM/EDF) correspondant aux séismes d'intensité maximale supérieure ou égale à VI–VII MSK ; les séismes d'intensité maximale supérieure ou égale à VII–VIII MSK sont repérés par leur millésime. Les magnitudes correspondant à ces séismes historiques sont approximatives**. En rouge** : sismicité instrumentale observée par Sismalp entre 1989 et 2000 (magnitude supérieure ou égale à 1,5). **En bleu** : stations du réseau Sismalp.

L'alerte sismique

Trois stations du réseau Sismalp, situées à Grenoble, au barrage de Grand-Maison et au col de Larche (Alpes-de-Haute-Provence), fonctionnent de façon un peu différente. Elles transmettent leurs signaux en continu jusqu'au LGIT, soit par liaison radio soit par des liaisons téléphoniques louées à l'année. Un ordinateur scrute en temps réel les trois signaux simultanément, à la recherche d'une agitation anormale du sol pouvant correspondre à un séisme. Si le séisme est suffisamment important, cet ordinateur génère une alerte qui se traduit par l'envoi d'un mini-message sur des téléphones mobiles. Les personnes destinataires de ce message peuvent alors se connecter sur le centre de calcul du LGIT, examiner les sismogrammes, localiser le séisme et déterminer sa magnitude, permettant ainsi de communiquer très rapidement une information aux services de protection civile. Les signaux des trois stations de ce réseau d'alerte sont, sous un délai de l'ordre de la minute, mis automatiquement en accès sur l'Internet, quelle que soit l'amplitude des signaux enregistrés. On peut ainsi suivre à distance les moindres frémissements qui se produisent dans les Alpes, ou ailleurs dans le monde si la magnitude du séisme est suffisante. (Sismalp enregistre ainsi quotidiennement des « téléséismes » survenant à des milliers de kilomètres de distance.)

Outre un aspect « protection civile » qui est sa justification la plus évidente, l'alerte sismique est importante également sur le plan purement sismologique, en permettant une intervention aussi rapide que possible sur le terrain en cas de fort séisme (magnitude supérieure à 4 environ). En effet, la mise en place de stations sismologiques à proximité de l'épicentre d'un tel séisme permet d'étudier dans les meilleures conditions les « répliques » (secousses secondaires de plus faible magnitude) qui se produisent dans les heures et les jours qui suivent. La compréhension de l'apparition de ces répliques est fondamentale si l'on veut un jour pouvoir prévoir les séismes.

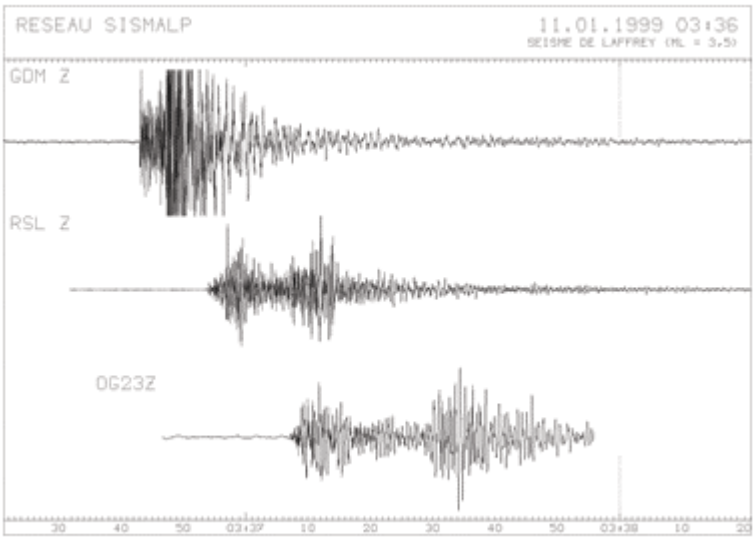
Que savons-nous maintenant de la sismicité instrumentale du Sud-Est de la France ?

Au cours des douze dernières années, près de 13 000 secousses ont été enregistrées et localisées par le réseau Sismalp dans le Sud-Est ; 60 % de cette activité (près de 8 000 secousses en 12 ans, soit plus de 600 par an) ont été identifiés comme étant des séismes naturels, le reste correspondant à des phénomènes non sismiques (tirs de carrière, explosions diverses, éboulements).

La vingtaine de séismes ressentis chaque année dans le Sud-Est ne représente donc qu'une faible proportion de l'activité sismique totale. En contrepartie, la sismicité reste modérée : il n'y a en moyenne qu'un séisme de magnitude supérieure à 3,5 par an ; qu'un séisme de magnitude supérieure à 4,5 tous les dix ans. C'est presque négligeable lorsqu'on considère l'activité sismique du globe tout entier, où, chaque jour, se produisent une vingtaine de séismes de magnitude supérieure à 4 !

La zone la plus active se situe de part et d'autre de la frontière franco-italienne, le long de deux « arcs » : l'arc sismique piémontais, situé en Italie en bordure de la plaine du Pô, et l'arc briançonnais qui traverse l'Ubaye, le Queyras, la région de Briançon et la Vanoise avant de rejoindre le Val d'Aoste. Le long de ces deux arcs, dont on avait pressenti l'existence depuis le milieu du siècle dernier sur la base de la sismicité historique, l'activité sismique est très continue, presque quotidienne. Un troisième arc se dessine plus à l'est, sous la plaine du Pô, au sud de Turin. L'une des plus importantes découvertes de ces dernières années est l'existence d'un quatrième arc, situé beaucoup plus à l'ouest, que l'on peut suivre depuis la vallée du Drac, au sud de Grenoble, jusqu'à Sixt (Haute-Savoie), en passant par Uriage et Allevard (Isère), Saint-Pierre-d'Albigny (Savoie), Faverges, le Grand-Bornand et Samoëns (Haute-Savoie).

Entre Monestier-de-Clermont et Allevard (Isère), cet arc subalpin a une partie sud très rectiligne et assez active qui a été baptisée « Faille bordière de Belledonne » parce qu'elle s'appuie sur le flanc ouest du massif du même nom. Les séismes qui s'y produisent ont des magnitudes qui restent modérées (entre 0 et 3,4) ; la majorité d'entre eux étant située vers 5 km de profondeur, la faille n'est pas décelable en surface. On a pu mettre en évidence qu'il s'agissait d'une faille de coulissage horizontal permettant au massif de Belledonne de se déplacer très lentement vers le sud-ouest (probablement guère plus que d'un millimètre par an) par rapport au Grésivaudan et au massif de la Chartreuse. Le plus gros séisme qui se soit produit récemment sur la Faille bordière de Belledonne est celui de Laffrey en 1999 (magnitude 3,4), qui a généré de très nombreuses répliques dans les mois qui ont suivi. Pour obtenir des mesures directes du déplacement le long de la faille, le LGIT est en train de mettre en place des stations qui permettent, en continu, le calcul de leur position précise grâce au système GPS. On pense pouvoir obtenir des résultats significatifs en quelques années, même si le déplacement est très faible.



Sismogrammes enregistrés dans trois stations :
En haut : barrage de Grand'Maison (isère)
Au milieu : Barrage de Roselend (savoie)
En bas : Col de Tende (alpes maritimes)

Une autre faille s'est aussi manifestée de façon spectaculaire en juillet 1996 lors du séisme d'Épagny (Annecy) qui a atteint la magnitude de 5,3. C'est la faille du Vuache, du nom du chaînon qui, au nord-ouest d'Annecy, relie le Jura au massif des Bornes.

La faille de Vuache (74)

L'étude des répliques a permis d'établir que, là aussi, il s'agissait d'une faille de coulissage horizontal située à très faible profondeur (entre 1 et 3 km). Le séisme d'Épagny est le plus important séisme qui se soit produit dans les Alpes françaises depuis le séisme de Corrençon (Isère), en 1962. Il a provoqué 400 millions de francs de dégâts, principalement en raison de la faible profondeur du foyer, de sa survenance dans une zone habitée, et surtout d'effets de site (entrée en résonance des couches alluvionnaires peu consolidées de la Plaine d'Épagny). Il a généré une très grande quantité de répliques (plus d'un millier) durant les années qui ont suivi. En novembre 2000, plus de quatre ans après le séisme de 1996, une réplique de magnitude 1,6 a encore été ressentie.

Une dernière surprise amenée par ces années d'études a été de constater qu'une grande partie de la sismicité observée dans les « Alpes internes » (arcs briançonnais et piémontais décrits précédemment) résultait d'un régime extensif de la chaîne. On pouvait en effet logiquement s'attendre à l'inverse, car les Alpes sont considérées comme une chaîne de compression, à la limite de la plaque Eurasie et de la sous-plaque Adriatique.

Le fait que le cœur des Alpes subisse une extension et non une compression modifie radicalement la vision que les spécialistes des sciences de la Terre pouvaient se faire de la dynamique actuelle de la chaîne, les conduisant à bâtir des schémas de collision beaucoup plus compliqués.

Site sur la toile

Le site sur la toile du réseau Sismalp (sismalp.obs.ujf-grenoble.fr) dispose d'une page dynamique mise à jour en temps réel. On peut y visualiser les derniers séismes que vient de détecter le réseau d'alerte, la liste des dernières localisations, l'« avis de localisation » correspondant au dernier séisme ressenti dans le Sud-Est, et les communiqués de presse diffusés ces dix dernières années en cas de séisme jugé suffisamment important (magnitude supérieure à 2,5 environ). Le visiteur a aussi la possibilité de remplir un court questionnaire pour signaler un séisme ressenti.

Le site comprend également une galerie de photos, des textes et petites expériences sur la sismologie, ainsi qu'une liste de liens sur les principaux sites en relation avec la sismologie dans le monde.

Financement et fonctionnement

L'équipement du réseau Sismalp a été financé par le conseil général de l'Isère, la Direction des risques majeurs (ministère de l'Environnement), l'Institut national des sciences de l'Univers (CNRS), la Région Rhône-Alpes et le Pôle grenoblois pour la prévention des risques naturels. Son fonctionnement est assuré par l'Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble, le Bureau central séismologique français et plusieurs conseils généraux (Isère, Alpes-de-Haute-Provence, Haute-Savoie, Ain, Savoie, Drôme).

Guy Perrier, directeur de l'observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble (1996-2001)
Risques Infos n°13 - Juin 2002

Grenoble, université pilote pour le risque sismique

Actuellement, les sismologues ne sont toujours pas capables de prévoir les tremblements de terre. Les différentes méthodes proposées, basées sur la mise en évidence d'éventuels signaux précurseurs, sont encore fortement contestées car elles manquent singulièrement de fondements physiques. Se basant sur de nombreux phénomènes imprévisibles qui existent dans la nature, certains sismologues pensent même qu'il est vain de poursuivre dans cette voie. Il y a donc encore beaucoup de recherches à développer dans ce domaine. Mais, même dans le cas d'une prévision réussie, on n'évitera pas les destructions des habitations et des installations industrielles si des mesures adéquates ne sont pas mises en œuvre dans le domaine de la construction parasismique.

Si les études de prévention sismique dépassent largement la compétence des seuls sismologues, il leur revient en revanche d'identifier les zones où l'aléa sismique est important, c'est-à-dire, d'une part de caractériser les séismes potentiels dans une région donnée, d'autre part de prévoir ou de mesurer, en un site donné, les paramètres caractéristiques du mouvement du sol consécutifs à un séisme et nécessaires pour définir les règles de protection parasismique.

On sait en effet que le mouvement du sol en un site donné dépend de trois facteurs : les caractéristiques du séisme (sa localisation, sa magnitude, sa dynamique, ..), la propagation des ondes dont les amplitudes et le contenu fréquentiel sont modifiés pendant le trajet entre le séisme et le site, les effets de site dus aux conditions locales. Les sismologues grenoblois travaillent sur ses trois aspects mais nous insisterons plus particulièrement sur les recherches effectuées en région grenobloise sur le dernier point.

Il est connu depuis longtemps que la géologie de surface peut avoir de grandes influences sur les mouvements du sol. L'exemple le plus souvent cité est celui du séisme de Michoacan au Mexique en 1985, qui a détruit une partie de la ville de Mexico pourtant située à près de 400 km du séisme mais construite sur un sol très peu consolidé. Dans notre région, on se rappelle aussi la frayeur causée en 1976 par le séisme du Frioul qui a fait osciller les tours du quartier de l'Ile Verte à Grenoble éloignée de 600 km. Plus récemment, le séisme d'Annecy en 1996 a réveillé beaucoup de dormeurs de l'agglomération grenobloise alors qu'il n'était pas ressenti dans les villages dominant la ville. Ces effets de site dus au piégeage des ondes sismiques dans les formations superficielles se traduisent par des phénomènes de résonance à certaines fréquences induisant en surface de fortes amplifications des mouvements du sol et une augmentation de leur durée. Les effets de la topographie pourraient aussi être importants. La cuvette grenobloise est donc un cadre idéal en France pour étudier ces phénomènes.

Les recherches effectuées au LGIT (Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique) de l'Observatoire de Grenoble depuis 20 ans portent sur plusieurs aspects : développement des outils théoriques et simulations numériques pour bien identifier les mécanismes responsables des effets de site ; connaissance du sous-sol grenoblois à partir des données gravimétriques recueillies par les glaciologues et complétées par des données sismiques et un forage réalisé en collaboration avec l'Institut de Protection et de Sûreté nucléaire (IPSN), qui ont permis de déterminer les variations d'épaisseur de la couverture meuble du bassin grenoblois ; simulation tridimensionnelle dont une, illustrant le jeu de la faille de Belledonne par un séisme près de Lancey , montre une amplification brutale des ondes dès leur entrée dans le bassin, maximale dans la vallée du Grésivaudan près du séisme et au centre de la ville de Grenoble . D'autre part, des mesures de l'accélération du sol consécutives à des séismes proches ont été effectuées en différents points du bassin grenoblois. Elles confirment, au moins pour les séismes faibles, qu'en centre-ville, l'accélération est près de dix fois plus forte que sur les massifs rocheux environnants. Un réseau accélérométrique permanent (RAP) a aussi été développé dans les zones à plus fort risque de la région alpine. En complément, une méthode très simple fondée sur l'enregistrement du bruit de fond

sismique est également mise en œuvre et semble prometteuse pour le futur. A toutes ces recherches sont associées l'étude des failles en surface et la mesure des déformations lentes de la croûte par géodésie spatiale.

Mais une question essentielle reste posée : comment peut-on extrapoler à de forts tremblements de terre les effets de site observés pour les petits séismes ? La multiplication des observations dans la cuvette grenobloise associées à des mesures effectuées dans des régions à plus fort potentiel sismique devraient apporter des réponses.

Pierre-Yves Bard, Ingénieur-en-Chef des Ponts et Chaussées, Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique (Observatoire de Grenoble) et Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées
Risques Infos n°13 - Juin 2002

Les effet de site de la cuvette grenobloise

Généralités sur les effets de site

Comme l'indique le terme même de "tremblement de terre", l'essentiel des effets des séismes provient des vibrations associées aux ondes émises par le glissement soudain des deux lèvres de la faille. Ces vibrations peuvent être caractérisées par leur fréquence (pouvant aller de 0.01 à 50 Hz), et leur amplitude ; les ondes qui les propagent sont elles caractérisées par leur type (par exemple compression ou cisaillement), et leur vitesse de propagation. Cette dernière, relativement stable en profondeur dans la croûte terrestre, devient très fortement variable à proximité immédiate de la surface, car elle est en relation directe avec la compacité des sols et roches : ainsi, la vitesse des ondes de cisaillement varie de 3 km/s dans du granite sain, à parfois moins de 500 m/s dans le même granite mais cette fois fortement altéré, et de près de 1000 m/s dans des sédiments très compactés, à moins de 50 m/s dans des vases et tourbes. Dès lors, la propagation de ces ondes est très fortement affectée par ces hétérogénéités de surface, et il en va de même pour la répartition spatiale de l'amplitude des vibrations sismiques associées. Cette variabilité spatiale liée à la géologie de surface est classiquement appelée "effets de site".

Une première catégorie d'effets de site est liée au simple relief topographique : on a ainsi pu constater, de manière systématique, une amplification des mouvements en sommet de crête, expliquée au moins partiellement par une focalisation des ondes liée à la convexité de la surface libre : on peut en voir des illustrations dans les ruines encore existantes des villages de Rognes (Bouches-du-Rhône), et de Castillon-le-Vieux (Alpes-Maritimes), dont les parties hautes ont été respectivement détruites par les séismes de Lambesc (1909), et d'Imperia (1887). Il est clair que de tels effets sont donc à attendre sur un bonne partie du territoire Rhône-Alpin, très montagneux, mais fort heureusement, cela ne concerne qu'un nombre limité de villages ou d'installations spécifiques.

Une seconde catégorie, beaucoup plus fréquente, est liée aux remplissages sédimentaires récents (vallées alluviales notamment, zones péri-lacustres). Les ondes y subissent d'importantes réverbérations verticales entre la surface et le fond du remplissage, et les interférences qui en résultent produisent des phénomènes de résonance et d'amplification à certaines fréquences (correspondant à des longueurs d'onde comparables à l'épaisseur des sédiments), correspondant malheureusement très souvent aux fréquences propres des bâtiments (soit de 0.5 Hz pour les grandes tours de 30 étages à 10 Hz pour les maisons individuelles). Cet effet est à l'origine de la catastrophe qui a frappé Mexico en 1985 : les argiles lacustres sur lesquelles est fondée la ville ont provoqué des amplifications dépassant un facteur 10, sur la plage de fréquences des bâtiments de 8 à 20 étages, dont plusieurs centaines se sont effondrés.

Tous les séismes récents ont, souvent dramatiquement, rappelé l'existence et l'importance de tels effets, qui contrôlent partiellement (comme à Kobé en 1995) ou totalement (Mexico 1985) la répartition spatiale des dommages. En effet, pour de nombreuses raisons (facilités de transport et de construction, approvisionnement en eau, …), la plupart des grandes villes de par le monde sont établies sur de telles formations alluviales ou côtières. Un raccourci, brutal et sommaire mais parlant, consiste à établir un aprallèle entre amplification d'un facteur 10 et un augmentation de la magnitude de 2 degrés : ainsi, un séisme modéré de magnitude 5 (soit de la taille de celui d'Annecy) peut, sur un site très défavorable, être ressenti aussi violemment qu'un séisme de magnitude 7 (soit de la taille de celui de Kobé en 1995).

Les grands vallées alpines et l'exemple de Grenoble

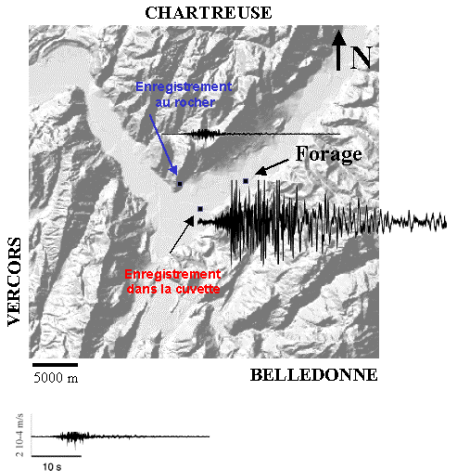
En Rhône-Alpes, on trouve un type de configuration très particulière dont la réponse sismique mérite une attention spéciale: il s'agit des grandes vallées alpines, témoins des grands glaciers qui ont raboté les Alpes jusqu'à il y a 25000 ans, époque de la dernière déglaciation. L'agglomération de Grenoble en constitue un exemple sur lequel a été récemment concentré un faisceau d'études, lancé grâce au soutien initial du Pôle Grenoblois sur les Risques Naturels (Conseil Général de l'Isère), sur lequel se sont greffés divers soutiens régionaux (Contrat de Plan Etat-Région), et nationaux (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, CNRS/INSU, Institut de protection et de Sûreté Nucléaire - IPSN). Tous ces concours ont ainsi permis l'installation de réseaux spécifiques, temporaires et permanents, la conduite des reconnaissances géophysiques détaillées, et leur calage par un forage profond, tout cela dans le but de mieux comprendre ces phénomènes, et *in fine les* prédire.

La cuvette en Y, remplie d'alluvions postglaciaires très épaisses (plusieurs centaines de mètres), y est confinée entre les massifs de Belledonne, Chartreuse et Vercors. Même si les sols qui constituent ce remplissage (argiles lacustres entremêlées dépôts sableux en profondeur, surmontés par des alluvions fluviatiles plus grossières, notamment en provenance du Drac), sont loin d'être aussi "mous" que ceux de Mexico, la très forte rigidité du massif encaissant conduit à des effets similaires : les ondes sismiques y subissent de multiples réverbérations entre les bords et le fond de la cuvette, ainsi transformée en gigantesque "caisse de résonance". Il en résulte de fortes amplifications en surface, ainsi qu'une prolongation importante.

Instrumentation sismologique

Même si on pouvait suspecter de tels effets à Grenoble, leur existence réelle, ainsi que leur importance quantitative, n'ont été reconnus que très récemment, grâce aux mesures directes effectuées à l'aide de réseaux de sismomètres. Après une première campagne instrumentale temporaire réalisée en 1995 (Lebrun, 1997), il a été jugé nécessaire d'équiper l'agglomération d'un sous-réseau local d'accéléromètres permanents, de façon à enregistrer les principaux événements locaux ou régionaux (le séisme du Grand-Bornand de 1994, bien ressenti dans l'agglomération, n'avait pu donner lieu à aucune analyse quantitative). Ce sous-réseau, intégré au réseau national RAP (Réseau Accélérométrique Permanent, http://www-rap2.obs.ujf-grenoble.fr) comporte actuellement 7 stations, dont deux "de référence" installées directement sur le rocher encaissant, et 5 dans la cuvette.

Tous les enregistrements ainsi acquis (en tout une cinquantaine d'événements, dont celui de Laffrey du 11/01/1999) ont ainsi révélé que les vibrations dans la cuvette sont ***systématiquement***, quelle que soit l'origine du séisme, ***10 à 20 fois plus intenses*** que sur les massifs avoisinants (Musée Dauphinois, Bastille), et ce sur une gamme de fréquences très large correspondant aux immeubles de plus de 4-5 étages (jusqu'à plus de 30 étages).



Exemple d'enregistrements sismiques obtenus lors du séisme de Laffrey du 11/01/1999 : on constate une énorme différence en amplitude et durée entre les mouvements à l'intérieur de la cuvette, et les mouvements sur le rocher (ic à la Bastille)

Des observations similaires ont été faites de manière à peu près simultanée dans d'autres grandes vallées alpines de Suisse (Valais) et d'Italie (Riva del Garda).

En outre, une nouvelle campagne temporaire a été menée au printemps 1999, avec un réseau très dense de type antenne destiné à l'analyse fine du champ d'ondes sismiques , notamment pour tenter de mettre en évidence les réverbérations à l'intérieur de la cuvette. Les résultats (Cornou, 2002) indiquent effectivement très clairement l'existence d'ondes piégées entre les bords du bassin, et leur importance quantitative puisqu'au total elles véhiculent quatre fois plus d'énergie que les ondes directes (en d'autres termes, cela signifie qu'une seule onde peut générer au moins une dizaine d'échos d'amplitude moyenne égale à 40 % de l'onde directe).

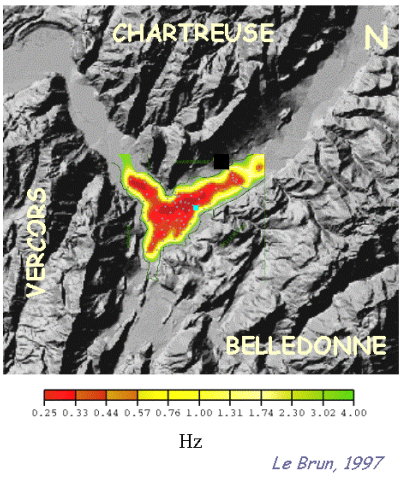
Reconnaissances géophysiques

La compréhension physique, et l'éventuelle prévision, de ces phénomènes d'amplification passent nécessairement par une bonne connaissance à la fois géométrique et mécanique de l'ensemble de la cuvette.

La première information importante concerne la géométrie du remplissage : une première cartographie de l'épaisseur des alluvions post-glaciaires a pu être entreprise par le biais de mesures gravimétriques très denses (Vallon, 1999). Elle révèle à la fois de très fortes épaisseurs (500 m dans le Grésivaudan, et jusqu'à 800 m sous Grenoble), et une topographie très irrégulière, assez éloignée des visions classiques des vallées glaciaires "en U" : ces très fortes variations latérales d'épaisseur contribuent énormément au piégeage des ondes sismiques.

Cette information assez globale a été confirmée, et surtout considérablement précisée ponctuellement par de la prospection sismique utilisant diverses techniques (explosif ou camion vibrateur Vibroseis, réflexion, réfraction, parfois à très haute résolution, Dietrich et al., 2001). Parmi toute une foule d'informations quantitatives précieuses, ils ont notamment conduit à une mesure précise des vitesses de propagation dans les sédiments et le substratum, mettant en évidence un très fort contraste mécanique (de l'ordre de 3) confirmant l'efficacité du piégeage. Toutes ces mesures ont été effectuées pour l'essentiel en dehors des zones urbanisées, et surtout dans le Grésivaudan, et il serait intéressant de pouvoir en réaliser de nouvelles, en particulier des profils Vibroseis, dans le centre ville et la zone de confluent Drac Isère.

D'autres méthodes de reconnaissances ont été mises en œuvre utilisant les propriétés du "bruit de fond sismique", ou microvibrations permanentes liées à l'agitation naturelle (vent, houle en Méditerranée ou Atlantique, …) ou anthropique (trafic, machineries industrielles, etc.). Leurs résultats sont moins précis que ceux de la prospection sismique, mais la facilité de leur mise en œuvre permet d'obtenir assez aisément une information quantitative spatialisée sur l'épaisseur et les caractéristiques mécaniques des sédiments. A titre d'exemple, la figure 2 montre une carte de la fréquence fondamentale de résonance dans la cuvette, élaborée à partir d'enregistrements de bruit de fond en une centaine de points : elle est très étroitement reliée à l'épaisseur de la couverture alluviale : plus cette dernière est épaisse, plus la fréquence fondamentale est basse.

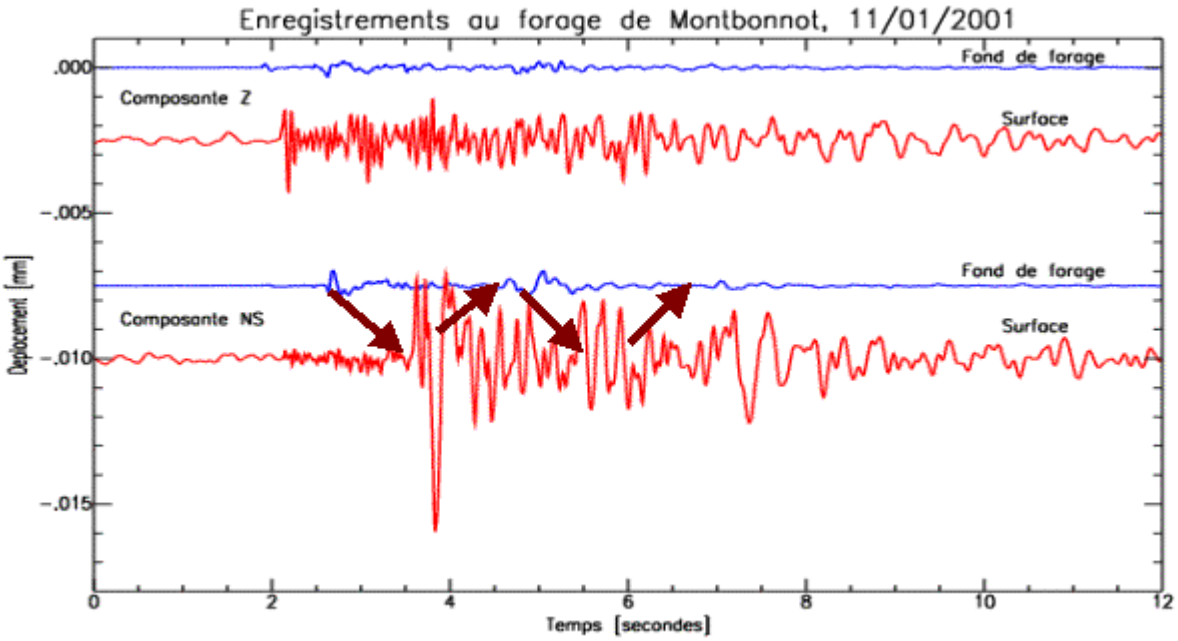


Fréquences de résonnance du bassin mesurées à partir du bruit de fond sismique (vibrations ambiantes). Plus la profondeur est importante, plus la fréquence est basse, en bon accord avec les cartes d'isoépaisseur déduites des mesures gravimétriques (d'après Lebrun, 1997).

Forage profond

Toutes les mesures précédentes comportent une certaine ambiguïté (masse volumique / épaisseur pour la gravimétrie, vitesses sismiques / épaisseur pour la sismique). Un forage profond a donc été décidé pour les caler en un site particulier. Le forage de Montbonnot, réalisé à l'automne 1999 sous la direction de l'IPSN, a atteint le substratum à 534 m de profondeur, et un ensemble d'observations directes (cuttings, carotte notamment) et indirectes (diagraphies diverses en forage) ont ainsi permis de bien contraindre les autres mesures géophysiques, de montrer le caractère satisfaisant des ordres de grandeur qu'elles indiquent, et d'accéder à d'autres paramètres plus fins comme le coefficient d'amortissement.

Ce forage est maintenant équipé de deux capteurs accélérométriques, l'un à 550 m de profondeur et l'autre en surface : les premiers enregistrements obtenus permettent de bien imager les effets d'amplification de d'échos entre la surface et la profondeur, mais aussi la forte complexité des signaux en surface par rapport à ceux obtenus en profondeur.



Exemple d'enregistrements obtenus au forage de Montbonnot lors d'un petit séisme local (magnitude autour de 1) survenu près de Domène. Les traces en bleu représentent les mouvements en fond de forage, celles en rouge à la surface. Les différences d'amplitude et de durée sont frappantes. On distingue de plus clairement, en fond de forage, des arrivées tardives, qui sont des « échos » du signal direct après réverbération et piégeage dans les formations superficielles

Modélisation numérique

La connaissance de la structure géologique a permis la réalisation de simulations numériques (encore préliminaires) anticipant sur les effets d'un séisme de taille comparable à celui de Corrençon (1962), mais situé beaucoup plus près de l'agglomération (à l'est ou au sud, voire juste dessous). Ces simulations confirment de façon évidente l'extrême importance des phénomènes de diffraction et de réverbération, ainsi que leur contrôle très étroit par la géométrie tridimensionnelle de la cuvette. D'autres estimations peuvent être obtenues en extrapolant les informations obtenues sur la base d'enregistrements de petits séismes situés au front de Belledonne ou à Laffrey. Ces deux approches conduisent à des estimations d'accélération maximale dans la cuvette pouvant atteindre 0.3 g (niveau réglementaire actuel pour la zone Ib: 0.15 g), et à des niveaux spectraux notablement supérieurs aux niveaux réglementaires, surtout pour les bâtiments de plus de 6-7 étages.

Mais ces simulations restent encore limitées au domaine basse fréquence (en dessous de 1 à 2 Hz), et au domaine élastique: ces limitations perdureront sans doute pendant encore longtemps, non pas tant à cause des limitations numériques, que de l'incapacité actuelle à renseigner quantitativement de tels modèles avec la précision et la densité spatiale nécessaires. L'exemple de Grenoble montre en effet que le coût des techniques actuelles de reconnaissance est hors de

proportion avec les enjeux, ou en tout cas est perçu comme tel dans notre contexte de sismicité modérée. Un tel programme de reconnaissances ne peut donc s'envisager que dans le cadre d'une étude pilote

Questions en suspens

L'exemple de Grenoble montre comment des mesures, réalisées au départ plutôt dans une optique recherche, ont débouché sur une prise de conscience d'un risque sensiblement plus élevé que l'on ne s'y attendait. Des efforts importants ont dû être consentis, dans un premier temps pour vérifier, comprendre et valider ces mesures, et commencer, dans un second temps, à analyser leurs conséquences en terme de risque. Tout indique que les mesures initiales étaient valides et représentatives. Des questions importantes sont donc posées: les valeurs de dimensionnement imposées dans les normes de construction parasismique, tant pour les bâtiments courants à risque "normal" que pour les installations industrielles à risque "spécial" (nombreuses dans l'agglomération), doivent-elles être révisées à la hausse ? Les bâtiments existants, et notamment les plus "stratégiques" d'entre eux, qui ont été conçus avant la mise en application de la réglementation parasismique, ont-ils des réserves suffisantes pour résister à un séisme même modéré ?

Pour y répondre en toute connaissance de cause, il reste des points importants à éclaircir, à commencer par celui concernant la non-linéarité du sol. La représentativité des données instrumentales acquises à ce jour suscite encore des débats vifs voire passionnés sur la possibilité ou non de les extrapoler à de forts séismes. Selon bon nombre de géotechniciens en effet, le comportement du sol est considérablement modifié sous forte sollicitation : comme tout système mécanique trop sollicité, le sol se dégrade, dissipe beaucoup d'énergie, et il résulte de cette non-linéarité une réduction significative des amplifications… Or les facteurs 10 à 20 mesurés correspondent à des séismes faibles à modérés (le plus fort était celui de Laffrey, dont les sollicitations sont restées 15 fois inférieures aux niveaux réglementaires). En attendant (peut-être longtemps ?) des enregistrements correspondant à des séismes sensiblement plus forts, qui couperaient court à toutes les controverses, diverses études ont été engagées pour y apporter des réponses indirectes (prélèvements et essais en laboratoire notamment).

En aval, pour tout ce qui concerne la vulnérabilité réelle des structures, on est à l'heure actuelle assez démuni, ne serait-ce que pour identifier rapidement les plus faibles et vulnérables d'entre elles. En serait-on capable, que l'on se heurterait alors au coût élevé (souvent prohibitif pour les propriétaires) des remises à niveau complètes, et au vide réglementaire pour des mises à niveau partielles, moins onéreuses, sans oublier les aspects psychologiques et sociologiques liés aux réactions légitimes des personnes apprenant qu'elles habitent ou travaillent dans une structure reconnue comme vulnérable ?La tâche est donc techniquement difficile, politiquement délicate, et elle prendra certainement longtemps : Sans doute faudra-t-il commencer les études par quelques bâtiments publics "exemplaires" et représentatifs.

Conclusions

Les séismes de Mexico, de Kobé, de Bhuj, ont régulièrement rappelé l'importance des effets de site ; ceux de d'Agadir (1959), San Salvador (1986), d'Italie centrale (1997), d'Athènes (1999) nous ont aussi montré à quel point des séismes modérés (magnitude inférieure à 6) survenant en zone urbaine peuvent engendrer des dommages très importants. La situation en Rhône-Alpes n'a certes rien à voir avec le Japon, la Turquie ou la Californie ; mais il n'en demeure pas moins que si un séisme comme celui de Corrençon ou de Chamonix survenait demain à proximité immédiate d'une des grandes agglomérations alpines, il y a fort à parier qu'il causerait des dommages très significatifs, allant bien au-delà des chutes de cheminées.

La réglementation actuelle ne semble pas du tout adaptée au contexte très particulier des vallées alpines. L'arsenal de prévention en France possède un outil qui permettrait, malgré toutes les limitations des connaissances, d'améliorer sensiblement la situation actuelle : le PPRs (Plan de Prévention des Risques). Il se heurte cependant, dans toutes les grandes agglomérations, à de très fortes réticences liées aux incidences supposées sur le foncier d'une cartographie trop fine de l'exposition. Il est donc aussi nécessaire d'entamer au plus vite des études d'ordre sociologique pour

déterminer si ces craintes sont fondées, ou si finalement, comme souvent, la population n'est pas beaucoup plus responsable et adulte que ses représentants ne le supposent.

Références

Cornou, C., 2002 : Traitement d'antenne et imagerie sismique dans l'agglomération grenobloise : implications pour le risque sismique, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble-I.

Cotton, F., Bard P.-Y., Berge C., Hatzfeld D., 1999, *Qu'est-ce qui fait vibrer Grenoble ?*, La Recherche, **320**, 39-41.

Dietrich, M., G. Ménard, F. Lemeille, C. Cornou, C. Bordes et P.-Y. Bard, 2001. Exploration géophysique pour l'évaluation des effets de site : profils sismiques Vibroseis et mesures en puits dans la vallée de l'Isère près de Grenoble, *Actes de la Journée commune AFPS/CFGI "Géologie et risque sismique",* Paris, 22/11/2001

Dietrich, M., R. Guiguet, V. Chaffard, 1998. Imagerie sismique des remplissages alluviaux dans la région de Grenoble, Rapport d'étude LGIT.

Lebrun, B., 1997 : Les effets de site : étude expérimentale et simulation de trois configurations. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble-I, 208 pages.

Mohammadioun, B., 2000. Evaluation probabiliste de l'aléa sismique en France, Journée technique AFPS du 20/09/2000.

Vallon, M., 1999, Estimation de l'épaisseur d'alluvions et sédiments dans la région grenobloise par inversion des anomalies gravimétriques, IPSN, Saint-Martin d'Hères, 34p.

Vallon, M., Bonnaffé, F., Janson, X., Mieulet, M.C., Reynaud L. & Téssais, E., 1996, Carte des isopaches du remplissage quaternaire de la cuvette grenobloise déduite des anomalies gravimétriques: Rapport interne du Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement, Grenoble.

Jacky Mazars, professeur à l'INPG, responsable de la plate-forme de recherche RNVO : Risques Naturels et Vulnérabilité des Ouvrages
Risques Infos n°13 - Juin 2002

Vulnérabilité sismique des constructions
Les produits de la recherche un atout pour avancer

Réponse d'une structure à une sollicitation sismique

Les mouvements de la croûte terrestre génèrent des ruptures en son sein ayant pour conséquence la mise en vibration du sol. Après avoir parcouru la distance nécessaire depuis le foyer du séisme, au cours de laquelle il y a eu atténuation et transformation des signaux transmis, ceux-ci génèrent des ondes de surface qui mettent en vibration les constructions se trouvant dans l'environnement proche de l 'épicentre (quelques dizaines de km).

Une construction est composée d'une ossature porteuse, la structure, et d'équipements secondaires permettant d'en assurer les fonctions principales (couverture, fermeture, séparations, circulations, matériels techniques divers,…). Ainsi la structure reliée au sol par les fondations doit assurer la stabilité sous l'effet de la gravité (les masses résultant de l'ensemble des équipements sont supportées par la structure), les effets associés au climat (vent, neige, variations de température) et en zone sismique les tremblements de terre.

Selon les grands principes de la mécanique, lorsqu'une structure est sollicitée par une action dynamique, tel l'effet des ondes sismiques, sa réaction fait intervenir :

- La distribution des masses au sein de la structure. De ce point de vue l'effet des masses en hauteur est plus difficile à maîtriser que celui des même masses en partie basse (cf. photo1-a, l'exemple d'un pont ruiné par ce phénomène à Kobé –17/01/95).
- La rigidité locale et globale de la structure, influence imagée dans la fable de La Fontaine « Le chêne et le roseau ».
- La possibilité de dissiper de l'énergie, par frottements et interactions entre différents éléments de la structure ou entre le sol et la structure (des appareils spéciaux peuvent être disposer pour jouer ce rôle)

Photo A : la ruine d'un pont lors du séisme de Kobé par effet de pendule inversé

Photo B : un essai de structure à mur en béton sur la table sismique Azalée du CEA Saclay

Un certain nombre de règles doivent présider à la conception des structures parasismiques :

- Conditionner des zones fusibles. Les matériaux ne pouvant résister sans dommage aux sollicitations importantes auxquels ils sont soumis, la disposition de zones susceptibles de s'assouplir sans compromettre la stabilité d'ensemble s'avère très efficace pour éviter une ruine incontrôlée.
- Assurer le respect des volumes. Dans un bâtiment par exemple, une ruine de poteaux peu générer l'écrasement de tout un étage dont on imagine les conséquences pour les personnes et les biens qui s'y trouvent.
- Dans le cas de constructions de type industriel, contenir les phénomènes potentiellement dangereux (échappement de fluides, de gaz, de rayonnements,…).

Les apports récents de la recherche en matière d'analyse de vulnérabilité

Les structures n'ont pas toutes été conçues parasismiques, hors des zones sismiques c'est inutile, et au sein des zones sismiques la conjonction de l'état des connaissances sur le sujet au moment de la conception, de l'imposition plus ou moins avérée des règles parasismiques (selon le type et la date de construction) en sont les principales raisons. En France des avancées notables ont été réalisées notamment associées au développement des programmes nucléaires et autres grands projets (récemment les ouvrages TGV sud-est) et à la contribution d'experts et scientifiques dans le cadre de l'AFPS (Association Française de génie ParaSismique) ou de programmes de recherche nationaux ou européens.

Ainsi la majorité du parc des constructions n'a pas été construit en utilisant les règles parasismiques, ce qui ne veut pas dire que ces constructions ne sont pas en mesure de résister aux séismes. L'analyse de leur vulnérabilité est un souci très actuel, elle permet d'estimer un niveau de résistance et peut conduire à des décisions relative à leur confortement pour faire face à des niveaux de sécurité supérieurs.

Dans ce sens citons l'exemple de travaux dont j'ai assuré la responsabilité scientifique, conduits ces dernières années vis à vis de la vulnérabilité de structures à murs porteurs en béton, très répandues en France. La photo 1-b montre un essai d'une maquette échelle 1/3 réalisé sur la table sismique du CEA à Saclay.

Ce matériel tout à fait exceptionnel (le plus performant en Europe) permet d'imprégner à une structure un véritable séisme et d'en analyser les effets. En parallèle sont conduites des simulations numériques de très haut niveau (intégrant tous les aspects cités plus haut) capables de décrire les phénomènes de ruine locaux et globaux. Ci-joint (figure 1) le résultat de la prévision de ruine qui s'est avérée très réaliste (fissuration du béton et rupture locale des armatures).

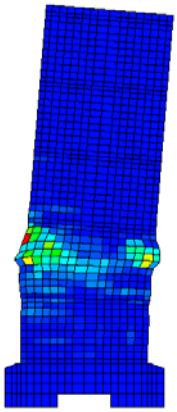


figure 1

De ces travaux il résulte que les structures à murs en béton apparaissent de bonne qualité parasismique, à la condition que les dispositions constructives, notamment dans l'association des murs et des planchers, dans la régularité de la structure et dans la disposition de murs dans deux directions orthogonales (contreventement), soient bien respectées.

Ces résultats permettent de faire avancer la réglementation parasismique nationale et européenne et les outils numériques mis au point deviennent disponibles pour réaliser des analyses sur d'autres types de structures. C'est ainsi que des travaux sont en cours ou en projet sur des installations telles l'ILL à Grenoble, des barrages en France et en Suisse ou des monuments historiques en Italie.

Mais tout ne se règle pas aussi simplement, l'estimation de la vulnérabilité à grande échelle (celle d'un quartier, d'une ville, d'une région) nécessite la mise au point de stratégie dont les développements

sont en cours. L'Italie a bien avancé sur ce sujet, mais la France n'est pas en reste, un groupe « vulnérabilité du bâti existant » a été constitué à cet effet sous l'égide de l'Association Française de génie ParaSismique. Par ailleurs il faut citer la mise en place à Grenoble d'une plate-forme de recherche associant plusieurs laboratoires de L'INPG de l'UJF, le Cemagref et le LCPC, sur le thème « Risques Naturels et Vulnérabilité des Ouvrages » (RNVO) au sein de laquelle le risque sismique a sa place.

Les années qui viennent devraient donc permettre d'avancer vers de nouvelles propositions pour prendre en compte ce problème qui n'est pas mineur au sein de celui plus général de la prévention des risques.

Liliane Besson, chef de la Mission Inter-services des Risques Naturels de l'Isère
Risques Infos n°13 - Juin 2002

LE RISQUE SISMIQUE : ASPECT REGLEMENTAIRE

(d'après la revue : Réglementation parasismique / Guide d'information – Novembre 1997 – Ministère de l'Equipement des transports et du logement (Direction de l'Habitat et de la construction)

L'objectif principal de la réglementation parasismique est la sauvegarde d'un maximum de vies humaines pour une secousse dont le niveau d'agression est fixé pour chaque zone de sismicité. La construction peut alors subir des dommages irréparables mais elle ne doit pas s'effondrer sur ses occupants.

En cas de secousse plus modérée, l'application des dispositions définies dans les règles parasismiques doit aussi permettre de **limiter les destructions** et, ainsi, les pertes économiques.

Réglementation générale

Le zonage sismique

Un préalable à la prise en compte du risque sismique est la cartographie. Une carte du «zonage sismique de la France», en vue de l'application d'un code de construction, a été réalisée par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) en 1960 et actualisée en 1982. En 1985, cette carte est devenue officielle. Ce zonage a été élaboré sur la base de 7 600 séismes historiques et instrumentaux.

Le nouveau «zonage sismique de la France», publié par le ministère de l'Environnement - Délégation aux risques majeurs, est édité par la Documentation française.

Ce zonage repose sur la définition d'un nombre limité de classes de sismicité, auxquelles on fait correspondre différentes valeurs nominales des actions sismiques.

La carte obtenue n'est pas une carte du «risque encouru», mais une carte représentative de la façon dont la puissance publique prend en compte l'aléa sismique pour prescrire des règles en matière de construction. Le territoire métropolitain est divisé en quatre zones : 0, Ia, Ib et II. La zone III ne concerne que les Antilles.

Les quatre zones (0, Ia, Ib et II) sont représentées dans les Alpes françaises.

Pour des raisons d'échelles et de signification de la précision des données à l'origine du zonage, le canton est l'unité administrative dont la taille a paru la mieux adaptée.

Dans la définition des zones, outre la notion d'intensité, entre une notion de fréquence.

- La **zone zéro** est caractérisée par une sismicité non nulle mais négligeable. En zone zéro, les règles parasismiques ne sont donc pas obligatoires.

- La **zone I** est caractérisée par une sismicité faible à très faible. Elle n'a pas connu de séisme d'intensité maximale supérieure ou égale à IX (anciennement échelle MSK). Le temps de retour des séismes d'intensité VIII est supérieur à 200-250 ans. Le temps de retour des séismes d'intensité VII est supérieur à 75 ans.
La zone I est divisée en deux sous-zones Ia et Ib.

- La ***zone Ia*** est définie comme une partie de la province sismotectonique I dans laquelle il n'y a pas de séismes connus d'intensité supérieure ou égale à VIII, et où les déformations pliocène-quaternaires sont faibles. Il s'agit d'une zone de transition avec la zone zéro.
- La ***zone Ib*** représente le reste de la province sismotectonique I.

- La **zone II** est caractérisée par une sismicité moyenne. Elle a connu des séismes d'intensité maximale supérieure ou égale à IX, ou un temps de retour des séismes d'intensité VIII inférieur ou égal à 200-250 ans, et un temps de retour des séismes d'intensité VII inférieur ou égal à 75 ans.

- La **zone III** est caractérisée par une forte sismicité. Elle est réservée aux Antilles où le contexte sismotectonique est différent de celui de la France métropolitaine.

Zones de sismicité	Définitions
0	Sismicité négligeable
Ia	Très faible sismicité, mais non négligeable
Ib	Faible sismicité
II	Sismicité moyenne
III	Forte sismicité

Zones sismiques et classe des bâtiments
(d'après Madariaga et Perrier, 1991)

Le cadre réglementaire

La réglementation parasismique actuelle émane de la loi du 22 juillet 1987, relative notamment à la prévention des risques majeurs. Cette disposition est importante, car elle crée une assise législative dans un domaine qui ne comportait jusqu'alors que des textes administratifs.
Dans les zones exposées à un risque sismique, l'intensité du risque et les catégories de constructions nouvelles soumises à des règles parasismiques sont définies par le décret 91-461 du 14 mai 1991. Ce dernier rend donc officiel le zonage sismique de la France mis à jour par le BRGM en 1985.

Pour la prise en compte du risque sismique, les bâtiments et les équipements sont répartis en deux catégories dites à «risque normal» et à «risque spécial».

La catégorie dite à «risque normal» comprend les bâtiments, équipements et installations pour lesquels les conséquences d'un séisme demeurent circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiat.
Elle comprend quatre classes :
A : faible activité humaine
B : habitation individuelle ou collective, bureaux, ERP
C : immeuble de grande hauteur (IGH)
D : bâtiment dont la protection est primordiale pour les besoins de la protection civile, de l'ordre public et de la défense

La catégorie dite à «risque spécial» comprend les bâtiments, installations et équipements (barrages, centrales nucléaires, usines chimiques « Seveso », …) concernés par les conséquences d'un séisme qui ne peuvent être circonscrites au voisinage immédiat (risques induits).

L'arrêté du 29 mai 1997 étend la réglementation parasismique à certains **bâtiments existants** quand ils font l'objet de travaux importants. De plus, il rend obligatoire l'application des règles générales PS 92 (PS : ParaSismique) et autorise le recours aux règles simplifiées PS-MI 89/92 (ParaSismique Maison Individuelle) pour certains bâtiments (dont les maisons individuelles).

L'arrêté du 10 mai 1993 pris par la ministre en charge de l'Environnement, fixe les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées (bâtiments et installations dits à "risque spécial"). Cet arrêté définit dans un premier temps une méthode d'évaluation de l'aléa sismique à prendre en compte. Il fixe ensuite les objectifs en matière de sécurité que les dispositifs de protection doivent respecter sur les sites.

Le décret n°2000-892 du 13 septembre 2000 modifie :

- Le décret du 14 mai 1991
  - Les dispositions définies par ce décret s'appliquent aux bâtiments nouveaux mais aussi aux additions aux bâtiments existants par juxtaposition, surélévation ou création de surfaces nouvelles aussi qu'aux modifications importantes des structures des bâtiments existants.
  - Lorsqu'un Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles (PPR) prend en compte un risque sismique, il peut fixer des règles de construction plus sévères que les règles définies en application des articles (5 et 7) du décret, en ce qui concerne notamment la nature et les caractéristiques des bâtiments …, les mesures techniques préventives ainsi que les valeurs caractérisant les actions de séismes à prendre en compte.

- Le code de la construction, en créant un article R. 112-1 :

La nature et les caractéristiques de bâtiments doivent respecter les dispositions du décret du 14 mai 1991 modifié, sans préjudice de l'application de règles plus sévères édictées par un PPR.
La circulaire UHC/OC/21 du 31 octobre 2000 rappelle que, dans les zones de risque sismique définies par le décret ci-dessus, les maîtres d'ouvrage et les gestionnaires de bâtiments sont responsables des dispositions et précautions prises pour respecter les règles de construction, d'aménagement et d'exploitation qui s'imposent aux bâtiments en raison de leur nature et de leur destination.

Rôle des pouvoirs publics et politique parasismique

Les services déconcentrés de l'Etat et les services des collectivités territoriales doivent veiller à ce que les lois et règlements en vigueur soient bien appliqués. Ils ont donc un rôle essentiel pour :
- diffuser une information sur la réglementation,
- développer une politique de prévention,
- s'assurer que la réglementation est respectée, en particulier grâce à des contrôles.

Mais la mise en œuvre du contrôle parasismique est complexe, principalement pour deux raisons :
- le contrôle a priori (plans et notes de calcul) lors de l'instruction du permis de construire n'est pas envisageable actuellement. L'Administration peut cependant favoriser le contrôle technique des bâtiments;
- le contrôle sur chantier impose de nombreuses visites pendant les phases cruciales des travaux.

Aujourd'hui, l'Administration mène en priorité des actions de prévention auprès des acteurs de la construction :
- les pétitionnaires de permis de construire,
- les professionnels du bâtiment (maîtres d'ouvrage et promoteurs, architectes et bureaux d'études, entrepreneurs et artisans),
- les maires des communes concernées par le risque sismique.

Le maire est responsable de la police municipale. L'article L. 131-2, 5° du code général des collectivités territoriales précise :
«*La police municipale a pour objet d'assurer le bon ordre, la sûreté et la salubrité publiques. Elle comprend notamment : […] 5° Le soin de prévenir, par des précautions convenables, et de faire cesser, par la distribution des secours nécessaires, les accidents et les fléaux calamiteux ainsi que les pollutions de toute nature, tels que les incendies, les inondations, les ruptures de digues, les éboulements de terre ou de rochers, les avalanches ou autres accidents naturels, les maladies épidémiques ou contagieuses, les épizooties, de pourvoir d'urgence à toutes les mesures d'assistance et de secours et, s'il y a lieu, de provoquer l'intervention de l'administration supérieure*.»

Cette préoccupation peut être traduite dans le Plan Local d'Urbanisme (PLU) (anciennement Plan d'Occupation des Sols, POS), élaboré sur l'initiative de la commune, ou dans un plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), élaboré sur l'initiative de l'Etat. Une circulaire du 20 juin 1988 relative aux risques naturels et au droit des sols rappelle :
«*L'Etat et les communes ont des responsabilités respectives en matière de prévention des risques naturels.*
***L'Etat** doit afficher les risques en déterminant leurs localisations et leurs caractéristiques et en veillant à ce que les divers intervenants les prennent en compte dans leurs actions …*
***Les communes** ont le devoir de prendre en considération l'existence des risques naturels sur leur territoire, notamment lors de l'élaboration de documents d'urbanisme et de l'examen des demandes d'autorisation d'occupation ou d'utilisation des sols.»*
Un affichage des risques naturels est obligatoire dans les communes concernées (décret n°90-918 du 11 octobre 1990 relatif à l'exercice du droit à l'information sur les risques majeurs).

En matière parasismique le seul contrôle actuellement envisageable est préventif. Corriger les erreurs de conception et d'exécution après coup est souvent difficile, coûteux et peu sûr vis-à-vis du risque sismique.

Les professionnels de la construction

Les enjeux économiques d'un séisme peuvent être considérables. On peut les minimiser en sensibilisant tous les intervenants dans la réalisation d'une construction.

- ***L'architecte*** doit intégrer la préoccupation parasismique dans son travail de conception. Il ne s'agit pas seulement de la structure du bâtiment (régularité…), mais aussi de tous les éléments qui influent sur le bâtiment lors d'un séisme : le site, le programme architectural, l'implantation du bâtiment, les équipements, les constructions existantes…

- ***Le bureau d'études et l'ingénieur conseil***
  La prise en compte des règles parasismiques nécessite généralement le recours à un bureau d'études ou à un ingénieur conseil en génie parasismique. La construction parasismique implique une étroite collaboration entre le concepteur du projet, l'architecte et l'ingénieur dès les premiers stades d'élaboration.

- ***L'entrepreneur et l'artisan***
  Il faut souligner l'importance d'une exécution soignée des travaux. Une construction conçue de manière parasismique mais dont l'exécution aura été défectueuse risquera de connaître des désordres graves lors d'un séisme. Tandis qu'une construction conçue et réalisée selon les règles de l'art, même sans précautions parasismiques, a de grande chance de résister aux sollicitations de la plupart des séismes.

En conclusion, une conception adaptée et une bonne exécution sont les atouts majeurs de la protection parasismique mais protègent aussi contre d'autres désordres tels que les fissures dues aux tassements différentiels des sols.

Zonage de la France

Le zonage officiel en vigueur en France depuis 1991 date du début des années 1980. Il repose, pour l'essentiel, sur une analyse de la sismicité historique connue, et les zones réputées les plus sismiques (hors Antilles) sont très étroitement liées à l'occurrence de séismes historiques forts (Bâle 1356, Catalogne 1428, Pays Niçois 1564, Provence 1509, 1708 et 1909, Bagnères 1660, …).

Ce zonage va être modifié dans un avenir proche (d'ici 2004 en principe): les connaissances évoluent et il est donc normal de le mettre à jour assez régulièrement. Mais en outre, la réglementation technique qui y est associée (actuellement les "PS92 », ou norme **NFP 06013**) va être profondément modifiée dans les années avec l'arrivée de "l'Eurocode 8", résultant d'un effort d'harmonisation des réglementations parasismiques, actuellement nationales, au niveau européen. Cette nouvelle réglementation fait appel à une description "probabiliste" de l'aléa sismique, où doit être prise en compte non seulement la taille des événements maximaux connus, mais la fréquence des événements et leur répartition magnitude. La pratique commune admet que l'événement dimensionnant pour le bâti courant correspond à une période de retour de 500 ans environ (475 ans très précisément, soit une probabilité de dépassement de 10% pour une bâtiment dont la durée de vie est estimée est de 50 ans).

Divers résultats préliminaires avec cette approche probabiliste (groupe EPAS de l'AFPS notamment) laissent prévoir une modification assez significative tant de la répartition géographique des zones sismiques, que des niveaux de sollicitation qui y seront associés. En particulier, la zone nord-alpine y apparaît maintenant comme une des zones les plus exposées de France métropolitaine, en raison notamment du niveau soutenu de son activité sismique sur les dernières décennies.

Guy BESACIER, Ingénieur Conseil Indépendant, 11 rue de Cambrai 75019 PARIS (mel : atolling@club-internet.fr)
Risques Infos n°13 - **Juin 2002**

La prise en compte du risque sismique dans les constructions

Le risque sismique est lié à l'aléa sismique et à la vulnérabilité de la construction, raison pour laquelle une **démarche globale de conception parasismique** dans la construction doit être mise en place. Elle doit s'appuyer sur trois points :

- **respect de la réglementation parasismique**
- **conception architecturale parasismique**
- **mise en œuvre soignée**.

L'action sismique subie par une structure est directement proportionnelle à l'accélération qui lui est imposée et à sa masse.

La masse peut être réduite en utilisant un matériau ayant non seulement une masse volumique faible mais ce qui est plus performant : un matériau possédant une contrainte spécifique élevée (rapport entre la contrainte de rupture et la masse volumique). Le bois arrive en tête devant l'acier et le béton armé.

La limitation de l'accélération peut se faire par une démarche réfléchie en commençant par éviter le risque de résonance avec le sol et d'une manière générale en appliquant les trois principes de base de conception suivante :

- la recherche à maximiser la capacité des constructions à stocker l'énergie.
- la recherche à favoriser la capacité des constructions à dissiper de l'énergie.
- la recherche à favoriser la résistance mécanique.

On peut également utiliser des appuis parasismiques appelés isolateurs.

La réglementation parasismique

L'application **des règles parasismiques** actuelles "Règles PS92" concerne le calcul des charges sismiques et les dispositions constructives.

Leur application est obligatoire pour toutes les constructions abritant des personnes, situées dans toutes les zones sauf 0.

C'est en général l'ingénieur du bureau d'études qui est chargé d'appliquer ces règles et de dimensionner les éléments en béton armé, acier, bois ou bien mixtes.
Il existe néanmoins les règles propres aux constructions parasismiques des maisons individuelles dites" PS-MI 89 révisées 92" qui permettent aux architectes de s'affranchir d'un bureau d'étude pour ce type d'ouvrage. Leur application est facultative et concerne un domaine assez restreint.

La philosophie des règles consiste à préserver les vies humaines ; avant tout, l'objectif est de prévenir les risques d'effondrement des planchers.

Les règles admettent éventuellement des dommages structuraux dans des éléments tels que les poutres mais surtout pas au niveau des poteaux sous peine d'effondrement.

Photo 1 : Rupture fragile des poteaux

Le calcul de la résistance aux séismes d'une structure ne la protège pas contre les grands mouvements de sol (effets induits par la secousse) qu'il convient d'éviter :

- liquéfaction du sol
- glissements de terrains
- éboulement
- effondrement
- jeu de faille

L'étude de reconnaissance géotechnique du sol permet d'éviter les risques liés aux mouvements des fondations sous charge sismiques notamment :

- les tassements
- la dislocation
- le glissement

La conception architecturale parasismique

La conception architecturale parasismique n'est pas obligatoire mais son rôle est fondamental dans la résistance des constructions aux séismes. Elle comprend trois volets : **le parti architectural, le parti constructif et le contreventement.**

Le parti architectural

La **forme des bâtiments** est l'élément le plus important car elle peut éviter des désordres graves voir la ruine totale de l'ouvrage même si les règles PS 92 ont été respectées.

La **forme devrait être aussi simple, symétrique et régulière que possible** pour éviter des contraintes dues à la torsion d'ensemble dévastatrices qui reste bien souvent un facteur majeur de ruine.
Il est souhaitable que les variations de rigidité soient progressives en plan et en élévation.

Il est préférable de **fractionner les bâtiments à forme complexe par des joints parasismiques** suffisamment larges afin d'éviter des collisions entre blocs voisins.

Les **bâtiments en forme de L entraîne** d**es concentrations de contraintes locales** dans les angles qui peuvent être très néfastes.
Le **principe de non-résonance entre le bâtiment et le sol** pour éviter l'amplification de l'accélération impose que la période propre de vibration du bâtiment doit être différente de celle du sol, il est donc préférable de construire une structure souple sur un sol dur et inversement une structure rigide sur un sol mou (sauf en cas d'utilisation d'isolateurs).
Par exemple une tour flexible de plusieurs dizaines d'étages convient très bien sur un sol rocheux.

Photo 2 : maçonnerie courbe vulnérable et tour en voile béton armé faisant coque résistante

La position du centre de gravité devrait être la plus basse possible avec **une distribution uniforme des masses**.

Les éléments d'architecture doivent s'adapter à des dispositions particulières notamment en règle générale il est déconseillé :

- la présence de poteaux courts vulnérables aux charges sismiques (ex : rupture par des allèges rigides)
- des angles vifs aux changements de direction et intersection d'éléments porteurs.
- les variation brusques des sections
- les percements trop importants dans les murs porteurs.

Il est préférable de créer des escaliers portés par des voiles ou à structure indépendante de l'ossature.
Les mezzanines pourront être aussi traitées par une structure légère et aussi indépendante.
Les baies d'ouvertures dans les façades seront plus favorables si elles sont superposées et de dimensions modérées.

Ces éléments d'architecture peuvent revêtir une importance primordiale dans le comportement dynamique de la structure s'ils sont mal positionnés ou mal dimensionnés.

Dans le même esprit, il ne faut pas négliger la fixation des éléments de façade ainsi que la résistance des cheminées comme cela a été le cas à Annecy où beaucoup se sont effondrées.

Le parti constructif

Il concerne le choix du système porteur et de sa disposition ; un choix judicieux va permettre de minimiser les coûts de la protection parasismique qui pour un ouvrage neuf ne devrait pas excéder 5% du prix du gros œuvre.

L'efficacité du comportement parasismique est directement liée à la nature du système porteur : les structures métalliques conviennent bien en toute zone, de même les ossatures en bois et celles en béton armé de type voile.
Par contre certains systèmes tels que les maçonneries non chaînées ou non armées sont à proscrire, les portiques en béton armé avec murs de remplissage en maçonnerie ont quant à eux un comportement médiocre.

Photo 3 : angle vulnérable sans chaînage horizontal et vertical

L'architecte devrait veiller à **assurer une bonne continuité mécanique** aussi bien verticalement grâce à une descente de charges en alignant les poteaux pour éviter l'effet baïonnette qui cisaille les poutres, qu'horizontalement en ancrant les planchers correctement dans les murs.

De même il devra **favoriser la symétrie en plan et en élévation ainsi qu'une homogénéité dans les systèmes porteurs et les matériaux**.

Un principe de base à respecter est de **stocker et de dissiper de l'énergie** en **cherchant la redondance structurale** c'est à dire un degré d'hyperstaticité maximal. La poutre sur deux appuis simples est à proscrire, il vaut mieux multiplier les appuis et les assemblages de type encastrement.
Une autre façon de dissiper l'énergie d'oscillation est de **favoriser la ductilité** aussi bien au niveau des matériaux qu'au niveau de la structure.

La solution "poteau fort - poutre faible" permet cette démarche.

Il est nécessaire aussi de se préoccuper dans les terrains en pente ou pour un soubassement de résoudre l'effet "poteaux courts" qui risqueraient d'être cisaillés et entraîneront l'effondrement.

Le système qui permet la meilleure sauvegarde des personnes pour un rez-de-chaussée avec un étage maximum est la construction en murs porteurs à ossature bois avec une couverture légère. Il peut résister aux secousses très violentes sans dommages graves.

Le choix du contreventement

Le contreventement permet d'assurer une stabilité horizontale et verticale de la structure lors des secousses qui, rappelons-le, ont des composantes dans les trois directions.

Le rôle du contreventement horizontal est de transmettre les actions latérales aux éléments verticaux appelées palées de stabilité.

Pour assurer le contreventement horizontal, les planchers et toitures faisant office de diaphragme rigide ne devraient pas être affaiblis par des percements trop grands ou mal placés pouvant nuire à leur résistance et leur rigidité. Les diaphragmes flexibles devraient être évités pour combattre le déversement des murs notamment en maçonnerie.

Le contreventement vertical par palées devrait répondre à des critères spécifiques tels que :

- leur nombre : au moins trois palées non parallèles et non concourantes par étage.
- leur disposition : elles seront situées le plus symétriquement possible par rapport au centre de gravité des planchers et de préférence aux angles avec une largeur suffisante.
- leur distribution verticale : être régulière ; les palées seront de préférence superposées afin de conférer aux différents niveaux, une rigidité comparable aussi bien en translation qu'en torsion.

Les niveaux souples comme un rez-de-chaussée transparent d'un immeuble devront être contreventés correctement.
Une mauvaise disposition des palées de stabilité peut entraîner des effondrements dus à des déformations trop importantes.

Structure poteau-poutre avec remplissage en maçonnerie.
Cisaillement des poteaux et effondrement en mille-feuilles.

La mise en œuvre de qualité

Enfin sans une **mise en œuvre de qualité** de la part de l'entrepreneur, la construction par des points faibles au niveau de la qualité des matériaux ou par des assemblages d'éléments précaires peut s'effondrer comme cela a été encore le cas récemment dans des immeubles en Turquie en 1999 et en Inde en 2001.

Le respect des dispositions constructives impose un rôle des bureaux de contrôle très important pour les ouvrages publics et un rôle de l'architecte fondamental pour la conception notamment celle des maisons individuelles.

Ouvrages existants

Tout ce qui précède est valable pour les ouvrages neufs, en ce qui concerne les ouvrages existants c'est à dire la majorité, et notamment ceux construits avant l'apparition des règles les plus modernes dites "PS 92" (édition 1992), le problème est à la fois complexe au niveau politique, économique, juridique et technique.

Problème technique car intervenir en renforcement sur un ouvrage existant suppose connaître par simulations informatiques son comportement avant renforcement pour estimer sa réponse et après renforcement pour valider l'efficacité des travaux à envisager.
Cette phase de diagnostic est très délicate à gérer,
Elle passe par une campagne d'investigations, c'est à dire des reconnaissances au niveau de l'identification de la qualité des matériaux et de la géométrie des éléments en place
La précision du diagnostic est donc directement lié au nombre et à la position des sondages dont l'accès est parfois difficile voir impossible.
Les hypothèses de calcul seront donc pessimistes par défaut pour aller dans le sens de la sécurité, mais cela pourra pénaliser le montant de l'opération.
La gestion de ces incertitudes doit être prise en compte dans l'établissement des scénarios de renforcement qui s'orienteront vers deux solutions

- Réduction des charges sismiques
- Amélioration de la résistance et (ou) de la rigidité de l'ouvrage

Les techniques de renforcement actuellement disponibles sont classées par objectif et technologie :

- Traitement du sol (injection, micropieux, vibroflottation, cloutage etc.)
- Renforcement par addition (chaînage, mur de contreventement, contrefort etc.)
- Augmentation de section et confinement(béton projeté, composite collé, chemisage et corsetage acier etc.)
- Réalisation d'ancrages (plancher-chaînage, charpente-chaînage, fondation-ossature)

Problème juridique car la réglementation en vigueur est encore floue sur le calcul de renforcement de ces ouvrages et les responsabilités ne sont pas encore bien définies, ce qui rend frileux les bureaux d'études susceptibles d'intervenir en expertise.

Problème politique car la décision devrait être éclairée par trois aspects :

- **L'aspect de la perte humaine** liée au nombre de victimes concernées (fonction de la classe de l'ouvrage et de l'heure d'occupation).
- **L'aspect de la perte financière** liée à la perte d'exploitation et au coût des travaux de réparation.
- **L'aspect du niveau d'endommagement** ayant des conséquences sur les conditions d'exploitation.

Pour illustrer le contexte actuel, comment est pris en compte le risque sismique aux Antilles ?
L'aléa étant très important (zone III), la décision a été prise de renforcer en priorité les ouvrages de classe D (écoles, hôpitaux, centre de communication, réservoir d'eau, etc.) ; sachant que si demain un séisme comparable à celui du siècle dernier se produit, la majorité des victimes, estimés à plusieurs milliers à Point à Pitre pour un séisme comparable à celui de 1994, seraient issues principalement de logements d'habitation collective et de maisons individuelles (classe B et C). C'est un choix politique.

Bien souvent le **problème économique** malheureusement prime devant tous les autres problèmes simplement parce que la quantité d'ouvrages construits avant les règles PS, sans se soucier des

risques sismiques, est tellement importante en France que le montant des travaux pour diminuer leur vulnérabilité sera donc considérable.
Il devra donc s'étaler sur des décennies si d'autres priorités ne viennent pas s'intercaler.

Espérons que pendant ce laps de temps, la croûte terrestre restera stable dans nos régions.

Conclusion

Le choix d'un bon terrain sur un bon sol avec des fondations adaptées et le respect des mesures de prévention imposées et recommandées permettra de limiter les dommages en cas de sinistre.

Malheureusement les études de sol ne sont pas obligatoires sauf pour les ouvrages publics et le nombre d'architectes et d'ingénieurs sensibilisés à la conception parasismique reste faible en France.

La formation à cette démarche globale de conception parasismique n'est pas obligatoire que ce soit en école d'ingénieur ou en école d'architecture. Quelques écoles montrent néanmoins l'exemple comme à LYON, à GRENOBLE et à MARSEILLE-LUMINY.

Ouvrage à consulter :
CONSTRUIRE PARASISMIQUE de Milan ZACEK aux Editions Parenthèses

Bernard Mammar, ingénieur à la société de contrôle technique (SOCOTEC)
Risques Infos n°13 - Juin 2002

La prise en compte du risque sismique dans les constructions et sa vérification

Le contrôle technique des constructions pour la prévention du risque sismique

Dans les zones de risque sismique définies par le décret n°91-461 du 14 mai 1991 (modifié par le décret n°2000-892 du 13 septembre 2000) relatif à la prévention du risque sismique, les maîtres d'ouvrage et les gestionnaires de bâtiments sont responsables des dispositions et précautions prises pour respecter les règles de construction, d'aménagement et d'exploitation qui s'imposent aux bâtiments en raison de leur nature et de leur destination.

Pour les constructions soumises au contrôle technique obligatoire en application de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation, le champ du contrôle technique obligatoire, défini à l'article R. 111-39, s'étend sans ambiguïté au contrôle du respect des règles de construction parasismique.

Les aléas techniques à la prévention desquels le contrôle technique contribue au titre de la mission PS (ParaSismique) sont ceux qui, générateurs d'accidents corporels, découlent de défauts dans l'application des dispositions réglementaires relatives à la protection parasismique dans les constructions achevées. La mission porte sur les ouvrages et éléments d'équipement visés par les règles parasismiques.

SOCOTEC et la prévention du risque sismique

L'intervention de SOCOTEC agréé au sens des articles L. 111-23 et suivants du code de la construction et de l'habilitation s'avère donc le plus souvent indispensable pour garantir que la solidité des ouvrages et la sécurité des personnes sont bien assurées pour les sollicitations à prendre en compte dans la zone sismique ou dans le périmètre du plan de prévention considéré.

Le mini séisme du 25 février 2001, ressenti de Nice à Marseille, ou plus proche de chez nous le séisme du 15 juillet 1996 à Annecy, nous a rappelé qu'en France les règles PS 92 sont toujours d'actualité. Ces règles prévoient un certain nombre de dispositions constructives et de modalités de calcul, selon le niveau de risque sismique des régions exposées.

Dans le cadre de ses interventions de contrôle technique, SOCOTEC est fréquemment missionnée pour contribuer à la prévention des risques sismiques. Ces missions comportent deux volets, l'un relatif à la conception et au dimensionnement des constructions, l'autre portant sur l'examen des conditions dans lesquelles les constructeurs procèdent aux vérifications qui leur incombent.

Bien sûr, la mission portant sur le risque sismique n'est pas isolée ; elle suppose qu'une mission de base relative à la solidité des ouvrages soit également et préalablement confiée au contrôleur. En effet, la construction doit d'abord et au minimum répondre aux normes en vigueur applicables à tous les bâtiments, qu'ils soient ou non construits en zone sismique.

En phase conception, SOCOTEC examine les dispositions constructives du dossier de consultation des entreprises en vue de s'assurer du respect des règles PS 92 : mode de fondation envisagé en fonction des conclusions de l'étude géotechnique, configuration du ou des bâtiments, type de structure et systèmes de contreventement, etc. A la suite de cet examen, l'ingénieur SOCOTEC en charge du dossier transmet son avis au maître d'ouvrage sous forme d'un rapport initial de contrôle technique.

Au stade des études d'exécution, l'ingénieur SOCOTEC (15 ingénieurs structures sur le département de l'Isère – agences de Grenoble et Bourgoin) vérifie la prise en compte correcte des sollicitations sismiques dans le dimensionnement des structures, selon les méthodologies d'intervention mises au point par la Direction des Techniques et des Méthodes (DTM) de SOCOTEC. En cas de doute sur l'interprétation des règles, face par exemple, à une configuration d'ouvrage très particulière, l'ingénieur chargé du dossier peut recourir aux spécialistes de SOCOTEC qui font autorité dans ce domaine (Wolfang JALIL Chef du Département Ouvrages Spéciaux et Patrick LE CHAFFOTEC Chef du Département Missions et Ouvrages Exceptionnels).
Si nécessaire, des calculs informatiques comparatifs peuvent être effectués en régime dynamique avec de puissants logiciels tels que Hercule, mis au point par SOCOTEC.

En ce qui concerne la conception et le dimensionnement des ouvrages, l'expérience montre que si le risque sismique est pris en compte dès l'origine au niveau des parties architecturale et technique, le surcoût engendré par l'application des règles PS 92 est relativement faible.

Au stade de l'exécution des travaux, l'ingénieur SOCOTEC vérifie sur site et par sondage que les dispositions représentées sur les plans sont respectées. Si tel est le cas sur les parties d'ouvrage examinées, on peut en déduire que les dispositions prises par la maîtrise d'œuvre et les entreprises sont a priori efficaces. Dans le cas contraire, l'ingénieur SOCOTEC avise par écrit le maître d'ouvrage des constats effectués. Il appartient alors au maître d'ouvrage de donner la suite qu'il estime nécessaire aux observations du contrôleur technique.

La qualité d'exécution est fondamentale. En effet, les analyses faites dans différents pays touchés par un séisme permettent d'affirmer que les bâtiments les plus sinistrés sont ceux pour lesquels on observe précisément le non-respect des normes les plus élémentaires de bonne construction, notamment pour les ouvrages en maçonnerie et en béton armé.

Patrick Le Delliou, chef du Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages
Risques Infos n°13 - Juin 2002

Les barrages et le risque sismique

Extrait du Bulletin du Service Technique de l'Energie et des Grands Barrages n°13
3ème trimestre 1995

Accidents liés à des séismes

Les accidents de barrages liés à des séismes sont rares. Les tableaux ci-joints extraits de publications de la Commission internationale des grands barrages (CIGB) montrent que les accidents les plus importants concernent les ouvrages en remblai. On retient surtout la rupture très étudiée du barrage en remblai de San-Fernando (9 février 1971).
Lors d'un récent séisme en Californie, le barrage voûte de Pacoima a été soumis à une sollicitation sismique très élevée. Il n'est pas impossible que la rupture du barrage ait été évitée grâce à un niveau bas de la retenue.
Des accidents plus graves, avec rupture complète, se sont produits sur des remblais de stériles lors des séismes, notamment au Chili. Toutefois la technique de montée de ces remblais est une technique minière par voie humide, complètement différente de la technique de génie civil de construction des barrages en terre.
Enfin, on peut noter que certaines secousses sismiques peuvent être imputées à la présence des barrages eux-mêmes (plus exactement au poids de l'eau contenu dans le réservoir). Cet effet n'a été constaté que pour des aménagements de très grosse capacité et de grande hauteur. De plus, la retenue semble plutôt agir comme libérateur de contraintes préexistantes. En France, la relation retenue-séisme me semble acquise pour quelques barrages, par exemple pour le barrage de Monteynard où quelques très faibles secousses ont été ressenties. Par contre, la mise en eau du barrage de Grand'Maison n'a provoqué aucune secousse.

Réglementation

La France est un pays peu sismique comparé aux régions où se sont produits des incidents sur les barrages, tels la Californie, le Japon ou les Andes en Amériques du Sud.
Le règlement français ne comprend donc pas de règle de calcul explicite des barrages vis-à-vis du risque sismique.
Les projets de barrages soumis à l'avis du Comité Technique Permanent des Barrages (CTPB) doivent comprendre l'étude de la sismicité du site et ses conséquences sur le projet mais la circulaire 75-65 du 27 décembre 1975 ne précise pas les règles de calcul à adopter. Ce Comité peut donc faire appliquer les derniers développements des méthodes d'analyse encore plus rapidement et plus efficacement que ne pourrait le faire une réglementation.
Le décret 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique ne cite pas les barrages parmi les installations dites à risque spécial.
Le décret interministériel 92-997 du 15 septembre 1992 relatif aux « plans particuliers d'intervention » concernant certains aménagements hydrauliques et l'arrêté du 1er décembre 1994 prévoient l'établissement par l'exploitant d'une étude de risque faisant notamment apparaître le risque sismique. Les études de risque seront soumises à l'avis du CTPB.

Documents techniques

Les méthodes de calcul (ou de vérification d'ouvrage existant) évoluent rapidement. Le Comité français des grands barrages (CFGB) a diffusé au dernier congrès de la Commission internationale à Durban en 1994, une brochure incluant les résultats des recherches françaises en la matière. On assiste à une généralisation des calculs dynamiques aux éléments finis avec prise en compte du couplage barrage-retenue.

On constate que, au moins pour le niveau de risque sismique en France, les résultats de ces nouvelles méthodes ne diffèrent pas fondamentalement de ceux trouvés avec les méthodes plus classiques (calcul pseudo-statique).
La Commission Internationale des Grands Barrages publie également des fascicules méthodologiques sur le sujet.
Un groupe de travail prépare actuellement, pour les barrages dont le ministre de l'Industrie a la responsabilité, un document méthodologique. Ce groupe réunit des représentants de l'administration du ministère de l'Industrie (BETCGB, DIGEC, STEEGB), des représentants des maîtres d'ouvrages (CNR, E.D.F., S.H.E.M.) et des experts extérieurs.

Le document comprendra essentiellement :

- Une description des études de stabilité à réaliser selon le type d'ouvrage
- Une classification des barrages en fonction
    - De la séismicité du site
    - Du risque potentiel à l'aval (représenté par la hauteur du barrage et le volume de la retenue)
    - De sa sensibilité propre (type d'ouvrage, âge, comportement, …).
- Deux études particulières (un barrage en terre, Matemale, et un barrage en béton, Les Mesce) servant d'exemples méthodologiques.

Barrage de Notre Dame de Commiers (38)

La méthodologie mise au point par ce groupe de travail devrait être utilisée dans le cadre de la préparation des plans particuliers d'interventions (PPI).

Incidences sur l'exploitation

Sur certains barrages, on a installé, lors de la construction, des sismographes (par exemple à Grand'Maison). Ces appareils, généralement propriété de laboratoires de recherche, ne sont pas généralement maintenus sur le site pendant toute la phase d'exploitation.

A la suite d'un séisme, il convient :

- De réaliser une inspection visuelle des barrages
- De réaliser une auscultation immédiate et approfondie. Ceci est bien entendu beaucoup plus facile si le barrage est téléausculté.

Pour les barrages en terre, il paraît prudent de continuer à procéder à une auscultation très fréquente pendant une à deux semaines, certaines ruptures ou amorces de rupture se produisant avec un effet retard lié à la dissipation progressive des pressions interstitielles.
Il n'existe pour le moment pas de règle précisant, en fonction de la position de l'épicentre et de l'intensité du séisme, les barrages concernés et l'ampleur de leur surveillance particulière à réaliser. Certaines Unités Energie d'Electricité de France ont entrepris la mise au point de « Consignes Séisme » visant à formaliser les mesures qu'il convient d'adopter en cas de tremblement de terre.

Tableau 1 – Effet sur quelques barrages en terre (remblais de stérils exclus)					
Barrage	**Hauteur (m)**	**Pays**	**Date**	**Magnitude M**	**Dégâts**
La Marquesa et La Palma	10 10	Chili	1985	7.8	2 barrages rompus 16 barrages-dégâts importants 16 barrages-faibles dégâts
San Andreas Dam	32	USA Californie	1906	8.25	Fissure longitudinale – Fissure transversale des appuis
Upper Crystal Springs	26	USA Californie	1906	8.25	Mouvement du barrage de 2.4 m
Sheffield Dam	8	USA Californie	1925	6.3	Rupture totale
Hebgen Dam	35	USA Montana	1959	7.5 à 7.8	Tassement du barrage : 1.2 m – Effet de vague
Lower San Fernando	40	USA Californie	1971	6.6	Tassement de la crête : 8.5 m
Upper San Fernando	24	USA Californie	1971	6.6	Tassement de crête : 900 mm – Déplacement vers l'aval de 1.5 m
Paiho Main Dam	66	Chine	1976	7.8	Grand glissement : 330 barrages endommagés
Douhe Dam	22	Chine	1976	7.8	Fissure longitudinale
Masiway Dam	25	Philippines	1990	7.7	Tassement de la crête : 1.0 m – Fissure longitudinale
Ono Dam	37	Japon	1923	8.3	Tassement de la crête 250 mm- Fissure profonde adjacente au noyau
74 remblais	1.5 à 18	Japon	1939	6.6	12 barrages détruits, 40 glissements
Chatsworth	11	USA	1930	Non connue	Fissures, fuites
Earlsburn	6	Ecosse	1839	4.8	Rupture totale

Tableau 2 – Effet sur quelques barrages en enrochement					
Barrage	**Hauteur (m)**	**Pays**	**Date**	**Magnitude M**	**Dégâts**
Cogoti Dam	85	Chili	1943	7.9	Tassement : 600 mm
Minase Dam	67	Japon	1964	7.5	Tassement : 61 mm – Dommages mineurs au joint
La Calera Dam	30	Méxique	1964	Non connue	Submersion par une vague de 2.5 m de hauteur – Grand glissement sur 120 m
Oroville Dam	230	USA Californie	1975	5.7	Tassement : 10 mm – Déplacement vers l'aval : 150 mm
El Infiemillo	148	Méxique	1979	7.6	Tassement : 130 mm
La Villita	60	Méxique	1979	7.6	Tassement : 50 mm
Austrian Dam	56	USA Californie	1989	7	Tassement : 300 mm – Fissures profondes
Miboro Dam	131	Japon	1961	7	Tassement : 30 mm – Déplacement vers l'aval : 50 mm
Malpase Dam	70	Pérou	1938	Non connue	Tassement : 76 mm Déplacement vers l'aval : 51 mm
Malpase Dam	70	Pérou	1958	Non connue	Tassement : 32 mm Déplacement vers l'aval : 58 mm

Tableau 3 – Effet sur quelques barrages en béton ou maçonnerie						
Barrage	**Hauteur (m)**	**Type**	**Pays**	**Date**	**Magnitude M**	**Dégâts**
Koyna	103	Poids-béton	Inde	1967	6.5	Fissures importante
Sefid Rud	106	Contrefort	Iran	1990	7.3 à 7.7	Fissures importantes
Pacoima	113	Voûte	USA Californie	1971	6.6	Fissuration de l'appui rive gauche
Lower Crystal Springs	47	Poids incurvé	USA Californie	1906	8.3	Pas de dégâts
Blackbrook	29	Barrage poids en béton et maçonnerie	UK	1957	5.5	Déplacement de la crête – Fissures
Hsingfengkiang	105	Contrefort	Chine	1962	6.1	Fissures importantes
Honen Ike	30	Voûtes multiples	Japon	1946	Non connue	Fissures de la voûte près des contreforts
Ambiesta	59	Voûte	Italie	1976	6.5	Pas de dégâts
Maina di Sauris	136	Voûte	Italie	1976	6.5	Pas de dégâts
Shenwao	53	Poids-béton	Chine	1975	Non connue	Fissures
Redflag	35	Poids-maçonnerie	Chine	1970	Non connue	Fissures
Rappel	110	Voûte	Chili	1985	7.8	Dégâts à l'évacuateur et à la tour de prise d'eau

Eric Lavis, Inspecteur Pédagogique Régional – Sciences de la Vie et de la Terre
Laurent Jimenez, coordonnateur du projet 3S - Sciences de la Vie et de la Terre
Risques Infos n°13 - Juin 2002

ACADEMIE DE GRENOBLE
PROJET "STATIONS SISMIQUES SCOLAIRES" - 3S

Ce projet vise à mettre en place un réseau de six collèges réunis autour d'un centre de ressources sismiques. Les élèves sont chargés d'installer, dans leur établissement, un capteur sismique. Les séismes enregistrés alimentent une base de données qui est le point de départ de différentes activités scientifiques utilisant les nouvelles technologies de l'information et de communication. Chaque station et son équipe de responsables a la charge de quelques pages Internet afin de diffuser sur le serveur de l'académie ses réflexions et productions.

Adresse officielle du site "projet 3S" : http://www.ac-grenoble.fr/risqmaj/3s/index-3s.htm

Ce projet fait l'objet d'une étroite collaboration avec le LGIT (Laboratoire de Géophysique Interne et de Tectonophysique, Observatoire de Grenoble, Université Joseph Fourier).

Il est, en outre, intégré dans un vaste projet appelé Risques Majeurs réunissant de nombreux établissements autour de ce thème.
http://www.ac-grenoble.fr/risqmaj/
L'accès aux données du projet 3S est accessible dans la rubrique : effets induits du projet ».

Activités

Chaque station sismique enregistre en permanence les séismes proches ou les téléséismes. Les enregistrements intéressants repérés sont convertis en fichiers lisibles par le logiciel Sismolog (éditions Chrysis) afin d'obtenir des sismogrammes facilement analysables.

L'ensemble des enregistrements réalisés par ces stations sismiques scolaires sont fusionnés avec ceux réalisés par les stations du réseau Sismalp pour étudier un séisme donné. Cela permettra, par exemple, d'identifier les ondes sismiques sur plusieurs tracés concernant un même séisme enregistré par plusieurs stations et de localiser l'épicentre du séisme.

Objectifs généraux

Promouvoir les sciences expérimentales et les nouvelles technologies chez des adolescents de collège
Le suivi d'une station sismique permet de développer un certain nombre de savoir-faire spécifiques aux sciences expérimentales (observer, mesurer, mettre en relation des informations) et aux technologies nouvelles (s'informer, traiter des données par ordinateur, les communiquer par le biais d'Internet...).

Développer le sens de l'autonomie et de la responsabilité à travers la gestion du projet
Le suivi de la station sismique amène les élèves à développer leurs qualités personnelles dans le travail en équipe, l'autonomie mais aussi la persévérance. En effet, ils sont engagés à un travail régulier mais indispensable car leur devoir est d'informer en permanence les autres établissements de leurs résultats par l'envoi des données sismiques et la production des pages Web.

Renforcer et développer les liens avec les partenaires
La mise en place du projet peut permettre de découvrir et de rencontrer de nombreux partenaires :

François Thouvenot et Julien Fréchet, scientifiques du laboratoire de géophysique et de tectonophysique interne ; Jacques Dorel, physicien des observatoires en retraite chargé du suivi des établissements ; société Léas (Saint-Ismier), qui produit les numériseurs (système d'acquisition des sismogrammes)...

Poursuivre une démarche de projet sur les risques majeurs
En même temps que les élèves travaillent sur les aspects scientifiques des séismes, ils sont amenés à réfléchir aux risques de l'environnement. Ils peuvent fournir une entrée concrète pour la mise en place du plan de secours de l'établissement (plan SESAM : plan de Secours dans un Établissement Scolaire lors d'un Accident Majeur).
Démarche de projet (Guy Ménant) : http://www.ac-grenoble.fr/risqmaj/projet/index.htm
Effets induits du projet : http://www.ac-grenoble.fr/risqmaj/effets.htm

Travailler en réseau
Le projet implique un travail coordonné entre les divers établissements impliqués dans le projet. Il peut offrir une entrée concrète pour la collaboration avec des établissements français à l'étranger. Le projet 3S est associé au projet "Sismo des écoles", académie de Nice, dont il s'est inspiré.
Sismo des écoles (Aster 06) : http://aster.unice.fr/menu.htm

Un projet de plus grande envergure, le « projet EduSeis », est en construction dont le but est de mettre en réseau des stations sismiques scolaires de plusieurs pays. Ce projet intègre actuellement des établissements d'Italie (Naples) , du Portugal (Lisbonne) et Allemagne (Philipsburg) et le centre International de la Valbonne de Sophia-Antipolis (consulter le site Aster 06 pour plus de détail et des liens vers ce projet).

Établissements participants

1. Collège de l'Edit Roussillon (38) : http://laurent.jimenez.free.fr/3s/index.htm
2. Collège Charles de Gaulle de Guilherand Granges (07) : http://www.ac-grenoble.fr/college/guilherand/sismo/menu.htm
3. Collège René Perrin Saint-Paul-Trois-Châteaux (26) : http://www.ac-grenoble.fr/risqmaj/realisations/26/jperrin/pagerm3.htm
4. Collège JJ Rousseau Saint-Julien-en-Genevois (74) : http://www.edres74.cur-archamps.fr/colleges/costjrou/risqmaj/risqmaj.htm
5 . Collège Les Aravis Thônes (74) : en construction
6. Collège E. Perrier de la Battie Ugine (73) : http://www.ac-grenoble.fr/college.ugine/sismolog/seismes.htm

Partenaire scientifique : LGIT
http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr/pedagogie.html
http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr/

Partenaire industriel : société Léas (Saint-Ismier - Isère)
http://www.lab-leas.fr/

Maquette du futur site : http://laurent.jimenez.free.fr/3s/index-3s.htm

Bruno-G. ROYET, architecte - urbaniste, Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Est - laboratoire régional de strasbourg
Risques Infos n°13 - Juin 2002

La prise en compte du risque sismique

Une démarche méthodique dans une petite commune du Haut-Rhin.

La prise en compte du risque sismique dans une commune impose une démarche complexe : une approche systémique s'impose. Avec méthode, les habitants d'une petite commune ont planifié eux-mêmes cette démarche : le plan "PEGAS" est ainsi né à Wickerschwihr - *Plan d'Entraide Générale et d'Assistance aux Secours.* A partir d'une analyse fonctionnelle du village, les aspects géologiques, géotechniques, constructifs, urbanistiques, sociologiques sont abordés. Cette initiative de démocratie locale a provoqué une prise de conscience. Une "culture de prévention" s'élabore maintenant dans ce village et prend en compte tous les risques auxquels il est exposé.

[cette communication est le condensé d'un article paru dans le bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées -n°217]

Les principes de cette démarche

Un village n'est pas seulement un assemblage de bâtiments, de rues, de réseaux techniques ; c'est d'abord un "tissu" de relations sociales. Pour satisfaire celles-ci dans les meilleures conditions, le village doit assurer un certain nombre de "fonctions". Il faut les identifier et en apprécier l'importance et le poids social. Voici décrite la première étape d'une *analyse de la valeur* : c'est l'analyse fonctionnelle du village.

Pour Wickerschwihr, le schéma de pensée est le suivant : un village est un ensemble de fonctions abstraites, elles-mêmes assurées par des moyens concrets. A cet *aspect fonctionnel qualitatif* correspond un *aspect quantitatif de valeur* : chaque fonction a un rôle, un poids social et chaque moyen concret un coût financier (fig. 1).

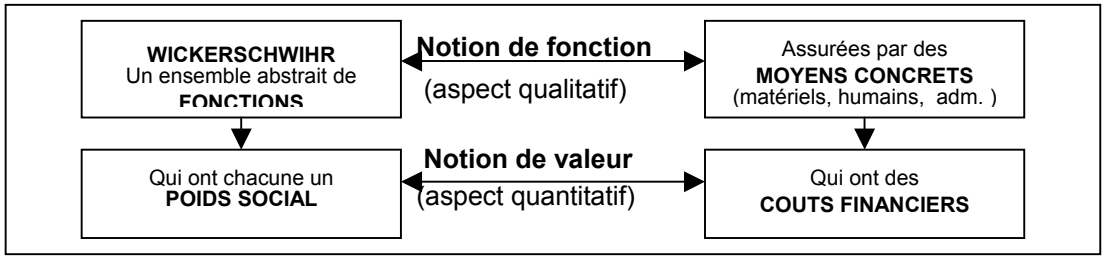


Figure 1 : *l'analyse de la valeur* à Wickerschwihr.

Cette "dématérialisation" du village qui est défini d'abord par ses fonctions et non par ses composantes matérielles, donne le recul nécessaire pour dominer le problème. Une telle approche permet de connaître les caractéristiques du village ainsi que son coût décomposé selon les fonctions offertes aux habitants. Il devient alors possible, au-delà d'une simple *reconstruction matérielle*, d'estimer son vrai coût de *recomposition fonctionnelle* en cas de séisme.

La démarche à WW, un questionnement méthodique :

- *Quelles fonctions le village offre-t-il à ses habitants ?*
- *Quels sont les moyens qui permettent d'assurer ces fonctions ?*
- *Lesquels seront détruits par un séisme majeur ?*
- *Quelles seront alors les fonctions qui ne seront plus assurées ?*
- *Dans cette hypothèse, quelles fonctions protéger et maintenir en priorité ?*
- *Existe-t-il d'autres moyens, insensibles au séisme, pour les assurer ?*
- *Ou bien que faut-il faire pour renforcer les moyens existants ?*
- *Quels sont les coûts correspondants ?*
- *Sur ces bases, quelles dispositions prendre pour réduire les conséquences d'un éventuel séisme majeur ?*

La première tâche du groupe de travail constitué a donc été de répondre à la question suivante : à quoi sert le village ? L'analyse fonctionnelle ainsi réalisée inventorie 13 fonctions (fig.2). Elles sont ordonnées : les suivantes ne peuvent être pleinement assurées que si les précédentes le sont. Pour chacune d'elles tous les moyens correspondants sont identifiés et estimés (coûts de réalisation ou d'acquisition, de fonctionnement et de maintenance, de formation du personnel, etc.)

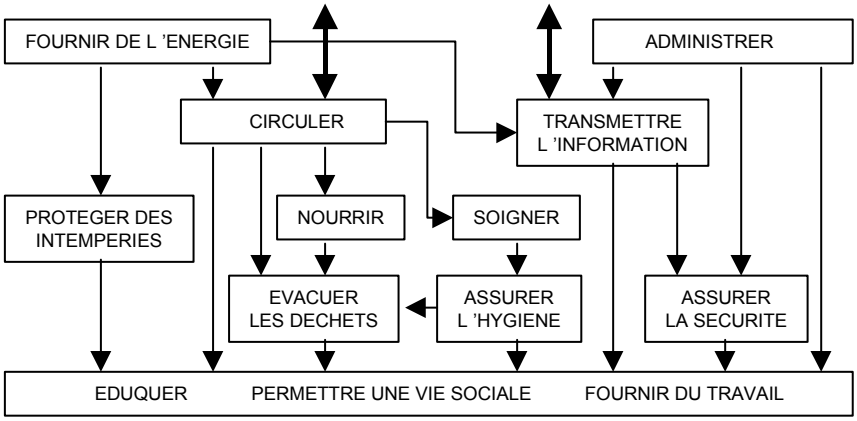


Figure 2 : les fonctions assurées par le village.

Dès cette première étape, non spécialisée mais essentielle, l'instituteur, membre du groupe, amène ses élèves à découvrir le rôle de leur village : première sensibilisation de la jeunesse et indirectement des parents. Les habitants connaissent ainsi la valeur d'usage (ses fonctions) et le coût (des moyens) de leur village. Cette dernière estimation est faite en actualisant les coûts d'investissement ou en fonction des prix du marché local.

l'appréciation du risque sismique

Un risque apparaît dans la conjonction d'un aléa et d'une vulnérabilité. La seconde étape de travail du groupe a donc consisté à évaluer précisément ces deux paramètres : l'aléa sismique du lieu et la vulnérabilité du village (cette partie n'est pas développée dans le cadre de cet article)

LA CONCEPTION DU PLAN "PEGAS"

Après cette phase de recueil de données sur l'aléa sismique ainsi que l'étude de la vulnérabilité du village, le groupe de travail ébauche le plan PEGAS.

Ce plan est composé d'une partie intitulée "prévention avant séisme" et d'une partie "organisation des secours post-séisme". Mais la prévention est privilégiée par rapport aux secours.

Les principes qui ont guidé la réflexion

Il faut se préoccuper du comportement des bâtiments sous séisme, mais aussi du comportement des hommes. La vulnérabilité est celle des constructions humaines mais aussi celle des habitants eux-mêmes ; dans leur intégrité physique mais aussi psychologique.

L'enjeu est ainsi affiché : l'implication des habitants dans cette démarche de prévention afin de créer une conscience collective du risque et de susciter une solidarité communale, en sortant d'une logique assurantielle démobilisatrice.

L'information des habitants est essentielle pour qu'ils soient acteurs et non spectateurs. L'importance de la vie associative à Wickerschwihr facilite cet engagement. Mais il faut le favoriser par des dispositions pratiques et responsabilisantes, dans le plan de prévention comme dans le plan de secours. Tout le travail des habitants est bénévole. Il est établi un budget propre pour la prévention des risques dans le village.

La partie prévention dans la vie courante

Trente-huit actions de préventions sont ainsi décidées pour réduire les effets d'un séisme. Toutes n'ont pas la même importance, mais elles contribuent chacune à l'efficacité du plan de prévention. Elles sont classées en trois domaines : technique, procédural et pédagogique. Pour chacune d'elle ont été définis des objectifs, des tâches nécessaires ; les coûts et les délais de réalisation varient selon la part du volontariat et la nécessité de faire appel à des spécialistes.

la partie organisation des secours

Pour concevoir le plan d'intervention, le groupe de travail a pris les hypothèses suivantes : le séisme survient en début de week-end prolongé, par une nuit d'hiver glaciale et sans lune, pendant une période scolaire. Ce plan interne se justifie du fait de la proximité d'une grande agglomération vers laquelle se dirigeront en priorité les premiers secours.

Les principes qui ont dirigé l'élaboration du plan de secours sont les suivants :

- Créer des réflexes simples pour éviter des effets de panique. Le repérage des points refuge dans chaque habitation a aussi cet objectif.
- Permettre une action solidaire et librement consentie. Par exemple, chaque habitant qui a accepté une responsabilité dans PEGAS, sait qu'il peut s'occuper en priorité de sa famille s'il y a des victimes parmi elle. Ce principe est affirmé et inscrit en préambule du plan. Pour cela, une redondance d'ordre 3 est retenue dans la désignation des responsables pour assurer la relève.
- Permettre une action immédiate ; chacun sait d'avance ce qu'il doit faire. Par exemple, un parc automobile d'intérêt municipal est créé (PIM). Chaque propriétaire de tracteur ou d'engin sait qu'un ordre de réquisition suivra son engagement.
- Tout organiser pour que l'information sur l'ampleur des dégâts parvienne le plus vite possible aux autorités compétentes : La tâche essentielle du Maire est de faire "sortir" du village une information précise sur l'étendue des effets et sur l'aide nécessaire.

Ces principes apparaissent dans le tableau ordonné des tâches du plan de secours (ci-dessous).

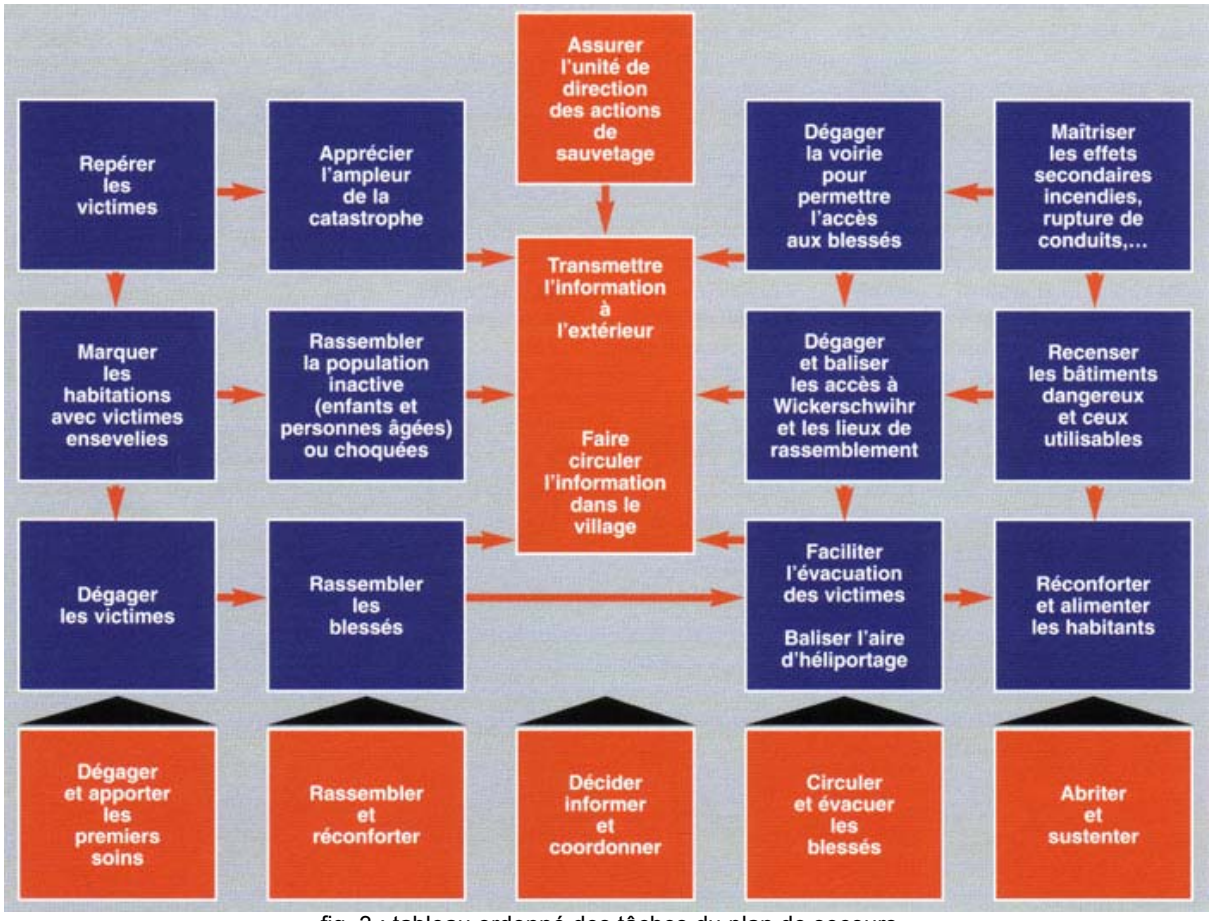


fig. 3 : tableau ordonné des tâches du plan de secours

la pérennisation du plan

Pour inscrire le plan dans la vie du village, les dispositions suivantes sont retenues :

- une commission "PEGAS" est créée au sein du Conseil municipal. Elle fait suite au groupe de travail. Elle travaille d'une façon autonome,
- une ligne budgétaire est réservée à cette action,
- au cours de l'année, le plan "PEGAS" est un point inscrit automatiquement à l'ordre du jour de deux réunions du Conseil municipal,
- un rapport annuel sur l'état du plan, présenté par l'élu responsable de la commission vient s'ajouter aux précédents. Leur somme forme ainsi la mémoire du plan.

la mise en oeuvre du plan

De nombreuses tâches sont maintenant accomplies ou en cours de réalisation. Voici l'énumération des principales tâches achevées : la mise en place de boîtiers qui renferment les renseignements utiles aux responsables de secteurs ; une méthode d'identification de points refuge et d'itinéraire d'évacuation dans chaque habitation, la signalisation par affichette de ce point refuge dans chaque habitation, l'acquisition de moyens de liaisons sans fil, la formation de secouristes, le perfectionnement des sapeurs-pompiers ; l'inscription dans le Plan d'occupation des sols (POS) mis en révision ; l'achat d'un véhicule de secours ; l'éducation des enfants de l'école ; la construction d'un réseau d'assainissement sous vide qui présente une meilleure tenue au séisme qu'un système traditionnel gravitaire ; la distribution du gaz de ville (en remplacement de stockages individuels) avec conduites en matériau plus souple de type polyéthylène et point de coupure à l'extérieur ; sur la base du dossier départemental des risques majeurs, la rédaction du dossier communal synthétique sur les risques, l'impression d'une affiche, le rappel des règles parasismiques aux constructeurs ; la préparation d'une fiche de conseils techniques pour les travaux de réhabilitation des bâtiments ; la mise à jour régulière des documents PEGAS (points-refuge des nouvelles constructions, fiches de renseignement des boîtiers) ; la réalisation d'un exercice de simulation.

Fig. 4 : consignes de sécurité

cette démarche est-elle reproductible ?

Il est évident que cette approche ne peut pas être reprise en l'état pour une agglomération plus importante. En effet de nombreux paramètres vont changer. Les fonctions seront plus nombreuses et autres (économiques, publiques, etc.). Les partenaires seront également différents et nouveaux (services techniques municipaux, corps sociaux intermédiaires, etc.). Aussi est-il plus utile de rechercher les principaux invariants qui définissent l'esprit de cette démarche.

Après cette expérience, les conditions suivantes semblent nécessaires :

- Un projet "porté" clairement par le Maire.
- Une réflexion menée par un groupe motivé et représentatif de la commune.
- Une analyse fonctionnelle initiale. C'est la "dématérialisation" de l'objet de l'étude qui permettra de poser les vrais problèmes et évitera de chercher à en résoudre d'autres qui n'existent pas.
- La prise en compte permanente des contraintes économiques.
- L'appel à toutes les compétences extérieures nécessaires.
- La recherche de simplicité, gage de fiabilité des dispositions prises ; il ne faut pas fabriquer de fausses protections.
- La remise en cause douce des habitudes, proposée et acceptée par le groupe.
- L'inscription dans le temps de la démarche par toutes les dispositions qui peuvent en assurer la pérennité. En particulier il faut avoir le réflexe d'exploiter tous les évènements en effectuant "des retours d'expérience"

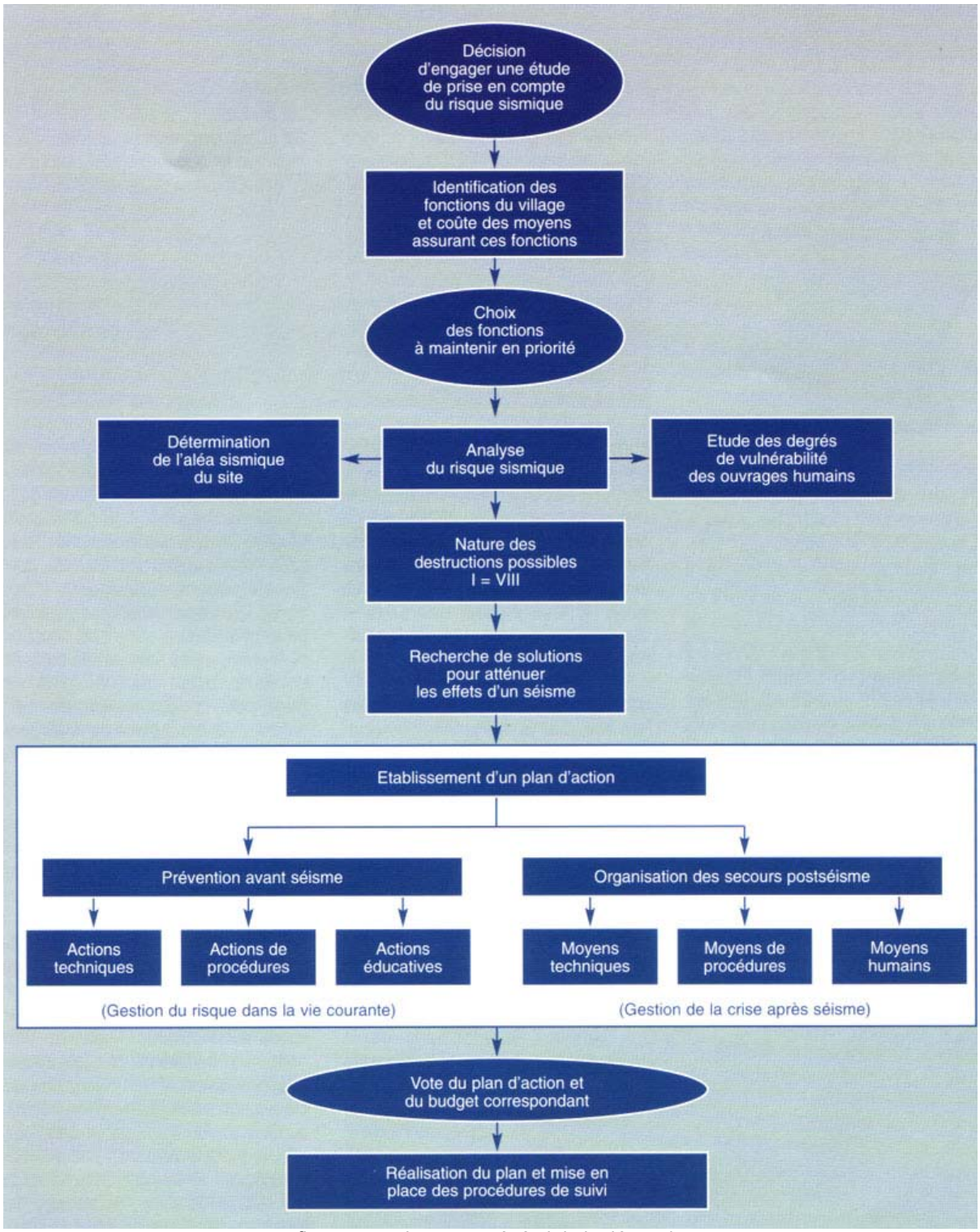


fig. 5 : organigramme général de la démarche

CONCLUSION

la recherche d'un développement durable pour le village

L'exercice de la démocratie locale permet ainsi aux citoyens, sous l'autorité et la responsabilité du Maire, d'engager des actions de prévention et de préparer des actions de solidarité pour réduire les conséquences des risques auxquels la Commune est exposée. Mais il ne suffit pas de bonne volonté, le rôle des Services de l'État et des Collectivités territoriales reste primordial.

D'autre part le comportement des hommes est aussi important que le comportement des bâtiments sous séisme. Ces deux aspects doivent être développés également et en même temps pour aboutir à une réelle réduction des risques dans une commune. Cette « mitigation » des risques n'est pas uniquement l'affaire de spécialistes, ce n'est pas un transfert de responsabilité non plus : c'est l'affirmation que chacun est responsable à son niveau.

La réflexion du Comité PEGAS a évolué. Comme le montre l'affiche réalisée avec quatre risques identifiés (fig. 4), l'approche est devenue plus générale. Cette approche se place maintenant dans cette perspective de développement durable : comment définir un modèle de croissance apte à répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité de satisfaire les besoins et la sécurité des générations suivantes à Wickerschwihr ? C'est le passage de la solidarité actuelle entre les habitants à la solidarité entre les générations. Pour cela, la manière de prévenir le risque doit être débattue ouvertement dans la collectivité.

la maîtrise des risques, un processus d'apprentissage collectif

La démarche ne sera pérenne que si un processus d'apprentissage se met en place dans le temps. Cet apprentissage a commencé à Wickerschwihr par des taches élémentaires comme la formation de secouristes et des stages de spécialisation des sapeurs-pompiers volontaires. Mais l'apprentissage est aussi un changement qui apparaît dans un processus de communication entre les habitants, entre eux-mêmes et l'environnement, à travers une hiérarchie de niveaux (élus, comité PEGAS, sapeurs pompiers, secouristes, habitants, enfants des écoles).

Par crainte de s'écarter des normes traditionnelles du groupe, la résistance au changement de chaque individu est souvent importante ; il est donc plus facile de modifier les habitudes d'un groupe que celles d'un individu pris isolément. Le sentiment d'appartenance à un groupe, à un village existait déjà (nombreuses activités associatives, fête du village, etc.), il s'est conforté dans les réunions PEGAS et au cours de l'exercice de simulation. Les références, les normes du groupe ont ainsi évolué. Il faut noter ici l'intérêt de commencer la réflexion par une analyse fonctionnelle dans laquelle tous peuvent d'emblée s'impliquer car aucune connaissance technique particulière n'est nécessaire. Il y a aussi l'intérêt de découvrir son village dans ses finalités profondes, au-delà de son apparence.

l'apparition d'une culture de prévention

La prévention des risques dans une commune doit ainsi offrir l'opportunité de passer d'une sécurité passive à une solidarité active. C'est-à-dire de passer d'un État providence à un engagement collectif. Ce passage peut se faire avec l'apparition d'une culture de prévention.

Par une réflexion commune de plusieurs années, par la présence visible du Plan dans les rues du village et après un exercice de simulation qui a mobilisé plus du tiers des habitants, un contexte particulier s'est créé. C'est l'apparition d'une conscience collective distincte des consciences individuelles. Dans son sens contemporain, une culture se définit à la fois comme système de comportement et comme système de communication. Pour définir une culture de prévention dans un groupe, trois aspects sont alors importants : il faut premièrement un système de valeurs affichées et reconnues par tous, deuxièmement un langage commun et troisièmement des attitudes communes devant les risques.

Pour ce dernier aspect, la notion de confiance est primordiale. La confiance des citoyens est une relation qui se construit dans le temps. A Wickerschwihr, c'est un sentiment de sécurité justifié par la crédibilité d'une personne (le Maire), d'un groupe (le comité PEGAS) et d'un système (les Services publics), ceci dans un cadre circonstanciel donné (le village et le risque sismique). Elle présuppose la conscience du risque, ce qui explique la transparence et la cohérence de cette démarche voulue par le Maire et engagée par le village.

Jean-Marie Lonné-Peyret, maire honoraire d'Arette
Risques Infos n°13 - Juin 2002

Le séisme d'Arette, la reconstruction d'Arette

Le séisme d'Arette est celui qui a été ressenti le plus violemment en France depuis celui de Lambesc le 11 juin 1909. Le bilan est lourd : 62 communes déclarées sinistrées, 2283 immeubles atteints, dont 340 irréparables. Il a été ressenti dans toute l'Aquitaine et le nord de l'Espagne, sur 150 000 km^2. Il a été enregistré par plusieurs stations séismologiques situées en Antarctique et au pôle Sud.

Il est des souvenirs heureux, d'autres sont plus tristes. Avec le temps, tout s'estompe puis s'efface. Pour le séisme du 13 août 1967, peut-être vaut-il mieux qu'il en soit ainsi. Mais ceux qui ont vécu ce cauchemar savent encore ce qu'il a été et il faut que les jeunes sachent aussi qu'Arette a subi un horrible drame ce jour-là et dans les jours qui suivirent.

Le 13 août 1967 ; c'est le week-end le plus long de l'année. Notre commune touristique est pleine comme un œuf (résidents et vacanciers). Le temps a été magnifique. Tous ont profité d'une bonne journée. La majeure partie des occupants du village a pris ses quartiers de nuit lorsque, à 23 h 09, une forte secousse sismique réveille tout le monde. Des vitres sont brisées, des cheminées s'ébranlent, des ardoises tombent des toitures. Les Arettois et les estivants affolés se lèvent et descendent dans la rue pour se rendre compte de ce qui se passe. Heureusement que cette secousse a eu lieu en premier et a donné l'alerte. Car la deuxième secousse, beaucoup plus intense va faire tomber des pans de mur et des toitures en entier.

Plus d'électricité, heureusement peut-être, car un court-circuit aurait pu déclencher un feu et augmenter les dégâts. En quelques secondes le village était démoli à 80 %. Les rues étaient jonchées de gravats ; poutres, ardoises, pierres, mortier … Par miracle on ne dénombrera qu'un décès, celui d'une femme octogénaire qui était restée dans son lit. Le député maire d'Orloron offrait à ceux qui le désireraient la possibilité de les loger au lycée de la ville. Les touristes en grande partie s'éloignèrent en hâte de cet enfer pour repartir chez eux. Les autres furent rassemblés sur la place de l'église à distance respectable de tout édifice car à chaque instant on entendait des craquements sinistres. Des pierres, des poutres, des solives et des ardoises continuaient à tomber

Le lendemain matin 14 août la totalité des estivants et des jeunes des colonies de vacances rentrèrent chez eux. Par contre les Arettois refusèrent les propositions d'accueil à l'extérieur. Ils tenaient à revoir leur maison, ce qui leur restait et qui pouvait être récupéré.

Les premiers jours d'après le séisme

Au lendemain de cette nuit tragique on s'aperçut de l'énormité des dégâts. Si, au loin, vers le Calvaire, les hameaux, la montagne ou le cadre familier semblaient être restés intact, il n'en était pas de même au bourg. Dans la nuit on avait parlé de telle ou telle maison complètement effondrée et démolie. Mais au matin du 14 août presque tous les villageois s'aperçurent que leur maison restée debout était fissurée de toutes parts, que les fondations avaient beaucoup souffert et se rendirent compte que leur immeuble était inhabitable. Il constituait un péril ou un danger imminent.

Les maisons détruites, l'église en ruines, les rues pleines de gravats, tout cela augmentait la nervosité des gens obligés de coucher à la belle étoile. Le plan ORSEC est déclenchée le 16 août. Une cantine est ouverte pour les 800 sinistrés totaux (sur 1 200 hbts). Un détachement de militaires prépare la cuisine dans une « roulante » et les repas sont servis dans un préau de l'école des filles fortement étayé pour la circonstance. Des tentes sont mises en place dans les prairies avoisinantes. A l'intérieur des matelas sont disposés à même le sol.

Dès le 14 août, tels des rapaces, une foule de curieux arriva, envahissant une petite boutique à moitié démolie pour envoyer des cartes postales depuis Arette, alors qu'il n'y avait plus de poste pour les privés, pas de téléphone. Dans le cadre du plan ORSEC, les P.T.T. avaient amené un camion disposant de nombreuses lignes téléphoniques. Mais cela était nettement insuffisant car les appels téléphoniques et les télégrammes pleuvaient sans interruption. Enfin, comme toujours en pareil cas, certains venaient se servir ; telle porte, tel levier de valeur, disparaissaient du jour au lendemain. Un barrage fut placé au carrefour de chaque route menant à Arette. Pour s'y rendre il fallait désormais demander à la Mairie ou à la Sous-Préfecture d'Oloron un laissez-passer en justifiant le motif de la demande. On laissa passer ceux qui avaient des parents à Arette, ceux qui possédaient une maison dans le village et ceux qui avaient mission de venir travailler dans le cadre du plan ORSEC.

Les autres curieux n'auraient pu au lendemain du séisme que gêner les travailleurs et s'exposer à un accident possible, car circuler entre les immeubles en ruines était dangereux.

Caractéristiques physiques du séisme
Magnitude 5,3 sur l'échelle de Richter
Intensité VIII-IX pour le village d'Arette
L'épicentre se trouvait sur le flanc du pic d'Arguibelle (2 km à l'ouest d'Arette)

Les premières actions pour organiser la survie d'Arette

Le plan ORSEC était lancé. Les délégations, Génie militaire, C.R.S., gendarmes, pompiers, P.T.T., Croix Rouge et autres associations, s'organisèrent. Une antenne de la préfecture fut mise en place au rez-de-chaussée de la Mairie. Les deux pièces furent fortement étayées et renforcées pour éviter toute surprise, les secousses de tassement se multipliant. Des hélicoptères, des bulldozers, des pelles mécaniques entrèrent en action. Tous les soirs à partir de 19 heures, une réunion de travail présidée par M. le sous-Préfet Nigoul et par le Maire avait lieu en présence de Melle Bourgade, qui dirigeait sur place l'antenne de la Préfecture, et des divers chefs des détachements.

Le problème du moment consistait à s'occuper de déblayer le village, de la débarrasser des gravats, de dégager les rues et de faire tomber les immeubles déclarés en péril imminent. Pour certaines maisons c'était tangent. Pouvait-elle être restaurée ou fallait-il la démolir ? Si le propriétaire qui faisait opposition pouvait donner une justification valable on ne prenait pas l'arrêté de démolition. Mais si la maison semblait devoir être soumise à la démolition, une enquête était diligentée, un expert étant commis par chaque partie avant décision.

Chaque soir nous organisions le programme des travaux à exécuter le lendemain. Les réunions étaient très longues. Je me couchais vers une heure du matin et je me levais à 5 heures. J'allais trouver les conseillers qui m'ont beaucoup aidé. Chacun s'occupait d'un quartier. Il fallait rechercher chaque chef d'entreprise ou chaque chauffeur d'engin pour lui faire part du travail à effectuer en premier.

Il fallait aussi s'occuper des sinistrés eux-mêmes. Les doléances ne manquaient pas. La cantine fonctionnait normalement. Mais le problème du logement se posait, car après 15 jours de beau temps il avait plu abondamment. L'herbe sous les tentes était transformée en boue par piétinement. L'humidité gagnait les matelas et le bas des tentes touchant au sol. Il fallait en outre passer deux ou trois heures à la Mairie pour trier et éplucher le courrier exceptionnellement volumineux : lettres, chèques, colis, télégrammes. Heureusement des amis arettois bénévoles étaient là du matin au soir pour nous aider. Tous les soirs, nous contrôlions les chèques et leur montant. Je me rendais à la

perception chaque fin d'après-midi pour déposer l'argent et les chèques afin d'éviter tout vol ou disparition.

Deux problèmes se posaient : celui du relogement provisoire des sinistrés et celui de la reconstruction. Il est absolument vrai que la Commission avait proposé la construction d'immeubles H.L.M. à la périphérie d'Oloron pour loger les sinistrés d'Arette. Il est vrai aussi que l'on avait proposé un plan d'urbanisme avec une implantation ne respectant pas la configuration du village d'avant séisme et une large voie d'évitement dont l'urbaniste vantait les avantages. Je m'opposai farouchement avec mon Conseil Municipal aux deux propositions.

- Pour la première (H.L.M. à Oloron) je fis valoir un rapport de Max Cosyns et un autre d'Haroun Tazieff prouvant d'Arette n'était pas plus exposée qu'ailleurs pour un éventuel nouveau séisme. Le 13 août 1967, le séisme d'Arette était grave. Mais je rappelai que :
Le 27 juillet 1962 un séisme avait son épicentre à Luchon (force 3.5). Le 28 avril 1964, l'épicentre était à Argeles (force 2.9). Le 13 avril 1965, l'épicentre était à Oloron (force 4). Le 26 janvier 1966, l'épicentre était à Bagnères de Bigorre (force 3.1). Le 19 avril 1966, l'épicentre était à Saint Gaudens (force 3.3). Nul ne peut prévoir ou se produira le prochain séisme.

Il ne faut pas confondre force et magnitude. La force 4 veut dire « secousse ressentie par un grand nombre de personnes ».

Il n'y avait donc aucun motif pour transplanter les Arettois.

- Pour la deuxième proposition, je fis savoir que si Arette avait construit une station de Sports d'Hiver, c'était pour profiter au bourg d'une partie des retombées économiques de la station et non pour voir défiler sur une voie d'évitement des automobilistes qui ne nous diraient même pas bonjour en passant. Le village a été reconstruit et il n'a jamais plus été question de ce projet. Enfin, j'ajouterai (et je fus soutenu par M. le député Ebrard et par M. le sous-préfet Nigoud) :
« Interrogez les Arettois. Ils veulent tous retrouver leur village d'Avant séisme, leur maison là où ils ont toujours vécu. Il faut qu'Arette retrouve son cachet typiquement béarnais avec les maisons sans doute parasismiques et avec le confort moderne, mais avec la même architecture. Depuis cette réunion, il n'a jamais plus été question du fameux plan initial.

Le règlement provisoire

On ne pouvait pas faire surgir le village d'Arette du jour au lendemain comme un champignon. Il fallait trouver une solution provisoire immédiate car en hiver il n'était pas possible de laisser les sinistrés sous les tentes militaires sans la moindre viabilisation. On pensa alors à des baraques de chantier appelées Algecos. Au départ, les responsables départementaux voulaient viabiliser un terrain assez vaste pour l'ensemble des sinistrés. Mais si ceux-ci tenaient à rester à Arette, ils tenaient aussi à rester dans leur quartier. Il a donc fallu viabiliser sommairement une prairie dans chaque quartier, notamment amener l'eau et l'électricité. Pour cette opération, nous avions vivement remercié la Croix Rouge Française et le Secours Catholique qui s'occupèrent de cette viabilisation dans de très brefs délais et la financèrent dans sa quasi-totalité pour soulager un peu la commune. Les sinistrés purent dès lors être logés dans des conditions assez convenables pour passer l'hiver 67-68.

Pendant ce temps là nous devions nous occuper de l'étape suivante. Ce fut celle des chalets préfabriqués. Certains sinistrés qui demandaient où étaient passés les quelques centaines de millions de centimes de dons ne se doutaient pas de ce qu'ont coûté ces diverses opérations. Certains donateurs avaient précisé à qui ils destinaient leur participation. Leurs vœux ont été respectés.

Le Département s'occupa des terrains d'implantation et des deux villages. Par la suite, il laissa cette opération sur le dos de la Commune. Nous étions dans l'obligation de nous exécuter, car il était indispensable de reloger au plutôt les sinistrés dans les chalets.

Enfin, nous sommes parvenus à pouvoir mettre ces chalets à la disposition des sinistrés dès le printemps 1968 ; c'était presque une prouesse.

La reconstruction définitive d'Arette

Cette reconstruction a demandé plusieurs années. Beaucoup de cas ont été longs et parfois difficiles à régler. Il était normal que chaque sinistré ait à répondre aux questions figurant sur l'imprimé adressé par la préfecture pour que l'on connaisse sa situation. On s'est aperçu d'abord que la grande majorité des familles d'Arette n'avaient pas réglé leur situation successorale, certaines même depuis deux ou trois générations, et se trouvaient en indivision. Le séisme a eu ceci de bon dans ce domaine qu'il a permis à de nombreuses familles de régler officiellement leur problème de succession.

Il y a eu ensuite deux autres problèmes délicats à résoudre, car dès qu'il s'agit d'intérêts privés et de distribution d'argent, chaque bénéficiaire vous dit parfois : pourquoi mon voisin a-t-il eu plus d'avantages que moi. Si on s'adresse à ce voisin, il répond : au contraire c'est moi qui ai été désavantagé que lui.

Ces problèmes étaient les aides que l'Etat et le Département pourraient apporter, la commune ayant assez de chats à fouetter pour sa part car elle était le plus gros sinistré, avec ses édifices en ruines et tous les réseaux à rétablir.

Et là, on s'est aperçu d'un fait bizarre. Rien n'était prévu à l'échelon national pour les sinistrés du séisme. Les textes ne prévoyaient que des aides aux sinistrés pour faits de guerre. Rien ne permettait officiellement à l'Etat de nous apporter une aide.

Nous devons dans cette situation un grand merci à notre député de l'époque Guy Ebrard, dont il aurait fallu reconnaître l'énorme mérite. Pour ma part, je l'avais vivement remercié. Le séisme a eu lieu le 13 août 1967. Guy Ebrard a réussi en un temps record à faire approuver à l'échelon national le principe d'une aide aux sinistrés d'Arette. Mais surtout, ce qui est un fait exceptionnel, il a réussi à faire prendre en quinze jours un décret ministériel dont l'intitulé est le suivant : Décret n°67-747 du premier septembre 1967 relatif à la participation de l'Etat à la réparation des dommages causés aux biens privés dans le département des Basses-Pyrénées par le séisme des 13-14 août 1967.

Tout ceci est maintenant du passé. Dans l'ensemble la reconstruction d'Arette a été une réussite. Le village a été reconstruit sur place. Chacun s'est retrouvé chez soi. Le style du village typique béarnais a été respecté au maximum. Les maisons sont neuves, solides, dotées du confort moderne, alors que certaines seraient encore les masures d'avant 1967.

Je vous aie exposé dans ses grandes lignes sans entrer dans tous les domaines et dans tous les détails cette épreuve pénible telle que nous l'avons vécue. Nous ne souhaitons à aucune commune de subir une telle catastrophe ni à aucun Maire de se trouver en quelques secondes devant sa commune démolie à 80%, avec 800 sinistrés totaux.

Nous devons une fois de plus remercier et féliciter en premier lieu les Arettois pour le courage, la ténacité dont ils ont fait preuve et pour leur attachement au territoire. Nous devons remercier aussi ceux qui ont participé à l'énorme élan de solidarité qui nous a réconfortés et nous a redonné le moral. Nous remercions enfin ceux qui ont participé à nous aider financièrement ou aux travaux délicats d'après séisme. C'est le courage des uns et c'est la bonne volonté et l'altruisme des autres qui ont permis la résurrection d'Arette.