

**Pôle Grenoblois Risques Naturels**

**PROGRAMME DE RECHERCHE  
2007**

**Gestion du patrimoine bâti et risque sismique : automatisation de calcul de  
l'indice de vulnérabilité des bâtiments**

**P. Guéguen**

Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, CNRS, Université Joseph Fourier, LCPC, Grenoble

**G. Taliercio**

Taliercio Consultant – Recherche appliquée en Organisation - Management - Systèmes d'aide à la décision, Grenoble

**Programme de recherche 2007 financé par le Conseil Général de l'Isère**

# Gestion du patrimoine bâti et risque sismique : automatisation de calcul de l'indice de vulnérabilité des bâtiments

## P. Guéguen

Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, CNRS, Université Joseph Fourier, LCPC, Grenoble

## G. Taliercio

Taliercio Consultant – Recherche appliquée en Organisation - Management - Systèmes d'aide à la décision, Grenoble

### RÉSUMÉ

La réduction du risque sismique nécessite l'évaluation de la vulnérabilité physique des bâtiments. Les solutions doivent s'adapter à la sismicité modérée qui caractérise la France métropolitaine. Suite à une enquête réalisée à Grenoble, une méthode d'inventaire sismique a été proposée, puis implémentée dans le logiciel ISIBAT. Ce logiciel libre part du constat qu'avec l'arrivée de nouvelles contraintes réglementaires, des outils doivent être proposés aux Collectivités Territoriales afin d'organiser l'inventaire sismique, qui doit s'intégrer dans une démarche d'évaluation du bâti existant sujet à des choix stratégiques d'aménagement. Cet outil permet de disposer simplement et rapidement d'une évaluation de la vulnérabilité des bâtiments, appropriable par les agents des services techniques. Cette première étape d'analyse peut ainsi contribuer à cibler les ouvrages qui pourront faire l'objet d'un diagnostic complet. **Attention, cette méthode reste une méthode qualitative plus proche de l'inventaire sismique que de l'évaluation de la vulnérabilité et doit être utilisée en conséquence.** Ses résultats, associés à d'autres critères de choix, peuvent également contribuer aux décisions en matière de programmation de travaux d'entretien ou de nouvelles constructions. Le CD-ROM est disponible sur le site du Pôle Grenoblois.

## 1. INTRODUCTION

La vulnérabilité sismique d'un environnement urbain est caractérisée par l'aptitude des bâtiments et des structures à supporter les secousses sismiques (vulnérabilité physique) et par la capacité des populations à se comporter de façon cohérente et raisonnée face à un événement majeur (vulnérabilité sociale).

La France est un pays à sismicité modérée. Pourtant, un séisme historique majeur a eu lieu en France au 20<sup>ème</sup> siècle d'une magnitude estimée supérieure à 6 et des effets importants dans la région rurale de Aix-en-Provence (Sud-Est de la France). Ce séisme a servi de base à une simulation du ministère de l'environnement en 1982. Etant données les transformations socio-économiques importantes qu'a connu la région depuis 1909, le rapport concluait alors à des effets directs et indirects majeurs sur les constructions, les vies humaines et l'économie (MEDD, 1982). Les séismes peuvent donc potentiellement provoquer des dommages importants même dans des pays à sismicité modérée, où ils ne sont pas considérés comme majeurs. C'est le cas des séismes d'Ossau-Arudy de 1980 ( $M_L=5.1$ ) et d'Annecy de 1996 ( $M_L=4.8$ ) qui malgré des magnitudes faibles, ont respectivement provoqué environ 20 MF (MEDD, 1982) et 300 MF de dommages (AFPS, 1996).

En zone sismique, depuis 1994-1995, les règles parasismiques françaises (PS92, 1992) sont

obligatoires pour tous les bâtiments "à risque normal" neufs, y compris les maisons individuelles. Même si la réglementation technique peut encore être améliorée, en particulier sur l'intégration des effets de sites locaux, la lenteur du renouvellement urbain, estimé généralement à 1% par an (Coburn and Spence, 2002) place le bâti existant au cœur de la vulnérabilité physique au séisme. L'évaluation du risque sismique impose donc une estimation de l'aléa probable et une représentation de la qualité du bâti. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique permettent (1) l'estimation des dommages liés au séisme de scénario, (2) l'estimation des coûts induits, (3) la distribution des effets urbains et (4) l'identification préventive des bâtiments les plus vulnérables à renforcer. La difficulté de cette évaluation tient à la quantité d'ouvrages, à la variabilité des types de construction en Europe, à la méconnaissance du comportement d'une structure ancienne faute d'informations disponibles sur sa conception et la qualité des matériaux. Ces difficultés apparaissent également pour une collectivité qui a la responsabilité de bâtiments publics, d'époque, de nature et de fonctionnalité variables. Une de ses responsabilités est de faire évoluer son parc immobilier en fonction des nouvelles contraintes réglementaires, telles que celles concernant l'amiante et l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite, mais aussi en fonction de la répartition de sa population et de ses nouveaux besoins. Avec l'arrivée de nouvelles contraintes réglementaires liés au risque sismique, la vulnérabilité des bâtiments devient un nouveau paramètre dans les éléments de décision pour les gestionnaires de la Ville de Grenoble.

Les objectifs du projet consistent ainsi à développer et à tester un outil logiciel permettant d'exploiter et de représenter les informations collectées lors d'un inventaire sismique et d'aider à la gestion et à la décision en matière de vulnérabilité sismique. Ils font suite aux résultats obtenus dans le cadre des projets VULNERALP (Vulneralp, 2007) et Sismo-DT (Guéguen et al., 2007b), menés afin de proposer une méthode d'évaluation de la vulnérabilité physique d'une ville à sismicité modérée, appliquée au cas de Grenoble et des ses écoles primaires.

Cette première version de l'outil (version  $\beta$ ) permet de calculer une vulnérabilité sismique par plusieurs méthodes, définies par la communauté scientifique, qui dépendent du niveau de sophistication des informations collectées dans chaque structure. L'inventaire sismique permet également de représenter le niveau de risque pour un scénario de séisme donné. Cet outil est donc destiné aux utilisateurs des Collectivités Territoriales et aux gestionnaires de parcs immobiliers. Il a été développé en collaboration avec les services techniques de la ville de Grenoble, qui y ont apporté leurs compétences-métier.

La genèse de ce projet sera présentée dans une première partie. La méthodologie mise en place sera détaillée dans la partie suivante, sur la base des expériences acquises lors du projet VULNERALP et Sismo-DT. La troisième partie sera consacrée à l'outil développé en collaboration avec la ville de Grenoble qui s'intègre dans la définition d'une stratégie décisionnelle de gestion du bâti municipal intégrant le risque sismique.

## **2. LA GENESE DU PROJET**

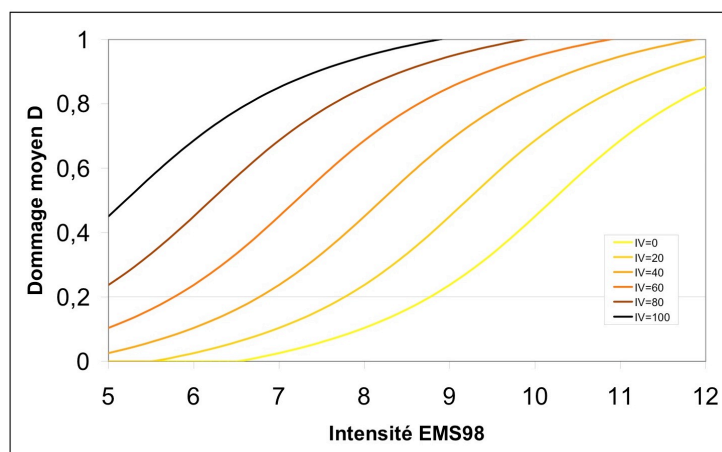
Dans le cadre du projet VULNERALP (Vulneralp, 2007) et Sismo-DT (Guéguen et al., 2007b), une méthode d'évaluation sommaire de la vulnérabilité sismique a été proposée. L'évaluation la plus pertinente de la vulnérabilité d'un bâtiment consiste à caractériser complètement la structure. Nécessaire pour une étude spécifique, cette solution est inapplicable pour l'inventaire d'un grand nombre de bâtiments à moindre coût. En effet, elle nécessite des informations détaillées sur la structure (matériaux de construction, organisation structurale, conception et design...), des moyens de simulations considérables (méthodes numériques, analytiques, nonlinéaires...) et donc des ressources humaines compétentes en dynamique des structures,

ce qui dans le cas d'une analyse à grande échelle est difficilement envisageable compte tenu des délais et des budgets nécessaires.

Depuis plusieurs années, les régions du monde qui ont subi des dommages sismiques ont initié des méthodes d'analyse de la vulnérabilité à grande échelle. Directement issues des retours d'expériences, celles-ci dépendent du nombre de bâtiments à analyser ainsi que du budget et du temps disponibles. Les premières méthodes ont ainsi été essentiellement développées aux Etats-Unis (ATC21, 1988 ; FEMA, 1997 ; Hazus, 1999), au Japon (Otani, 2000), en Turquie (e.g., Ergunay and Gulkan, 1991), au Canada (Ventura et al., 2005 ; Onur et al., 2005), en Italie (Benedetti and Petrini, 1986 ; GNDT, 1993, Seismocare, 1998 ; Faccioli et al., 1999 ; Dolce et al., 2003), mais aussi plus largement en Europe (D'ayala et al., 1997), en Belgique (Jongmans et Plumier, 2000), au Portugal (Oliveira, 2003), en Suisse (Steimen et al., 2004 ; Lang, 2003) ou en Espagne (Roca et al., 2006). Récemment, un projet européen (RiskUE, 2003) s'est focalisé sur la vulnérabilité de 7 grandes villes européennes et un consensus a été atteint pour la définition d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité. Une étude bibliographique portant sur ces méthodes a été menée par le groupe de travail de l'AFPS « Vulnérabilité sismique du bâti existant – Approche d'ensemble » (Combescure et al., 2005) en vue d'une application en France. Des similitudes apparaissent entre les méthodes :

1. toutes admettent différents niveaux d'investigation selon la qualité de l'estimation;
2. elles graduent les dommages et classent les constructions suivant une typologie pré-définie;
3. elles se basent sur la recherche d'indicateurs structuraux qui modulent la vulnérabilité, collectés en auscultant visuellement le bâtiment d'étude.

Au moment de leur application, elles suivent un cheminement identique : établir une échelle de dommage, définir une typologie structurale et sa distribution dans la ville, calculer un indice de vulnérabilité et estimer un dommage pour un niveau d'agression. En général, sur la base d'observations post-sismiques, les indicateurs de vulnérabilité sont reliés de façon statistique aux dommages, grâce à un indice (ou score) de vulnérabilité  $IV_i$  et une pondération  $W_i$ , pour établir des courbes d'endommagement (ou de vulnérabilité), qui estiment le niveau de dommage probable (Fig. 1).













**Figure 1:** Courbes de vulnérabilité donnant le dommage sismique moyen en fonction de l'intensité macrosismique EMS98 et de l'indice de vulnérabilité IV caractérisant la qualité sismique du bâti, d'après GNDT (1993).

Ces méthodes sont développées dans des pays à sismicité élevée, sismicité qui justifie des dispositifs plus importants que ceux qui pourraient être employés en France métropolitaine. La

compréhension des critères structuraux est complexe et nécessite un équilibre entre moyens, méthodes applicables et résultats recherchés. La méthode choisie dépend donc des objectifs à atteindre et des moyens disponibles, des données accessibles et des forces mobilisables.

C'est le cas en particulier de Grenoble, une des villes « sismiques » les plus importantes de la région Rhône-Alpes par sa population, son importance économique, la présence d'industries sensibles et enfin par l'observation d'une sismicité historique et instrumentale. D'autre part, à cause de sa situation sur un bassin sédimentaire important, Grenoble est depuis plusieurs années identifiée comme un site pilote pour l'estimation de l'aléa régional et local (e.g., Lebrun et al., 2001; Guéguen et al., 2007a). Ces informations ont motivé la validation et l'application d'une méthode élémentaire d'évaluation de la vulnérabilité sismique à grande échelle, exportable à d'autres régions à sismicité modérée.

La méthode VULNERALP (Guéguen et al., 2007c) vient compléter cet état de l'art. Une certaine similitude entre les constructions anciennes italiennes et françaises (en particulier en maçonnerie) permet de s'inspirer entièrement de la méthode du GNDT (GNDT, 1993 ; Seismocare, 1998). Elle consiste à identifier les faiblesses probables des constructions vis-à-vis du séisme et à leur attribuer une note ou indice de vulnérabilité, calée sur des observations de dommage lors de séismes destructeurs italiens. Ces valeurs ont été utilisées dans la méthode VULNERALP puisque aucun retour d'expérience exhaustif n'est disponible en France. Cette méthode, certainement la plus validée en Europe, permet également la représentation des dommages, et leur équivalence avec le dommage moyen D, suivant l'échelle européenne macrosismique (EMS98, 2001) (Fig. 2). Les typologies des constructions utilisées dans VULNERALP sont identiques à celles détaillées dans l'EMS98.

Echelle EMS98	1	2	3	4	5
Structure en maçonnerie					
Structure en béton armé					
Dommage moyen	[0.0 – 0.2[	[0.2 – 0.4[	[0.4 – 0.6[	[0.6 – 0.8[	[0.8 – 1.0[

**Figure 2:** Illustrations des niveaux de dommage de l'Echelle Macrosismique Européenne (d'après EMS98, 2001 et Giovinazzi and Lagomarsino, 2003).

Enfin, Combescure et al. (2005) ont recensé les critères structuraux incontournables quelques soient les méthodes référencées utilisées dans notre approche.

Cette première évaluation nous a permis d'identifier les secteurs de la ville qui pourraient subir le plus de dommages en cas de séismes de scénarios probables pour la région de Grenoble. Cette information peut évidemment être particulièrement utile dans le cadre du développement d'une politique de prévention du risque sismique à l'échelle de la ville.

Afin d'aborder ces questions de manière efficace, nous avons choisi de nous recentrer sur un aspect du fonctionnement de la ville directement dépendant des décisions municipales : la gestion des établissements scolaires. Un premier travail a été réalisé dans le cadre du projet Sismo-DT, qui s'est focalisé sur la caractérisation de quelques ouvrages et sur l'expertise de la méthode par les services techniques de la ville de Grenoble. Les écoles sont les bâtiments publics qui en cas d'endommagement sismique peuvent avoir des conséquences importantes

sur la société. En effet, au-delà des perturbations sociales liées à leur fermeture à la suite d'un séisme, ce sont également des établissements de repli et d'hébergement d'urgence qui ne sont plus disponibles. Par ailleurs, les écoles sont par leur conception même et leur fonction plus susceptibles de subir des dommages irréversibles. On note en effet quasi-systématiquement des asymétries dues à la présence de préaux ou de classes en enfilade le long d'un côté, deux critères à priori favorisant la vulnérabilité, pour des bâtiments en général construits avant l'application des règles parasismiques. Le retour d'expérience des séismes de Chi-Chi (Taiwan 2001), Turquie (2001), de Molisé (2002), d'Algérie (2003), conforté par les observations récentes faites lors du séisme chinois du 14 mai 2008 dans la province du Sichuan, ont montré la possible vulnérabilité des écoles et le traumatisme inhérent à l'effondrement de ces bâtiments. A ce titre, l'expérience de l'école de San Giuliano lors du séisme de Molise a tellement marqué l'attention de la société civile italienne qu'un programme de diagnostic sismique des bâtiments sensibles est programmé sur les 5 prochaines années.

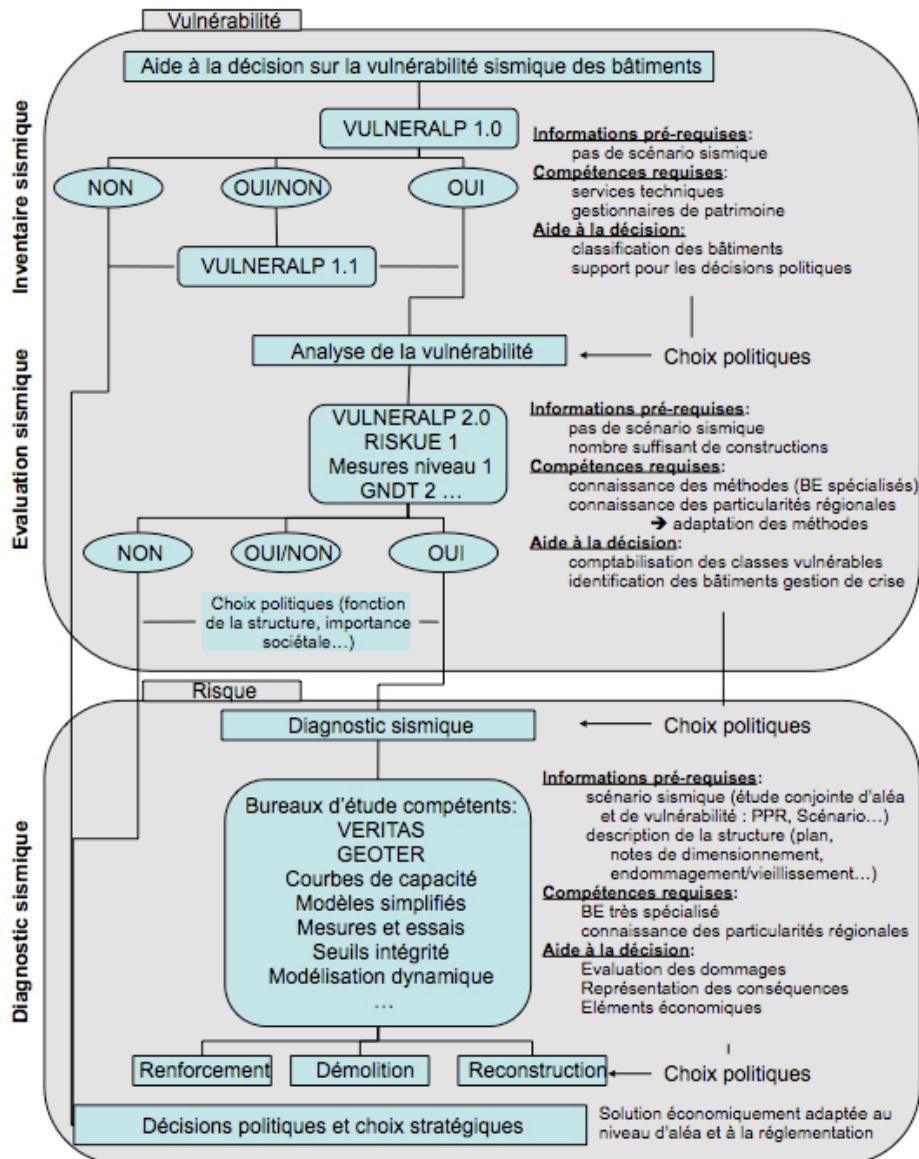
En France, l'amélioration de la sécurité relève de la mobilisation de différents acteurs : usagers (éducation nationale) et propriétaires du bâtiment (conseils général, régional, mairies). Leur coordination garantit la satisfaction des objectifs de sécurité. Ces objectifs sont cependant difficilement identifiés, faute de clarification des responsabilités et des critères de gestion. En effet, avec le patrimoine scolaire de l'Etat, les acteurs locaux ont hérité d'une gestion intégrée de la sécurité scolaire. Or, les critères de mobilisation peuvent être divergents ou convergents entre usagers et propriétaires mais aussi en fonction des tâches à accomplir : le diagnostic, la construction parasismique, l'organisation, la formation, et la gestion de crise. Dans l'agglomération grenobloise, la gestion des écoles est administrative, axée sur les prescriptions réglementaires. Le succès des politiques de sécurité parasismique correspond à la rencontre d'initiatives locales, encouragées par l'octroi de soutiens étatiques.

C'est pourquoi des efforts ont été réalisés dans le cadre du projet Sismo-DT (SISMODT, 2007) afin de préciser comment évaluer la vulnérabilité des écoles grenobloises et de proposer aux collectivités en charge de ces édifices (les communes en générale) un moyen de considérer le risque sismique comme une brique du processus décisionnel mis en place dans la politique de gestion du parc collectif communal.

Les échanges préliminaires avec les services de la Ville ayant mis en évidence le potentiel représenté par les méthodes de diagnostic, il convenait d'en préciser le domaine d'application dans le contexte des missions des services partenaires de l'opération (Fig. 3). La connaissance du patrimoine bâti est une fonction élémentaire de gestion. Les études ont été menées selon deux axes de travail :

1. hiérarchisation des Ecoles/groupes scolaires (GS) au regard de la vulnérabilité au risque sismique, ce qui permet de disposer d'une connaissance exhaustive du patrimoine, soit 71 écoles.
2. connaissance élaborée et précise de la vulnérabilité d'une trentaine d'écoles.

A la suite de cette première expertise, un outil informatique baptisé ISIBAT a été développé afin d'aider l'utilisateur final dans le traitement, l'analyse et l'interprétation des données collectées et des résultats.



**Figure 3 :** Tentative de diagramme opérationnel pour l'évaluation de la vulnérabilité à grande échelle.

### 3. MÉTHODE D'ÉVALUATION VULNERALP

Un travail précédent (Guéguen et Vassail, 2003) identifie les types de construction et leur distribution sur Grenoble, selon les particularités locales et les évolutions nationales des constructeurs (les codes de dimensionnement en particulier). Il montre que :

- le centre est essentiellement constitué de maçonnerie de pierre (les carrières des montagnes voisines ayant fourni des pierres calcaires);
- les quartiers périphériques sont essentiellement en béton armé, poteaux-poutres avant 1965 et murs voiles après 1970;
- les quartiers de l'expansion sont très hétérogènes, mélangeant des maisons individuelles et des logements collectifs, des constructions en béton et des constructions en maçonnerie, réalisées à des époques de construction différentes.

Ordinaire, cette variabilité est le point de blocage de toute étude de vulnérabilité sismique à

échelle urbaine. En effet, la qualité sismique du bâti dépend de ses caractéristiques structurales qu'il faut représenter dans la ville. La distinction des constructions en maçonnerie et en béton armé est d'autant plus importante que, d'après les expériences passées, le comportement sismique de ces deux catégories est radicalement différent.

Le niveau 1.0 de VULNERALP, validé sur la ville de Nice (Guéguen et al., 2007c), a donc été établi selon les types de construction que l'on trouve dans Grenoble. La typologie des écoles s'inscrit également dans cette caractérisation et la méthode VULNERALP, à l'origine développée pour le bâti courant, s'adapte à cette typologie particulière.

La méthode est établie sur la base de 6 critères structuraux que sont :

- le matériau de construction,
- l'irrégularité en élévation,
- l'irrégularité en plan,
- la forme du toit,
- son époque de construction,
- la nature de la fondation au sens du GNDT.

Les critères utilisés pour l'évaluation sont élémentaires : ils ne nécessitent pas d'entrer dans les bâtiments et les pré-requis sont limités. En revanche, ce type d'évaluation suppose une bonne connaissance du milieu urbain afin de distinguer en particulier les époques et les matériaux de construction. Cette stratégie permet alors de relier la vulnérabilité à un niveau de dommage compatible avec celui de l'EMS98. Des matrices sont ensuite proposées, avec l'intervalle des valeurs probables [IV-;IV+] extraites des critères et des valeurs du GNDT. Une fois la méthode définie, il reste à collecter des informations sur les bâtiments et leur distribution sur la zone d'étude.

La méthode "VULNERALP niveau 1" proposée par l'inventaire sismique est apparue trop lourde à mettre en place dans le cadre des impératifs opérationnels. C'est pourquoi il a été décidé d'appliquer une méthode baptisée "1 allégée" ou "0.5". La grille d'enquête initiale a été améliorée et structurée afin d'être lue, comprise et imprimée facilement (Voir <http://www-lgit.obs.ujf-grenoble.fr/~pgueg/VULNERALP>).

Le niveau 0.5 a permis aux services de la ville de réaliser l'inventaire sismique des constructions dont ils ont la charge. Cet inventaire est une première étape qui permet de classer ou de hiérarchiser les bâtiments qui a priori seraient les plus vulnérables en cas de séismes. Le niveau 1.1, plus sophistiqué, et donc mobilisant plus de moyens, permet d'affiner la connaissance sismique du bâti. Il réduit les incertitudes et précise la qualité moyenne du bâti. Par ce moyen, on peut distinguer les types de constructions et, au sein d'un même type, les constructions présentant les faiblesses les plus probables.

#### **4. FONCTIONNALITÉ DU LOGICIEL ISIBAT**

L'outil informatique permet de calculer un indice de vulnérabilité des ouvrages face au risque sismique suivant plusieurs niveaux d'évaluation d'ores et déjà validés pour les besoins de gestion du patrimoine d'une Collectivité Locale, mais aussi pour des niveaux d'évaluation plus sophistiqués. Il est donc destiné aux gestionnaires de parcs immobiliers des Collectivités Territoriales.

Afin de le rendre apte à être utilisé par l'ensemble des Collectivités Territoriales de la Région



Rhône Alpes, le logiciel permettra à l'utilisateur :

- D'élaborer l'inventaire de vulnérabilité d'un bâtiment, pour différents niveaux de précision (niveau 1 à niveau 2 voire 3)
- De disposer d'une vision complète de la vulnérabilité de chacun des bâtiments composant un ensemble fonctionnel cohérent : par exemple chacun des bâtiments composant un groupe scolaire ou de l'ensemble des bâtiments dont les fonctions sont identiques : par exemple tous les bâtiments destinés à la restauration collective
- De croiser la vulnérabilité d'un bâtiment avec des scénarios d'aléas, avec une restitution mettant en évidence les dommages subis et les principaux points de faiblesse du bâtiment (fonction « Etude de danger »).

La totalité des spécifications fonctionnelles et techniques du logiciel ont été définies en collaboration avec les services techniques de la Ville, faisant l'objet d'un cahier des charges détaillé, repris sommairement ici.

Cet outil logiciel doit être indépendant de tout système d'exploitation et de logiciels commerciaux particuliers. Il sera porté sur un CD-Rom exécutable permettant de charger des informations textuelles du bâti et d'exporter les résultats sur un disque local (browser possible). Le principe est celui du « logiciel libre ».

Le logiciel permet plusieurs fonctionnalités indispensables :

- ⌚ Entrée des données
- ⌚ Modification des données
- ⌚ Sauvegarde des données
- ⌚ Visualisation des données
- ⌚ Sauvegarde des résultats
- ⌚ Visualisation des résultats
- ⌚ Exportation (fichiers ou imprimante) des données et des résultats
- ⌚ Choix de la méthode de calcul
- ⌚ Résultats combinant plusieurs méthodes
- ⌚ Tutorial/aide de fonctionnement de l'outil
- ⌚ Tutorial/aide/description de l'utilisation des méthodes

Plusieurs niveaux d'utilisation sont possibles:

1. Administration : modification des informations
2. Simulation : simulation de l'aléa sismique et consultation des résultats + lecture des informations
3. Consultation : lecture des informations

L'outil permet la constitution d'une base d'information décrivant les structures, ou le parc de structures, à analyser. Pour cela, l'intégration de données doit pouvoir se faire en interactif (bâtiment par bâtiment) ou à partir d'une table descriptive formatée des bâtiments, pré-existante au sein de la Collectivité. On peut distinguer la **création** d'une nouvelle base d'information, l'**importation** d'une base existante et la **modification** d'une base existante.

Plusieurs bâtiments peuvent contribuer à former un établissement. Les informations descriptives des établissements et bâtiments sont regroupées dans une base de données

d' « Ensemble ». Par exemple, l' « ensemble » peut être « Ville de Grenoble » ou « Groupes Scolaires » ou « Secteur X ». Cette base de données d'ensemble peut être exportée afin d'être utilisée sur un autre poste ou par un autre utilisateur.

Les paramètres nécessaires à la description des structures sont relatifs à un bâtiment. Il s'agit des paramètres structuraux ou non structuraux des bâtiments, nécessaires aux calculs de vulnérabilité. Pour un bâtiment donné créé au niveau de « description générale », le logiciel propose systématiquement à l'utilisateur de renseigner tous les paramètres requis par tous les niveaux de diagnostic (1, 2 ou 3).

La production d'un état récapitulatif des paramètres renseignés permet à l'utilisateur de connaître le niveau de connaissance d'un ouvrage et de déterminer le niveau d'analyse (1, 2 ou 3) qu'il lui est possible de demander. Le renseignement des données d'un niveau supérieur permet de mettre à jour automatiquement les données nécessaires au(x) niveau(x) inférieurs. Par exemple : le renseignement des paramètres nécessaires pour le niveau 2 met à jour les informations du niveau 1.

Pour cette première version du logiciel, les résultats des diagnostics sont obtenus selon des requêtes préformatées et non par requêtes libres dans la base de données. Une version ultérieure du logiciel pourra permettre les requêtes libres. Les sorties peuvent être établies :

- ① par bâtiment ou par regroupement de bâtiments choisis dans la liste des bâtiments
- ① par établissement (regroupement de plusieurs bâtiments)
- ① par fonction ou attribut de bâtiments
- ① par secteur géographique
- ① par unité géographique de zonage sismique
- ① sur l'ensemble de la base d'information (Etat récapitulatif)
- ① par choix du niveau d'analyse : 1.0 ou 1.1 ou 2 ou 3
- ① par choix de l'indice d'aléa sismique : faible, moyen, fort

Les différentes informations ayant été renseignées, les résultats sont restitués sous forme de « Projets ». L'élaboration d'un « Projet » consiste à :

- ① choisir les établissements et / ou bâtiments faisant l'objet de l'analyse
- ① choisir le niveau d'analyse requis : 1.0 ou 1.1 ou 2 ou 3 : par défaut c'est le niveau le plus bas permis par le renseignement des paramètres des bâtiments sur lesquels porte l'analyse

L'utilisateur doit donner un nom au Projet qu'il a souhaité créer et peut en sauvegarder les résultats. Un projet sauvegardé ne peut pas être modifié, mais il peut donner lieu à l'élaboration d'une nouvelle version.

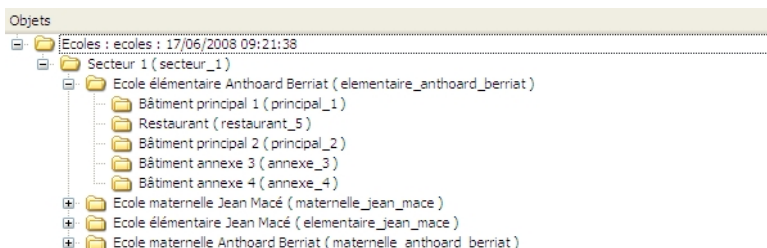
Les informations sont restituées en clair et sous la forme codée (paramètres). Un système de couleurs permet de visualiser d'un coup d'œil les informations requises pour chaque niveau d'analyse (1 couleur par niveau d'analyse).

## **5. EXEMPLE DE FONCTIONNEMENT DE L'OUTIL ISIBAT**

Le fonctionnement de l'outil ISIBAT a été mis au point avec les services techniques de la Ville

de Grenoble, en privilégiant la simplicité et l'ergonomie afin de le rendre aisément utilisable. Pour cela, le principe des menus successifs a été retenu, en s'efforçant dans tous les cas de nommer les champs de façon à en rendre la compréhension évidente, le but étant de l'utiliser sans documentation technique.

Les informations gérées par l'outil ISIBAT sont organisées selon une arborescence ordonnée depuis l'échelle la plus large à l'échelle la plus serrée. Ainsi, on va commencer à définir le projet (ou base), puis les ensembles du projet. Ces ensembles sont constitués d'établissements constitués de plusieurs bâtiments. Afin de renseigner les bâtiments, il faut systématiquement les attacher à un projet, un ensemble et un établissement, sachant qu'un bâtiment peut être lui-même un établissement, un ensemble ou un projet (Fig. 4).



**Figure 4.** Description de l'arborescence de la base de données ISIBAT.

Les informations sont rentrées comme selon la série de figures jointes:

### 1. Définition de la base.

**Nouvelle base**

*Création d'une base*

Nom de la base

Nom du propriétaire de la base

Valider Annuler

### 2. Définition d'un ensemble

**Ajouter un ensemble**

*Ajout d'un ensemble*

Nom de l'ensemble

Code

Valider Annuler

### 3. Définition d'un établissement.

**Ajouter un établissement**

Nom de l'établissement

Identifiant de l'établissement

Ensemble

Adresse de l'établissement

Code Postal

Ville

Propriétaire  Privé  Public

Latitude

Longitude

Zone sismique

Date de création  Date précise   Intervalle

Fonctions

Détail des fonctions

Documents annexes

Date de mise à jour de l'établissement

Mis à jour par

Valider Annuler

### 4. Définition d'un bâtiment.

**Bâtiment**

Nom du bâtiment

Identifiant du bâtiment

Ensemble

Etablissement

Attributs

Date de création  Date précise   Intervalle

Rénovations

Documents annexes

Date de mise à jour du bâtiment

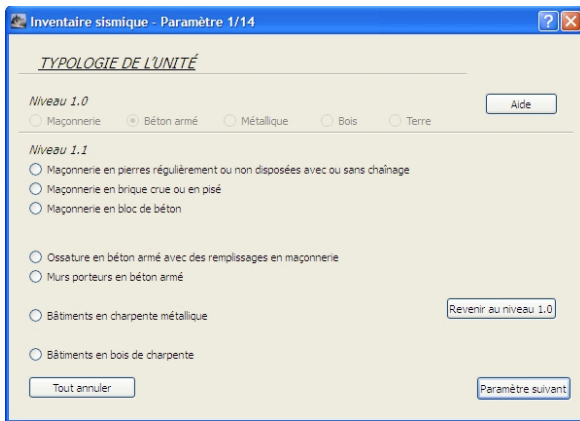
Mis à jour par

Renseignement des paramètres pour l'inventaire sismique

Sauvegarder

Annuler

## 5. Inventaire sismique.



En plus des informations générales, l'utilisateur peut effectuer l'inventaire sismique de chaque bâtiment, c'est-à-dire renseigner l'ensemble des paramètres ayant une influence sur la vulnérabilité des bâtiments, ce qui permettra ensuite au logiciel de déterminer un indice de vulnérabilité par bâtiment.

Il existe trois méthodes de calcul qui correspondent à trois niveaux de précisions différents : les méthodes 1.0, 1.1 et 2.0.

A minima, il est indispensable de renseigner un paramètre de niveau 1.0 lorsqu'il est demandé (Paramètres 1 à 9). En revanche, lorsque l'on demande seulement un paramètre de niveau 2.0 (Paramètres 10 à 14), on peut ne pas donner de réponse.

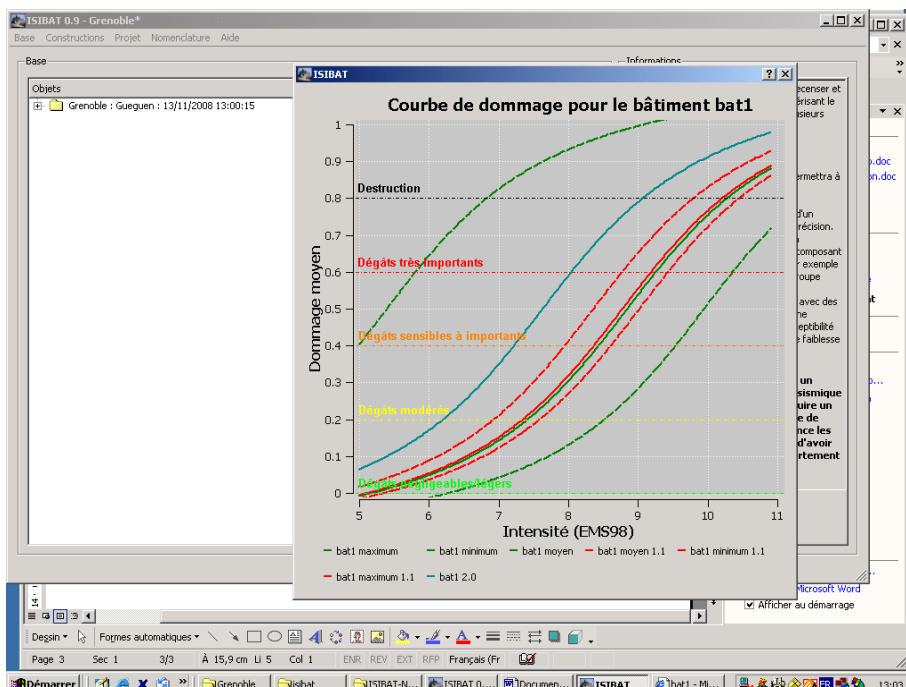
Le logiciel calcule ensuite l'indice de vulnérabilité du bâtiment selon les méthodes disponibles, c'est-à-dire celles pour lesquelles tous les paramètres ont été remplis. Après renseignement du paramètre d'un certain niveau, le logiciel propose à l'utilisateur d'entrer le paramètre pour le niveau de précision supérieur. La fenêtre se déroule alors petit à petit.

La création de « Projets » permet d'exploiter les données saisies jusque là, et en particulier celles concernant l'inventaire sismique.

Le logiciel demande dans un premier temps de donner un nom au projet, d'indiquer le nom de son créateur et propose de laisser des commentaires sur l'état actuel de la base.

Vient ensuite la fenêtre de choix du projet.

## 6. Résultats.



Il existe plusieurs types de projets possibles, concernant chacun des entités du programme : base, ensembles, établissements, bâtiments. A la création du projet, l'utilisateur choisit le point de vue à adopter. Le projet se charge ensuite d'éditer une fiche de résultats contenant les informations sur l'entité (nom, code ...) et l'indice de vulnérabilité si on souhaite traiter un bâtiment, ou l'indice la vulnérabilité moyenne si l'on parle d'un ensemble ou d'un établissement. Dans ce dernier cas, on récapitule

également les différents éléments composant l'entité dans un tableau avec quelques informations générales (liste de bâtiments pour un établissement, liste d'établissements pour un ensemble).

Le fonctionnement général de l'outil est détaillé dans le Guide de l'Utilisateur fourni avec le logiciel.

## **6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

Un paradoxe existe dans les pays à sismicité modérée : ils souhaitent évaluer la vulnérabilité sismique du bâti existant à grande échelle et à moindre coût, sans observations post-sismiques et avec une certaine précision. C'est dans cet esprit que la méthode VULNERALP a été calibrée. Elle consiste à estimer le dommage moyen en conformité avec l'échelle européenne à partir de recherches visuelles de critères structuraux simples.

Après une validation sur le bâti niçois, la méthode a été appliquée à Grenoble, sur des données collectées auprès de la population. La simplicité des paramètres permet de s'assurer à moindre coût d'un taux faible de critères erronés. Cette affirmation a en particulier été validée par comparaison avec des informations recueillies par des experts sur des quartiers et sur des bâtiments cibles et par comparaison avec l'histoire de l'urbanisation de Grenoble (Guéguen et al., 2007).

Suite à l'évaluation des écoles grenobloises, des actions sont en cours actuellement pour transférer de façon opérationnelle la méthode VULNERALP aux services de la ville de Grenoble qui souhaitent commencer une évaluation sismique de son patrimoine urbain. Une grille d'enquête spécifique a été construite et depuis utilisée par des services techniques en charge de patrimoine urbain. Les résultats obtenus par l'application de cette méthode à la Ville de Grenoble permettent ainsi une évaluation comparative et opérationnelle de la vulnérabilité des bâtiments et des établissements. Associés aux critères de décision à caractère politique et socio-économique, ils contribuent à préparer les choix stratégiques en matière de gestion du patrimoine bâti : entretien, renforcement, voire démolition ou construction à neuf.

Le « portage » des méthodes d'analyse de la vulnérabilité sur le logiciel ISIBAT est apprécié par les responsables en charge de l'entretien du patrimoine bâti, du fait de la facilité et de la rapidité du traitement automatique des informations. D'autre part, l'ergonomie du logiciel lui confère un statut d'utilisation opérationnelle indispensable.

Un apport indirect, mais appréciable, du logiciel ISIBAT réside dans la formalisation des connaissances sur les établissements et les bâtiments. Cette formalisation permet d'une part la validation des connaissances et d'autre part leur partage entre les agents ingénieurs et techniciens impliqués dans la maintenance des bâtiments.

Les travaux menés dans le cadre de cette étude ont montré qu'il s'avérait toutefois utile de préciser la limite et la distinction avec le diagnostic sismique. Cette distinction a donc fait l'objet d'une précision dans le logiciel. Il est clair que les approches de « diagnostic » et d'« inventaire » ne s'opposent pas mais qu'elles se complètent.

Toutefois, dans la culture des services, l'approche par « diagnostic » est déjà admise et classiquement utilisée car ponctuelle et motivée par un résultat opérationnel immédiat rendu nécessaire par une programmation déjà décidée dans un cadre réglementaire exigeant. Elle relève d'une logique « corrective » et structurelle couramment admise par les ingénieurs et décideurs.

Quant à elle, l'approche par inventaire facilitée par le logiciel ISIBAT relève d'une logique « préventive » apparue plus récemment, notamment avec le développement des plans communaux de sauvegarde.

L'importance du parc immobilier de la Ville de Grenoble, qui représente 1 200 bâtiments soit 1 million de mètres carrés, justifie l'intérêt d'une approche de type « inventaire » qui permet de disposer assez rapidement d'une vision de l'ensemble des établissements ou des bâtiments.

Les prochains développements consisteront donc à passer à une utilisation en vraie grandeur de la démarche d'inventaire, en prenant en compte le contexte opérationnel des services, au plan de l'organisation et du management, dans les processus de programmation et de prise de décision concernant les travaux neufs et d'entretien des bâtiments.

D'autre part, outre leur usage pour les fonctions classiques de maîtrise d'ouvrage, les résultats fournis par le logiciel ISIBAT pourrait également être valorisés dans une réflexion utile aux fonctions de gestion de crise et de mise en œuvre des secours, comme aux urbanistes. En effet, bâtiments et établissements, complétés par les infrastructures, peuvent être considérés comme les éléments d'un ensemble concourant aux différentes fonctions du système urbain. Ce volet ouvre le champ d'une approche orientée sur une dimension systémique et sociétale de la vulnérabilité sismique.

## **Bibliographie.**

- AFPS, 1996, Le séisme d'Epagny (Haute-Savoie) du 15 juillet 1996 - Rapport de mission, Paris: AFPS Ed., 128 p.
- ATC 21, 1988, "Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards : a handbook", Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Benedetti D., Petrini V., 1984, "On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure", L'Industria delle Costruzioni, Vol. 18, p. 66-78 (in Italian).
- Coburn A., Spence R., 2002, Earthquake protection, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley and Son Eds., England, 420 p.
- Combescure D., Guéguen P, Lebrun B., 2005, Vulnérabilité sismique du bâti existant: approche d'ensemble. Cahier technique, Paris: AFPS Ed., Vol. 25, 121 p.
- Demoraes F., 2005, "Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el distrito metropolitano de Quito", Colección Quito Metropolitano, Vol. 26, 230 p, ISBN 9978-970-53-3.
- Faccioli E., Pessina V., Calvi G.M., Borzi B., 1999, "A study on damage scenarios for residential buildings in Catania City", Journal of seismology, Vol. 3, n°3, p327-343.
- FEMA 178, 1997, NEHRP handbook for the seismic evaluation of existing buildings, Federal Emergency Management Agency.
- EMS98, 2001, "L'Echelle Macrosismique Européenne 1998", Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 19, p124.
- Ergunay O., Gulkan P., 1991, "Seismic risk reduction and disaster management: national report of Turkey", in Proceedings of Workshop on Seismic Risk Reduction and Disaster Management, Roma, Italy, November, 1991.
- D'Ayala D., Spence R., Oliveira C., Pomonis A., 1997, "Earthquake loss estimation for Europe's historic town centres", Earthquake Spectra, Vol. 13, n°4, p773-793.
- Dolce M., Masi A., Marino M., Vona M., 2003, "Earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) including site effects", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 1, p115-140.
- GNDT, 1993, Rischio sismico di edifici pubblici - Parte I: aspetti metodologici, Centro Servizi Quasco, Bologna, 425p.

- Guéguen P., Vassail T., 2003, Typologie de l'agglomération grenobloise, Rapport du projet VULNERALP, 38p.
- Guéguen P., Cornou C., Garambois S., Banton J., 2007a, "On the limitation of the H/V spectral ratio using seismic noise as an exploration tool: application to the Grenoble valley (France), a small apex ratio basin", *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 164, n°1, p115-134.
- Guéguen P., Negulescu K., Michel C., Rey R., Vaissail T., 2007b, Sismo-DT. Thème 3 : évaluation de la vulnérabilité, Rapport du projet Sismo-DT, 28p.
- Guéguen P, Michel C, LeCorre L., 2007c, "A simplified approach for vulnerability assessment in moderate-to-low seismic hazard regions: application to Grenoble (France)", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 5, n°3, p467-490.
- HAZUS, 1997, Earthquake loss estimation methodology. Hazus technical manuals, National Institute of Building Science, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, p327.
- Jongmans D., Plumier A., 2000, Etude Pilote du risque sismique sur une partie de la ville de Liège, rapport interne, Université de Liège, Faculté des sciences appliquées. (in french)
- Lang K., Bachmann H., 2003, "On the seismic vulnerability of existing unreinforced masonry buildings", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol.7, n°3, p407-426.
- Lebrun B., Hatzfeld D., Bard P.-Y., 2001, "A site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France)", *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 158, p2543-2557.
- Lutoff C., 2000, Le système urbain niçois face à un séisme. Méthode d'analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels, Thèse de doctorat - Chambéry : Université de Savoie - 367p.
- MEDD, 1982, Le risque sismique. Délégation aux risques majeurs, 1982.
- Oliveira C.S., 2003, "Seismic vulnerability of historical constructions: a contribution", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol.1, n°1, p37-82.
- Onur T., Ventura C.E., Liam Finn W.D., 2005, "Regional seismic risk in British Columbia – Damage and loss distribution in Victoria and Vancouver", *Can. J. Civ. Eng.*, Vol.32, p361-371.
- Otani S., 2000, "Seismic vulnerability assessment methods for buildings in Japan", *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, Vol.2, n°2, p47-56.
- Parent J.-F., 1982, Grenoble, deux siècles d'urbanisme, Grenoble: Presse Universitaire, 187p.
- RiskUE, 2003, An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different european towns, Projet Européen, EVK4-CT-2000-00014, 325p.
- Roca A., Goula X., Susagna T., Chávez J., González M., Reinoso E., 2006, "A simplified method for vulnerability assessment of dwelling buildings and estimation of the damage scenarios in Catalonia (Spain)", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol.4, n°2, p141-158.
- Seismocare, 1998, Seismocare Computed Aided Reduction of Seismic Risk with application to existing cities, town planning and construction - Directions to fill in the vulnerability form GNDT levels 1 and 2, European project Environment and Climate, 1994-1998, ENV4-CT97-0588.
- Steimen S., Faeh D., Giardini D., Bertogg M., Tschudi S., 2004, "Reliability of building inventories in seismic prone regions", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol.2, n°3, p361-388.
- Ventura C.E., Liam Finn W.D., Onur T., Blanquera A., Rezai M., 2005, "Regional seismic risk in British Columbia – Classification of buildings and development of damage probability functions", *Can. J. Civ. Eng.*, Vol.32, p372-387.
- VULNERALP, 2007, Projet d'évaluation de la vulnérabilité sismique à Grenoble. <http://www-igut.obs.ujf-grenoble.fr/~pgueg/VULNERALP>)