

**Groupe de travail:**  
**Réseau sismologique mobile**  
**pour des mesures en milieu urbain en France:**  
**objectifs scientifiques, usage et organisation opérationnelle.**

Coordination et rédaction  
Antoine SCHLUPP

Les organismes associés à ce groupe de travail sont :

<b><i>Organisme</i></b>	<b><i>Correspondant principal pour ce GT.</i></b>
BCSF-EOST:	Schlupp Antoine
LGIT	Gueguen Philippe
Géosciences Azur	Courboux Françoise
OMP	Calvet Marie
OPGC	Douchain Jean-Michel
LPGN	Mocquet Antoine
IRSN	Scotti Oona
LDG	Nicolas Marc
BRGM	Dominique Pascal
CETE méditerranée	Duval Anne-Marie

**Rapport 2010**

1	Préambule:	4
1.1	Mesures instrumentales denses :	4
1.2	Mesures instrumentales denses en France : un réseau mobile pour la France	4
1.3	Milieu Urbain: définition dans le cadre de ce groupe de travail.	5
1.4	Mouvement fort et mouvement faible : Périodes de mesures dans le cycle sismique.	5
2	Les objectifs scientifiques recherchés: Quelles sont les questions scientifiques auxquelles on souhaite répondre par des mesures sismiques denses et/ou en milieu urbain?	5
2.1	Mesurer, en France, les mouvements du sol à faible distance épacentrale	5
2.2	Suivi de la sismicité: Localisation fine 3D et incertitudes, suivi de répliques ou de crises sismiques, augmentation des capacités de détection sur des chantiers d'étude particuliers (failles actives etc.)	6
2.3	Mouvement du sol et effets de site: Origine de la variabilité du mouvement sismique du sol en zone urbaine?	7
2.4	Mesures de vitesses des ondes dans des bassins sédimentaires.	8
2.5	La vulnérabilité des bâtiments, vulnérabilité en champ proche ou dans des zones de fortes accélérations	9
2.6	Comment un ressenti humain ou des effets sur les objets ou les bâtiments peuvent-ils être corrélés à une mesure (ou un paramètre) instrumentale ?	9
2.7	Les objectifs propres à assigner à un réseau mobile en milieu urbain en complément des réseaux existants (permanent ou intervention)	10
3	Les caractéristiques du réseau de mesure	10
3.1	Répartition actuelle des équipements sur les territoires français ?	11
3.2	Mesures post-sismiques : Faut-il bloquer des équipements sur étagère?	11
3.3	Le type de matériels nécessaires, caractéristiques, nombre, enregistrement ...	12
3.4	Estimation financière préliminaire.	13
3.5	Quelle maintenance pour ces équipements ?	13
4	Intervention sur le terrain, mesures et archivage des données	13
4.1	Intervention et mesures en inter-sismique	13
4.1.1	Gestion et mise à disposition du matériel en période inter-sismique (hors crise).	13
4.1.2	Modalités et limites d'usage en périodes inter-sismique	14
4.2	Intervention et mesures en post-sismique	14
4.2.1	Localisation des équipements immobilisés, mode de transport vers les sites en cas de crise (intervention post-sismique d'urgence) et délais d'intervention.	14
4.2.2	Déclenchement d'une intervention post-sismique:	15
4.2.2.1	Quels critères pour une intervention sur le terrain en post-sismique	15
4.2.2.2	Relation avec cellule post sismique INSU (coordination B Delouis)	16
4.2.2.3	Relation avec le BCSF - GIM (groupe d'intervention macrosismique) (coordination C. Sira)	16
4.2.2.4	Relation avec RESIF, RAP, RéNaSS et LDG	16
4.2.2.5	Réflexions préliminaires sur l'organisation et la coordination en période de crise pour une intervention post-sismique.	16
4.3	Les missions à assumer collectivement.	17
4.3.1	L'archivage et la mise à disposition et l'usage des données acquises en relation avec les données permanentes (RAP, RESIF).	17
4.3.1.1	Intervention post – sismique avec usage libre à la communauté.	17
4.3.1.2	Intervention inter sismique avec usage libre à la communauté.	17
4.3.1.3	Base de données (RAP, RESIF?) et accès	17

4.3.1.4	Format à définir ou outils à prévoir pour transformer dans un format "commun"	18
4.3.1.5	Traçabilité des conditions « géophysiques» de l'enregistrement et des paramètres de calibration des mesures.	18
4.3.2	Valorisation des données	18
4.3.3	Référencement, pour toute utilisation, des équipes ayant acquises les données.	18
4.4	Quelques exemples de mesures post-sismique et intersismiques.	18
4.4.1	Post-sismique :	18
4.4.2	Inter-sismique :	18

# **1 Préambule:**

## **1.1 Mesures instrumentales denses :**

Les mesures instrumentales du mouvement sismique en milieu urbain, au niveau du sol ou dans des structures (bâtiments, ouvrage d'art), permettent d'obtenir des données indispensables aux travaux de recherche fondamentale ou appliquée pour l'évaluation de l'aléa et du risque sismique.

Ces données peuvent être acquises par des réseaux permanents (pour la France métropolitaine : RAP, ReNaSS, LDG, RESIF dans le futur) notamment lors de séismes importants, cependant la densité de ces réseaux ainsi que leur très faible nombre en milieu urbain exclu tout un champ de recherches, d'études et d'applications. Celles-ci nécessitent souvent des données en champ proche et/ou des mesures spatialement denses (plusieurs dizaines de capteurs sur quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres carrés). Il est difficile, voir impossible, de mettre en oeuvre cette densité de stations via des réseaux permanents pour deux raisons principales : 1) la densification ne pourrait se faire que sur des sites en nombre très limités, voir unique, du fait du coût important et limiterait ainsi les configurations étudiées; 2) pour enregistrer des mouvements « forts », le choix du site à équiper de façon dense dans des contextes comme la France métropolitaine serait subjectif et hasardeux. La France métropolitaine est une région de déformation lente, mais avec nombre important de segments de faille pouvant générer un séisme "important" -  $M_w > 5,5$ . La fréquence de tels séismes est très faible en métropole, environ 1 à 2 par siècle (mais 9 séismes de magnitude  $M_L > 5$  ont eu lieu depuis 1980).

*Ainsi, les mesures instrumentales denses en milieu urbain sont actuellement inaccessibles via les réseaux permanents.*

## **1.2 Mesures instrumentales denses en France : un réseau mobile pour la France**

Certains travaux de recherche peuvent être favorablement réalisés dans des régions de forte sismicité augmentant ainsi la probabilité d'enregistrer des mouvements forts. Cependant, d'autres ne peuvent être menés qu'à partir de données acquises sur le territoire français. En effet, la caractérisation géophysique de configurations géologiques 3D (bassin sédimentaire, topographie accidentées, etc.) présentes sous nos zones urbaines ainsi que leur impact sur le mouvement sismique ne peuvent être mesurées qu'in situ. Par exemple, des codes de modélisation d'effets de site en 3D ont été fortement développés au cours de ces 10 dernières années. Une des conclusions des journées scientifiques du groupe RAP 2010 était que la confrontation des résultats de ces diverses simulations 3D avec des données réelles n'était pas possible actuellement du fait de l'absence d'enregistrements spatialement denses.

Il en est de même pour la caractérisation de la vulnérabilité des bâtiments présents en France ou encore pour l'élaboration des relations entre les données macrosismiques acquises en France et les mesures instrumentales.

Une partie de la communauté française des sciences de la terre prend ou souhaite prendre part à des études sur le territoire français, avec des objectifs scientifiques précis, appliqués au milieu urbain afin de pouvoir intégrer le paramètre vulnérabilité et traiter du risque sismique. L'objectif scientifique traité ici est principalement orienté vers l'étude des effets des séismes (du mouvement du sol aux dommages) et donc du risque sismique. Ce document permet de faire une synthèse de ces objectifs scientifiques, des moyens indispensables pour y accéder et de l'organisation souhaitable pour les atteindre.

Cette réflexion a été menée dans un groupe de travail regroupant une grande partie de la communauté française issue d'organismes divers, universitaire ou non.

### **1.3 Milieu Urbain: définition dans le cadre de ce groupe de travail.**

Le milieu urbain peut être défini comme la surface contenant des constructions (concentrées comme dans le cas d'une ville, répartie et « diffuses » tel que dans des quartiers résidentiels ou périphériques, ou isolées tels que petits villages ou hameaux). Cette notion peut être étendue à leurs zones environnantes dans la mesure où elles peuvent avoir un impact sur la zone urbanisée proprement dite (bassin de grande dimension pouvant donner lieu à des piégeages d'ondes en 2D ou 3D) où qu'elle puisse devenir urbanisée.

Les lieux de mesures sont aussi bien au sol que dans tout ouvrage urbain.

Les zones à effets induits possibles, tels que glissement de terrain, n'ont pas été discutées dans ce groupe de travail.

L'intérêt du milieu urbain est qu'il permet d'étudier le mouvement du sol généré par le séisme et les effets sur les personnes, objets et sur les structures. Il est le lieu des dégâts et victimes potentielles.

### **1.4 Mouvement fort et mouvement faible : Périodes de mesures dans le cycle sismique.**

La France est soumise à de nombreux séismes mais de magnitudes faibles (métropole) ou modérés (Antilles) ainsi qu'à des séismes forts "peu fréquents" (Antilles) à "rares" (métropole).

Ainsi, des mesures de mouvement fort (séismes « forts » enregistrés en champ proche) sont très difficiles à mettre en œuvre dans nos contextes. Quelques données peuvent être acquises par des stations permanentes si le séisme est à proximité mais la faible densité des stations permanentes rendra ces mesures rares, locales et souvent acquises hors d'un contexte urbain. La solution réside dans la disponibilité de stations pour des interventions post-sismiques rapides pour enregistrer les plus fortes répliques. Si ceci correspond à des cas rares, il est important de considérer une capacité d'intervention rapide sur de tels événements (mesures post-sismiques suite à un séisme fort).

Hors séismes forts, de nombreuses approches et travaux de recherche à partir de l'enregistrement de mouvements faibles et de bruit de fond sont réalisables. Ces mesures sont possibles dans toutes les régions de France et à tout moment (mesures inter-sismiques).

## **2 Les objectifs scientifiques recherchés: Quelles sont les questions scientifiques auxquelles on souhaite répondre par des mesures sismiques denses et/ou en milieu urbain?**

### **2.1 Mesurer, en France, les mouvements du sol à faible distance épiscopentrale**

#### **Problème à résoudre**

La mesure des mouvements "forts" en champ proche est cruciale pour l'évaluation de l'aléa et du risque sismique. Les plus forts mouvements du sol et dégâts ont toujours lieu à des distances épiscopentrals faibles alors que des mesures du mouvement du sol sont quasiment inexistantes à moins de 20 km. Ainsi, les lois d'atténuation sont très peu contraintes en champ proche. Ce manque de données en champ proche est un constat que l'on peut faire à l'échelle « mondiale » car la probabilité d'enregistrer des séismes "forts" en champ proche avec des réseaux permanents est extrêmement faible.

Le réseau RAP, de par sa densité dans certaines régions, devrait pouvoir en partie combler ce manque, mais son maillage ne permettra pas d'obtenir des données suffisamment nombreuses pour contraindre les lois d'atténuation empiriques en France en champ proche (exemple du séisme de Rambervillers 2003, la distance épiscopentrale minimale des stations RAP était de 43

km, séisme de Fontenay 2010,  $M_L = 4,2$  - la distance épiscopale minimale des stations RAP était de  $\approx 55$  km). Ces observations à faibles distances sont, au moins en partie, dépendantes des conditions géologiques régionales et locales. Ainsi, acquérir de tels enregistrements en France s'avère indispensable.

Solution à partir de RAMMUF:

Profiter des répliques les plus fortes, mesurées avec un réseau dense en champ proche, permet d'approcher cet objectif en complémentarité du réseau permanent RAP. Afin de multiplier les données sur divers sites (roches et sol différents, épaisseurs des sédiments différents), il faudrait pouvoir multiplier les sites de mesures. Ces données enrichiront les données acquises par le RAP.

Lieu de l'observation: au sol, autour de l'épicentre (besoin d'une localisation bien contrainte) et milieu urbain souhaitable.

Équipement nécessaire : un réseau de capteurs accélérométriques 3 composantes ou vélocimétriques calibrés pour des mouvements forts (un réseau de 9 à 16 capteurs pour illustrer les différentes configurations, maillage de 5 km environ autour de l'épicentre).

Vitesse d'intervention : le plus rapidement possible pour augmenter les chances d'enregistrer les répliques les plus fortes.

Type d'intervention: **post-sismique**

Intérêt des mesures pour d'autres objectifs.

A partir des enregistrements champ libre sur une réplique, on peut simuler par fonction de Green Empirique le choc principal et ainsi affiner les corrélations entre les mesures instrumentales (simulation par FGE) et les témoignages individuels obtenus par le BCSF lors du choc principal.

## **2.2 Suivi de la sismicité: Localisation fine 3D et incertitudes, suivi de répliques ou de crises sismiques, augmentation des capacités de détection sur des chantiers d'étude particuliers (failles actives etc.)**

Problème à résoudre

Détection et localisation de la microsismicité naturelle (zone de faille) ou anthropique.

L'écoute, l'étude et la localisation précise de la microsismicité permettent de décrire géométriquement des structures actives, voire de les localiser plus précisément en 3D. Ceci implique l'utilisation prolongée de réseaux denses de stations autour de la structure ou du chantier.

Densification locale de réseau sismologique afin de contraindre les incertitudes sur les localisations et les profondeurs des séismes en France et les lois d'atténuations.

L'évaluation des incertitudes sur les localisations des séismes et la profondeur des foyers à partir des réseaux sismologiques permanents doit être confrontée aux localisations très précises issues de mesures locales denses. Ceci rejoint les problématiques étudiées dans le projet SI-Hex (sismicité instrumentale de l'hexagone) financé par le MEEDDM, le CNRS et le CEA. En effet, ces localisations très précises permettent aussi de mieux évaluer les incertitudes de localisations issues des stations permanentes.

Suivi des répliques des séismes majeurs de la France (suivi de répliques sur plusieurs mois voir années)

Les répliques sont en général suivies par des réseaux d'intervention pendant quelques semaines ou quelques mois après le choc principal ce qui suppose la disponibilité de tels réseaux, point qui n'est pas garanti actuellement en France. Mais au-delà de ces quelques semaines, de nombreuses informations peuvent découler de mesures sur des périodes de temps plus importantes tels que la migration spatiale de la sismicité en relation avec des changements de contraintes post-sismiques.

Solution à partir de RAMMUF:

Avoir à disposition permanente de la communauté française, pour des chantiers exclusivement en France, un réseau de station vélocimétrique portable dense (au moins 20 capteurs 3 composantes) pour réaliser ces mesures sur des chantiers en France.

Lieu de l'observation: au sol sur les zones chantier.

Équipement nécessaire : un réseau de capteurs vélocimétriques 3 composantes (un réseau de 10 à 20 capteurs).

Type d'intervention: **post-sismique et inter-sismique**

Vitesse d'intervention :

*En post-sismique*: le plus rapidement possible pour augmenter les chances d'enregistrer le plus grand nombre de répliques.

*En inter-sismique*: pas de contraintes de vitesse d'intervention.

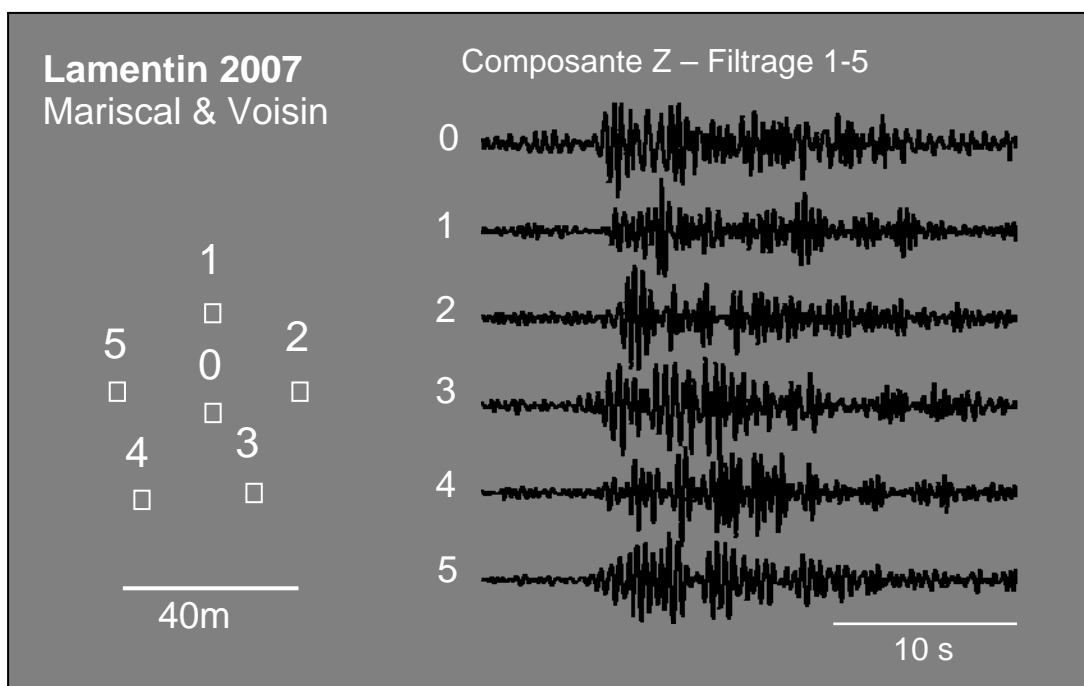
## **2.3 Mouvement du sol et effets de site: Origine de la variabilité du mouvement sismique du sol en zone urbaine?**

Problème à résoudre

Les effets de sites sont une caractéristique "intrinsèque" du site sous sollicitation sismique. Les observations macrosismiques montrent une très forte variabilité locale de l'Intensité (= mouvement du sol) au sein d'une même zone urbaine quand celle-ci est construite sur un bassin sédimentaire ou dans des contexte de reliefs accidentés, cas les plus fréquents. Cette variabilité de l'intensité ne peut découler que très partiellement des différences de vulnérabilités car celles-ci sont prises en compte pour évaluer le mouvement du sol (Intensité macrosismique EMS98). D'autre part, dans les rares cas où plusieurs mesures instrumentales au sol, proches les unes des autres, sont disponibles, elles confirment cette forte variabilité.

Cette donnée macrosismique dense n'est actuellement pas confrontée directement à des mesures instrumentales du fait de leur absence ou leur trop faible densité (rarement plus de deux capteurs dans une commune).

Pour le choc principal, les données macrosismiques sont toujours beaucoup plus nombreuses que les données instrumentales permanentes (plus de 5 000 données macrosismiques dans les premiers 120 km pour seulement 8 capteurs accélérométriques permanents dans le cas du séisme de Rambervillers, février 2003, ML=5,4). Si elles permettent d'identifier cette variabilité, elles ne sont pas assez "physiques" pour la quantifier précisément, en comprendre l'origine, et ainsi la modéliser. Il est ainsi nécessaire d'enregistrer le mouvement du sol par des mesures instrumentales denses.



Exemple d'enregistrement d'une réplique au Lamentin montrant la variabilité spatiale du mouvement sismique à l'échelle de qq dizaines de mètres.

Solution à partir de RAMMUF:

Trois approches sont possibles.

- 1) Tenter de corrélérer des observations macrosismiques du choc principal avec des mesures permanentes (thèse Chloé Lesueur – RAP-BCSF-IRSN)
- 2) Profiter des répliques (campagne post-sismique) pour mesurer ces effets de site et cette variabilité avec un réseau dense.
- 3) Rechercher l'origine de ces effets de site et de cette variabilité à partir de mesures de mouvement faible ou bruit de fond en période inter-sismique avec un réseau dense. Il faut compléter cela par des mesures systématiques de H/V et de bruit de fond réseau pour connaître la variabilité spatiale des propriétés mécaniques des sols qui sont responsables (hors effets site-ville), au premier ordre, de la variabilité des intensités pour des séismes "lointains". Ceci permettra aussi de caractériser divers sites français.

Lieu de l'observation:

*En post-sismique:* au sol (zone sédimentaire ou rocher sur topographie accidentée), milieu urbain souhaitable pour extrapolation aux données macrosismiques du choc principal. Distance épicrocent-station doit être grande (environ X5) par rapport à la distance station-station. Idéalement, un point de référence devrait être une station permanente ayant enregistré le choc principal. Au plus près de l'épicrocent pour enregistrer les mouvements les plus forts.

*En inter-sismique,* au sol (zone sédimentaire ou rocher sur topographie accidentée), milieu urbain souhaitable.

Equipement nécessaire : un réseau de capteurs accélérométriques 3 composantes avec au moins 10 capteurs, (20 capteurs souhaitables) au sein d'un seul chantier (commune ou bassin sédimentaire, ou entité topographique).

Configuration: Réseau de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres d'ouverture : installer un réseau dense étant gourmand en terme de nombre de stations (on commence à bien travailler à partir de 8 stations), on peut sans doute considérer un option avec un réseau très dense (moins de 20-30 m d'ouverture) combiné à un réseau moins dense (quelques centaines de mètres entre stations) est une bonne alternative pour être sûr de ne pas louper la physique de la variabilité.

Type d'intervention: **post-sismique et inter-sismique**

Vitesse d'intervention :

*En post-sismique:* le plus rapidement possible pour augmenter les chances d'enregistrer une réplique forte.

*En inter-sismique:* pas de contraintes de vitesse d'intervention.

## **2.4 Mesures de vitesses des ondes dans des bassins sédimentaires.**

Problème à résoudre

La modélisation numérique 3D des effets de site dans des bassins sédimentaires nécessite d'introduire un modèle de vitesse au sein des structures géologiques 3D.

Solution à partir de RAMMUF:

En l'absence de profils sismiques réflexion, des mesures en réseau (type FK) permettent de caractériser les profils de vitesses à divers endroits et ainsi participe à construire le modèle 3D.

Lieu de l'observation:

Au sol (zone sédimentaire) en liaison avec des modélisation 1D, 2D ou 3D d'effets de sites, milieu urbain souhaitable

Equipement nécessaire :



Un réseau d'au moins 4 capteurs (10 capteurs souhaitables) vélocimétriques 3 composantes pour un point de mesure.

Configuration: Réseau de quelques dizaines de mètres d'ouverture.

Type d'intervention: **inter-sismique**

Vitesse d'intervention : pas de contraintes de vitesse d'intervention.

## **2.5 La vulnérabilité des bâtiments, vulnérabilité en champ proche ou dans des zones de fortes accélérations**

Problème à résoudre

- 1) Une des difficultés pour caractériser la vulnérabilité sismique du bâti existant est le peu d'informations disponibles (matériaux, mode de constructions, travaux amenant à un affaiblissement ou renforcement, géométrie précise, relation sol structure, etc.). Pour s'affranchir de cette méconnaissance, on utilise des mesures de vibrations ambiantes mais la question se pose de l'effet d'échelle entre faibles déformations et fortes déformations. Acquérir des données dans des bâtiments en France soumis à des mouvements sismiques les plus forts est indispensable.
- 2) D'autre part, au cours de la vie d'un bâtiment, ses matériaux s'altèrent et il peut subir divers séismes. Quel est l'impact de ce "vécu" sur ses caractéristiques dynamiques. Comment varient ces caractéristiques après un séisme.
- 3) Quelles sont les fréquences caractéristiques de divers bâtiments en France. Quelles sont les fréquences propres de bâtiments historiques nationaux.

Solution à partir de RAMMUF:

- 1) *en post-sismique*: Profiter des répliques pour enregistrer des mouvements plus forts dans des structures spécifiques. Un autre intérêt des mesures en bâtiment en post-sismique est de mesurer des caractéristiques dynamiques après séismes pour identification de l'endommagement du au séisme. Cela suppose d'avoir une idée de ses caractéristiques précédentes.
- 2) *en inter-sismique*: Mesurer les caractéristiques dynamiques de divers bâtiments typiques des constructions françaises avec un réseau portable dense. Elles permettront de constituer des bases de données de référence.

Lieu de l'observation: en bâtiments, à différents étages, milieu urbain indispensable.

Equipement nécessaire :

un réseau de capteurs accélérométrique 3 composantes (au moins 3 capteurs par bâtiments instrumenté, plus un champ libre à distance suffisante pour éviter toute interaction mais sur le même milieu que le bâtiment.

Pour bien mesurer les déformes modales sous sollicitation sismique, il faut un réseau avec une dizaine de stations synchrones adaptés au bâtiment.

Type d'intervention: **post-sismique et inter-sismique**

Vitesse d'intervention :

*en post-sismique*: le plus rapidement possible pour augmenter les chances d'enregistrer les répliques les plus fortes

*en inter-sismique*:. pas de contraintes de vitesse d'intervention.

## **2.6 Comment un ressenti humain ou des effets sur les objets ou les bâtiments peuvent-ils être corrélés à une mesure (ou un paramètre) instrumentale ?**

Problème à résoudre

- Les observations macrosismiques (très nombreuses dans les 20 à 50 premiers kilomètres de l'épicentre et avec une très forte densité) lors d'un séisme ne sont pas immédiatement corrélables aux mesures instrumentales disponibles (très rares) car elles ne sont pas, sauf cas exceptionnel, localisées exactement au même endroit.

#### Solution à partir de RAMMUF:

- Profiter des répliques ressenties pour obtenir des couples "description macrosismique EMS98 et mesures instrumentales" au même endroit permettrait d'étudier cette question et d'extrapoler ces corrélations instrumentales aux lieux avec seulement des observations macrosismiques, actuelles ou passées.
- Ceci suppose une réplique ressentie et une co-localisation de la station au lieu de l'observation (lieu avec présence 24h/24). Cette mesure, dans un bâtiment, impliquera la présence d'un capteur à minima ce qui permettrait aussi de suivre et d'identifier une potentielle évolution des fréquences propres du bâtiment suite à la réplique.
- Les intensités, déduites des observations macrosismiques, caractérisent la force de la secousse au niveau du sol. Des mesures conjointes en champ libre apparaissent utiles pour leur comparaison avec les mesures en bâtiments.

Lieu de l'observation: en champ libre et au sein des bâtiments, milieu habité indispensable.

Equipement nécessaire : au minimum un capteur accélérométrique 3 composantes par point de mesure (deux capteurs si mesures en champ libre aussi). Une multiplication des points de mesures est nécessaire.

Vitesse d'intervention : le plus rapidement possible pour augmenter les chances d'enregistrer une réplique.

Type d'intervention: **post-sismique**

Intérêt des mesures pour d'autres objectifs.

- Mesures permettant la caractérisation de paramètres physiques du bâtiment, avant et après une réplique.
- A partir des enregistrements champ libre et bâtiment sur une réplique, on peut simuler par fonction de Green Empirique le choc principal et ainsi affiner les corrélations entre les mesures instrumentales (simulation par FGE) et les témoignages individuels obtenus par le BCSF lors du choc principal.

## **2.7 Les objectifs propres à assigner à un réseau mobile en milieu urbain en complément des réseaux existants (permanent ou intervention)**

- Forte densité spatiale des mesures avec une à plusieurs dizaines de capteurs en bâtiments et/ou au sol avec des distances inter-stations de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres en fonction des objectifs recherchés.
- Mesures exclusivement sur le territoire français
- Mesures en période post-sismiques et en période inter-sismiques selon les objectifs recherchés.
- Mobilité des capteurs
- Mesures denses dans divers bâtiments, rarement fait en permanent
- Mesures orientées sur les effets (sites, bâtiments, bassin) et non vers la source. La configuration recherchée répond à des impératifs différents, bien que certaines stations puissent participer à plusieurs objectifs dont l'étude de la source.
- Mesures accélérométriques et vélocimétrique.
- Mesures principalement en milieu urbain alors qu'une des contraintes habituelles lors de l'installation des stations est le faible bruit de fond, donc éloignement des milieux urbains

## **3 Les caractéristiques du réseau de mesure**

### **3.1 Répartition actuelle des équipements sur les territoires français ?**

Il n'y a aucun réseau de stations mobiles fédéré au niveau national, accessible à l'ensemble des organismes représentés et permettant de répondre aux objectifs scientifiques décrits ici.

Ceci se base sur un bilan, réalisé par chaque participant, des équipements présents (acquis sur budget propre en général) au sein de leur organisme. Lorsque quelques équipements existent, ils sont en nombre trop faible (1 à 5 capteurs) et/ou non disponibles pour ces applications.

Au niveau du réseau Sismob, il n'y a pas de réseau dont la configuration permet de répondre aux besoins identifiés. Les équipements Sismob sont principalement utilisés pour des travaux hors France. Depuis peu (1 an environ) 5 stations accélérométriques sont réservées sur étagère pour la France. Cependant, les conditions d'utilisation ne sont pas clairement définies à ce jour ainsi que le mode de décision de mise à disposition de ces stations. La mise à disposition rapide (dans les premières heures après un séisme) de cet équipement ne peut être garanti actuellement. A ce jour, on peut considérer que ce sont les seules stations disponibles en France pour nos objectifs ce qui est très loin d'être suffisant.

Il est à noter la situation du CETE méditerranée, service déconcentré du MEEDDM. Le CETE méditerranée fait parti du réseau scientifique et technique du MEEDDM, est un pôle de compétence innovation en risque sismique et est une plateforme R & D (gestion pérenne des instruments). A ce titre, il possède actuellement 36 capteurs (18 vélocimètres et 18 accéléromètres) et environ 16 systèmes d'acquisition (6 ou 9 voies). Ce parc devrait augmenter dans les années à venir et constitue le parc du MEEDDM. Ce réseau peut être mobilisé par le CETE méditerranée pour des applications similaires à celles identifiées dans ce groupe de travail mais pour le MEEDDM et ses services déconcentrés. Il est cependant envisageable d'effectuer des collaborations ponctuelles avec le CETE. Aucun équipement n'est mis « sur étagère » pour une intervention rapide en France. Cet équipement est actuellement utilisé principalement en France et dans les pays voisins mais aussi sur des sites hors Europe.

Au niveau du LGIT (Grenoble), un réseau de 10 stations vélocimétriques est en cours de constitution (2010) sur fonds propres (Université Joseph Fourier). Le LGIT indique que ce pool d'instruments sera géré au sein de l'équipe Risques du LGIT et utilisable par les autres équipes du LGIT et les autres laboratoires français. Ce réseau est destiné aux mesures d'effets de sites au sol. Les chantiers potentiels sont mondiaux (pas de restriction géographique) mais aussi la France. Ce n'est pas un réseau d'intervention. Plusieurs études sont déjà programmées avec ce réseau.

***Il n'y a pas d'équipement national, disponible en France pour les organismes français représentés ici et pouvant permettre de répondre aux objectifs scientifiques identifiés.***

Dans ce groupe de travail, il n'a pas pu être traité le cas des Antilles françaises ou des autres DOM ou TOM. Il est important de considérer dans ces départements ou territoires au minimum un réseau d'intervention post-sismique (sur étagères) et des stations complémentaires pour des projets locaux. Ces réseaux doivent être en supplément des réseaux indiqués en métropole (50 capteurs et systèmes d'enregistrement associés)

### **3.2 Mesures post-sismiques : Faut-il bloquer des équipements sur étagère?**

Il est souhaitable d'avoir aussi peu que possible d'équipement sur étagère vu la faible fréquence des séismes fort en France métropolitaine. Par contre, il est indispensable d'avoir un équipement immédiatement disponible. Aussi, le groupe de travail considère qu'il faut une partie de l'équipement « sur étagère » qui doit permettre de répondre aux besoins urgents en post-sismique. Ce réseau peut

être complété dans les jours qui suivent par des stations retirées des chantiers selon l'intérêt du séisme ou des événements étudiés. Il en résulte qu'il faut un réseau sur étagère mais qui doit pouvoir être complété par des stations « non bloqués sur étagères » qui doivent cependant exister.

Conclusion : Il doit y avoir un équipement minimum sur étagère en France (5 stations accélérométriques et 5 stations vélocimétriques) en complément d'un réseau scientifique à usage stricte en France.

Important : Il faut associer à ces stations sur étagère une procédure de maintenance stricte et continue permettant d'assurer leur fonctionnement dès leur mobilisation. Une rotation de cet équipement réservé est une option qui permet de les utiliser régulièrement et donc de le tester sur le terrain. Il y aurait cependant toujours 5 stations sur étagère hors situation de crise. »

**Remarque:** le terme "sur étagère" doit être compris comme:

Équipement prêt à fonctionner

Équipement transportable vers un site sans délai

Il peut-être physiquement sur étagère avec un contrôle de son bon fonctionnement régulier ou être installé 1) dans un lieu accessible 24h/24 et 365 jours par an, 2) démontable et "colisé" en moins d'une heure 24h/24 et 365 jours par an, 3) en un lieu rapidement accessible (moins d'une heure) et 4) associé à une check liste du matériel pour le terrain

### **3.3 Le type de matériels nécessaires, caractéristiques, nombre, enregistrement ...**

Le détail technique précis de l'instrumentation n'est pas l'objectif de ce groupe de travail. Nous nous sommes concentrés sur les caractéristiques générales

Il y a trois configurations différentes : 1) Mesures unique (un capteur seul ou un capteur dans un réseau de stations indépendantes) au sol ou en bâtiment, 2) mesures en réseau au sol et 3) mesures en réseau dans bâtiment. Les principales différences sont liées au type de capteur (vélocimétrique ou accélérométrique), au type d'enregistreur (mono ou multicapteur) ainsi qu'aux liaisons entre les capteurs et les enregistreur pour les mesures en réseau.

- 25 stations vélocimétriques et 25 stations accélérométriques (5 de chaque type sur étagère), toutes en 3 composantes.
- Bande passante capteur à minima : 0,2 à 100Hz
- Fréquence d'enregistrement minimale : 100Hz
- Dynamique d'enregistrement de 24 bits au minimum
- Enregistreurs associées à une station (3 voies) ou un réseau (multicapteurs 3 composantes).
- Enregistrement continu avec autonomie d'enregistrement de plusieurs mois
- Autonomie en énergie et faible consommation pour réduire les interventions de maintenance ou les dépendance énergétiques (surface de panneau solaire, ...)
- Besoin d'un contrôle qualité des données en temps réel sur le terrain (visualisation des mesures en temps réel, vérification de l'enregistrement sur le disque, outil de test qualité temps réel tels que spectre par voie etc.)
- Configuration permettant des mesures « en réseau » aussi bien au sol ou dans des bâtiments (synchronisation précise des mesures)
- Prévoir une transmission des données vers un laboratoire pour les analyses des données au cours de l'expérimentation de terrain.
- Poids faible.

- Possibilité de liaisons non filaires entre les capteurs pour les mesures en réseau, principalement pour les mesures en bâtiment (lourdeur et coût d'installation pour des liaisons filaires)
- 
- Remarque importante : Le contrôle des données sur le terrain et leur transmission vers les laboratoires sont des points indispensables. Les expériences d'enregistrement en aveugle en mission post-sismiques où les données sont inutilisables existent et seul cette approche permet de s'en affranchir. D'autre part, les localisations des stations peuvent être revues en fonction des enregistrements (bruit perturbateur non observé lors de l'installation, géométrie non optimale pour l'étude, etc. ).

### **3.4 Estimation financière préliminaire.**

Le coût estimé reste à ce stade très simplifié et au premier ordre. Par expérience, il faut comptabiliser environ 10 000 euros HT par station (mono capteur + enregistrement) ce qui nous amène dans notre cas à estimer un coût de l'ordre de 500 000 euros pour l'acquisition des équipements minimum identifiés dans notre groupe de travail.

Il faut rajouter à cela des coûts de maintenance et des coûts d'intervention. Un budget annuel de 100 000 euros est un ordre de grandeur préliminaire à considérer à ce stade

### **3.5 Quelle maintenance pour ces équipements ?**

La maintenance de l'ensemble du parc doit être réalisé au sein du (ou d'un) organisme qui gardera des stations disponibles sur étagère. Un poste dédié à ce parc apparaît indispensable qui aura aussi en charge des actions associées.

- préparation des interventions (post sismique ou inter sismique) avec les équipes de recherche.
- aide à l'installation
- formation à la maintenance de premier niveau de l'équipe qui installe les stations sur le terrain.
- suivi technique sur le terrain
- intégration des données dans la base de donnée
- veille technologique

## **4 Intervention sur le terrain, mesures et archivage des données**

### **4.1 Intervention et mesures en inter-sismique**

#### **4.1.1 Gestion et mise à disposition du matériel en période inter-sismique (hors crise).**

La gestion des équipements en période inter-sismique doit permettre

- Une gestion du parc par un comité qui doit veiller:
  - A sélectionner les demandes, effectuées par les divers organismes, en fonction 1) de leur adéquation avec les objectifs affichés pour cet équipement, 2) de la durée

raisonnable de l'intervention permettant un partage national de l'équipement, 3) de la capacité à démobiliser l'équipement (en partie ou totalité) en cas d'événement majeur sur le territoire français, 4) du respect, lors des précédent usage du parc, des conditions d'usage de l'équipement.

- A organiser un usage continu des équipements sans pour autant les rendre indisponibles pour de longues périodes (plus d'un an par exemple)
- A inciter des travaux inter-organismes (voir imposer en cas de demande de volume important de matériel) et la mutualisation d'équipements existants.
- La présence de l'équipement techniquement prêt (mission de la maintenance)
- La mise des données en base de données dès le retour terrain

#### **4.1.2 Modalités et limites d'usage en périodes inter-sismique**

L'usage de ce parc doit être strictement limité au territoire français aussi bien en période post-sismique qu'inter-sismique. Les séismes étudiés peuvent quant à eux être situés proches et hors de nos frontières s'ils produisent des effets en France ou si des mesures en France sont utiles.

Les objectifs sont ceux affichés ici ou des objectifs de recherche associés au risque sismique.

### **4.2 Intervention et mesures en post-sismique**

#### **4.2.1 Localisation des équipements immobilisés, mode de transport vers les sites en cas de crise (intervention post-sismique d'urgence) et délais d'intervention.**

Vu la taille des séismes les plus probables en France métropolitaine (ML>4.5 annuel en moyenne, ML> 5 tous les 3 ans en moyenne, Mw=6 centenaire en moyenne), les interventions doivent être le plus rapides et le matériel installé moins de 24h après le séisme, pour espérer enregistrer une réplique importante. Dans certains cas, ces 24 heures sont trop importantes.

Ce point a été longuement discuté et relié à la capacité d'une réponse rapide. La principale difficulté est la disponibilité du matériel, la capacité humaine de le déployer rapidement et avec la compétence nécessaire. Les contraintes des organismes participants à ce groupe de travail, pour une action rapide sur le terrain, ont aussi été évoquées.

Au final, un regroupement du matériel minimum (10 capteurs+ acquisition) dans un seul lieu (ou par lieu de stockage) est très largement privilégié. Il permet la maintenance, le suivi et la disponibilité du matériel avec un responsable dédié. Il permet aussi d'organiser une procédure d'acheminement rapide du matériel sur le terrain.

Le mode de transport le plus rapide et ayant les meilleures garanties reste dans la plupart des cas la route. Cela peut se faire avec un véhicule issu soit d'un parc local de voiture (de l'organisme) ou la location.

La location reste facilement réalisable à partir d'une ville importante (nombreuses agences de locations) quasiment 24h24. Il reste cependant des difficultés à certaines périodes qui rallongent les délais d'intervention et il est nécessaire de les anticiper ainsi que les solutions apportés (pas dans le cadre de ce groupe de travail).

On peut citer

- la difficulté de location à un moment donné.
- Les conditions météorologiques difficiles ou extrêmes
- La procédure de mobilisation des personnes (un engagement personnel est indispensable en période post-sismique).
- La distance entre le pool de stations et le lieu du séisme. (usage d'un mode aérien ?)
- La difficulté d'accès de la zone épiscopentrale voir le « bouclage » par les services de sécurité.

La distance entre le lieu de stockage du réseau sur étagère et l'épicentre peut amener à un délai de transport de plus de 10 heures. La réduction de ce délai ne peut se faire qu'en multipliant les lieux de

stockage (avec l'encadrement technique nécessaire) et donc en augmentant le nombre de stations sur étagères. Une réduction importante de ce délai passe par une localisation sur 5 sites où existent des observatoires sismologiques (Nord-Est – Strasbourg ?, Sud-Est – Nice ou Grenoble ?, Sud-Ouest – Toulouse ?, Nord-Ouest – Brest ou Nantes ?, Centre – région parisienne?). Chacun de ces sites est à proximité d'activité sismique régulière en France pouvant être le site de séismes importants. Les délais d'intervention sont donc très fortement réduits et deviennent motivant pour les équipes. Il faut cependant conserver le nombre minimum de 40 stations non « immobilisés » pour réaliser les travaux dans de bonnes conditions et d'avoir un accès régulier au pool de stations par chacun des organismes.

Les délais d'intervention correspondent au temps cumulé des actions suivantes et dépend de l'heure d'occurrence du séisme et de la date (pas d'astreinte sur site associée)

- T1=information de l'occurrence d'un séisme fort en France (T0+10 minutes)
  - T2=localisation de l'épicentre validée par un sismologue (T0+20 minutes à 45 minutes)
  - T3=décision d'intervention (T2 + 10 min à 1 heure, variable selon les cas)
  - T4=arrivé à la zone de stockage du matériel (T3+1heure)
  - T5=disponibilité d'un véhicule (T3+2heures)
  - T6=check liste du matériel avant chargement (T4+30 minutes)
- ⇒ départ du site au mieux T0+2 ou 3 heures

Avec un délai de transport minimum de 1 heure (grande proximité du laboratoire de stockage) pouvant aller jusqu'à 11 heures voir plus (calcul fait pour un trajet Strasbourg Biarritz via autoroute en période "normale"), l'équipement arriverait sur le terrain au mieux entre 3 heures et 14 heures après un séisme s'il n'y a pas de difficultés majeures. Il reste donc à tenir compte d'un délai d'installation (varie de 1h à 12 heures voir plus en fonction de la configuration du terrain et de la manip envisagée).

***Les stations ne peuvent donc être opérationnelles avant T0+4h et cela peut aller jusqu'à 23 heures voire plus. Sauf pour un séisme à proximité du lieu de stockage, on voit que le transport du matériel vers la zone est l'action qui est la plus chronophage. Optimiser la localisation (en tenant compte des compétences localement dont la présence d'un laboratoire de sismologie) et/ou multiplier les lieux de stockages sont les seuls moyens de réduire ce délai.***

Une intervention sur le terrain en post-sismique suppose des moyens financiers d'intervention immédiatement disponibles ou garantie de remboursement rapide, modalités à organiser au préalable.

## **4.2.2 Déclenchement d'une intervention post-sismique:**

### **4.2.2.1 Quels critères pour une intervention sur le terrain en post-sismique**

On peut définir un critère par défaut pour un appel à l'intervention de terrain qui serait :

ML>5 en France métropolitaine et DOM et TOM si séisme crustal, sinon magnitude Mw=6 à 7 en zone de subduction. Il faut que chaque personne intéressée par ce type d'intervention s'abonne au système d'alerte automatique venant des observatoires (LDG pour l'alerte en France métropolitaine, CSEM ou USGS pour la France hors métropole).

Le BCSF, en astreinte sismique, pourrait jouer un rôle de « filtre », avec une liste de destinataires prédéfinie pour faire suivre l'information, les alertes LDG étant sur un seuil de magnitude beaucoup plus faible que ceux qui justifient une intervention sur le terrain. Il faut aussi considérer une synergie avec le groupe post-sismique INSU, mais sachant que nous allons au-delà de la communauté associée à l'INSU.

Cependant, l'intervention peut être décidée sur d'autres critères suivant les séismes (notamment remonté d'information du terrain) et à la demande des équipes de recherche sur un événement particulier.

L'intervention est décidée dans tous les cas en fonction de moyens humains et financiers mobilisables.

#### **4.2.2.2 Relation avec cellule post sismique INSU (coordination B Delouis)**

A ce jour, il existe une cellule Post-sismique INSU (coordinateur B Delouis) qui est activée pour des séismes forts dans le monde (<http://groups.google.fr/group/cellule-postsismique>) et n'est pas dédiée aux séismes en France sauf cas particulier ( $M > 6$  probablement). Cette cellule permet notamment d'informer les intéressés (liste de membres), de coordonner les souhaits et actions scientifiques des divers organismes et d'être un relais de l'INSU notamment pour le soutien scientifique et financier des actions entreprises.

Lorsqu'un réseau "RAMMUF" sera disponible, il est souhaitable de mettre en place un mode de fonctionnement en relation avec la cellule post-sismique INSU, à minima pour informer de l'activation d'une mission post-sismique en France, voire jusqu'à intégrer dans la cellule INSU un mode d'information et de partage d'information lors de la crise pour l'usage du réseau RAMMUF au même titre que ses actions actuelles. Ce point sera à discuter avec cette cellule. Il est à noter que ce groupe ne gère pas d'équipement (cellule Post-sismique INSU, coordinateur B Delouis) ce qui est différent de notre besoin pour RAMMUF.

#### **4.2.2.3 Relation avec le BCSF - GIM (groupe d'intervention macrosismique) (coordination C. Sira)**

Les actions post-sismiques devront être coordonnées avec la mission macrosismique du BCSF où des informations sur des effets particuliers ou des zones d'intérêt particuliers peuvent être mises en évidence. Elles devront aussi tenir compte des informations issues des témoignages reçus par le BCSF (effets les plus forts ou absence de témoignages => effets majeurs probables). En effet, ces données peuvent guider les équipes vers des zones d'intérêt.

#### **4.2.2.4 Relation avec RESIF, RAP, RéNaSS et LDG**

Les actions post-sismiques devront tenir compte des informations issues des enregistrements des stations permanentes (RESIF, RAP, RéNaSS et LDG). En effet, ces données peuvent guider les équipes vers des zones d'intérêt et indiquer les zones de plus forte activité (localisation LDG, RéNaSS, etc ...).

#### **4.2.2.5 Réflexions préliminaires sur l'organisation et la coordination en période de crise pour une intervention post-sismique.**

- 1) ordre de mission (permanent pour ce type d'intervention ?)
- 2) information des partenaires (liste à établir) du critère d'intervention sur le terrain considéré.
- 3) information du responsable stock capteurs (besoin d'une personne accessible rapidement, organisation à considérer)  
et de se mettre prêt à mobiliser du matériel.
- 4) liste de personnes prêtes à se mobiliser pour une mission de terrain et délais.
- 5) Etablir des groupes projets, autonomes et interorganismes si besoin.
- 6) moyens financiers associés (mettre en place un fond d'intervention INSU et/ou inter-organisme?)
- 7) définition des priorités et des mesures qui seront établies avec les premiers capteurs puis avec la seconde vague si besoin (définir très rapidement le nombre et type souhaités dans les jours qui suivent).
- 8) informer les instances et les autorités d'un départ sur le terrain et demande d'autorisation d'accès si besoin.
- 9) Informer via un site central de la localisation des stations de mesures.



Besoin d'une coordination de l'information tel qu'information en retour du terrain, information à destination du terrain, banque de données (sismicité passée connue, rapports, publications, cartes, images etc.), informations sur les enjeux scientifiques de recherche sur la zone à partir du retour d'expériences des chercheurs ayant travaillé sur cette zone. Site web dédié? (Coordination avec cellule INSU?)

### **4.3 Les missions à assumer collectivement.**

Il est primordial que toutes les données acquises via des réseaux temporaires soient des données utilisables par la communauté.

Pour cela il faut

- mettre en place une base de donnée "terrain" soit dans une base de données existante soit dans une nouvelle base de donnée.
- intégrer à ces données (forme d'onde) tous les paramètres d'enregistrement (matériel, fonction de transfert, gain, orientation des capteurs, localisation, numériseurs, qualité temps, etc.) ainsi que les conditions d'acquisition sur le terrain.

#### **4.3.1 L'archivage et la mise à disposition et l'usage des données acquises en relation avec les données permanentes (RAP, RESIF).**

##### **4.3.1.1 Intervention post – sismique avec usage libre à la communauté.**

Toute la communauté doit pouvoir accéder aux données acquises en post-sismique. En terme de délais, les données doivent être mises dans une base de donnée partagée (RESIF ou RAP ou à définir) dès retour de terrain.

Les données acquises en Post-sismiques doivent être mises à disposition immédiatement après retour du terrain et à certaines conditions. Il faut en effet garantir la reconnaissance de l'investissement de la (des) équipe(s) sur le terrain mais aussi éviter des travaux identiques sans concertation (avec une priorité (aux) à l'équipe(s) investie(s) sur le terrain ou son (leur) association obligatoire).

##### **4.3.1.2 Intervention inter sismique avec usage libre à la communauté.**

Toute la communauté doit pouvoir accéder aux données acquises en inter-sismique. S'il peut apparaître un délai de mise à disposition des données pour l'ensemble de la communauté afin que l'équipe qui s'est investie sur le terrain puisse achever son projet (Inter-sismique), il ne doit y avoir aucun délai pour l'intégration des données dans la base de donnée générale (RESIF ou RAP ou à définir). Ceci est aussi un gage de la possibilité d'un usage futur des données selon des formats bien identifiés.

En terme de délais, les données doivent être mises dans une base de donnée partagée dès retour de terrain mais avec un accès restreint à l'équipe de terrain (pendant 3 ans à compter de la date d'enregistrement?).

##### **4.3.1.3 Base de données (RAP, RESIF?) et accès**

Intégrer les données de base (forme d'onde, caractéristiques et paramètres d'enregistrement, etc.) dans la base de données RESIF ou RAP serait une configuration permettant leur pérennisation et leur disponibilité à la communauté avec une assurance qualité minimale.

#### **4.3.1.4 Format à définir ou outils à prévoir pour transformer dans un format "commun"**

Sauf à définir un format particulier, l'usage de divers format doit être accepté. Par contre, il serait bon de définir un format d'échange spécifique avec les outils permettant ce changement de format. Sur RESIF pourraient co-exister les formats "bruts" et le format d'échange défini.

#### **4.3.1.5 Traçabilité des conditions « géophysiques » de l'enregistrement et des paramètres de calibration des mesures.**

Les données acquises en mission post-sismique et inter-sismiques peuvent servir à diverses applications. Les mesures doivent être associées à une description fine de l'instrumentation, une fiche terrain (guide terrain) devra être réalisée et associé aux données

- Photo du site instrumenté à 360°
- conditions de protections de la station (au vent, à la température etc ..)
- conditions météo ou de bruit particuliers pendant la mesure
- description de l'équipement utilisé (type capteur, type enregistreur, etc )
- description des paramètres de mesure (gain, orientation capteur et sa précision, calibration, fréquences échantillonnage, fonction de transfert du capteur et de la station, dynamique, temps GPS, etc ...)
- mesures en continu
- spectres de contrôle sur les données
- mesures de calibration

#### **4.3.2 Valorisation des données**

Ces données seront valorisées par les équipes porteuses des projets mais peuvent aussi être valorisées par des projets complémentaires ou de formation (Diplôme M2, ingénieur, stages, thèses, etc.). Il est important que des moyens annuels puissent être associés à ce réseau pour inciter et financer de telles actions (divers coût dont coût de stages si non financés par ailleurs).

#### **4.3.3 Référencement, pour toute utilisation, des équipes ayant acquises les données.**

Les données doivent être associés à la liste des personnes ayant contribués aux missions de terrain et à leurs organismes. Un mode de citation de l'origine des données doit être mis en place et imposé pour tout usage et/ou publication de résultats à partir de ces données.

### **4.4 Quelques exemples de mesures post-sismique et intersismiques.**

#### **4.4.1 Post-sismique :**

Italie 1997 ; Izmit 1999 (enregistrement séismes : effets de site, localisation sismicité)

#### **4.4.2 Inter-sismique :**

Grenoble, Alpes, Caracas (enregistrement de séismes notamment en milieu urbain: effets de site)

Grenoble, Beyrouth, Grèce, Turquie (enregistrement bruit de fond réseau en milieu urbain: effets de site.