

Evaluation de la tenue au séisme de bâtiments

Michel CAPRON, Bonnard & Gardel ingénieurs conseils

1. Introduction

Notre bureau utilise l'appareil MR2002 dans le cadre de mandats variés dont quelques-uns sont listés au chapitre 3.

L'utilisation principale est la détermination de la fréquence propre d'une structure existante afin de préciser son comportement, son état de dégradation et ses conditions d'appui.

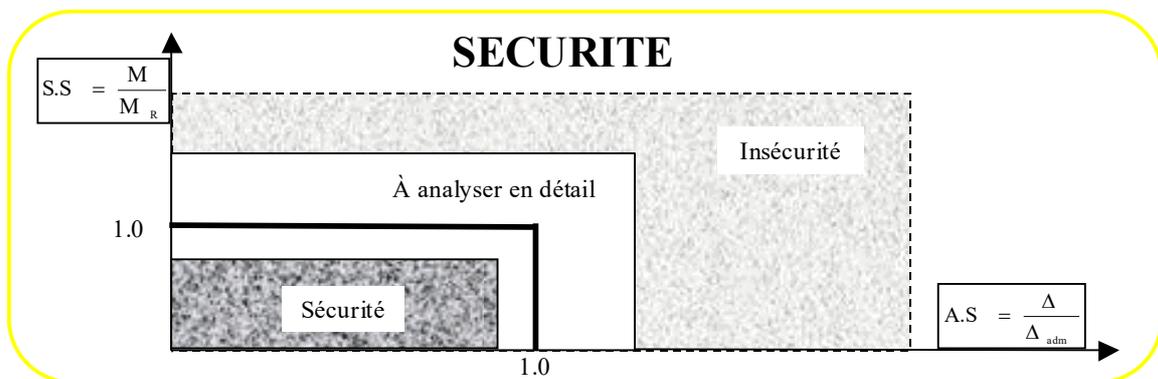
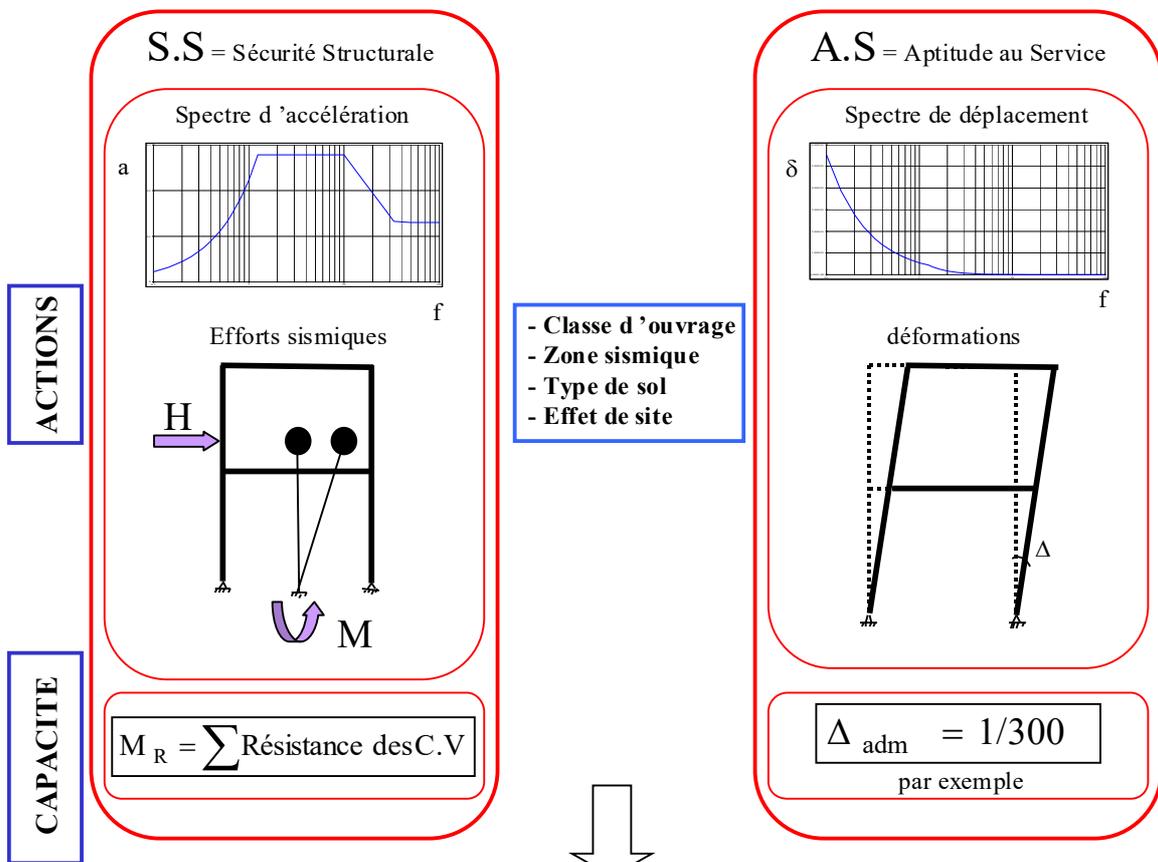
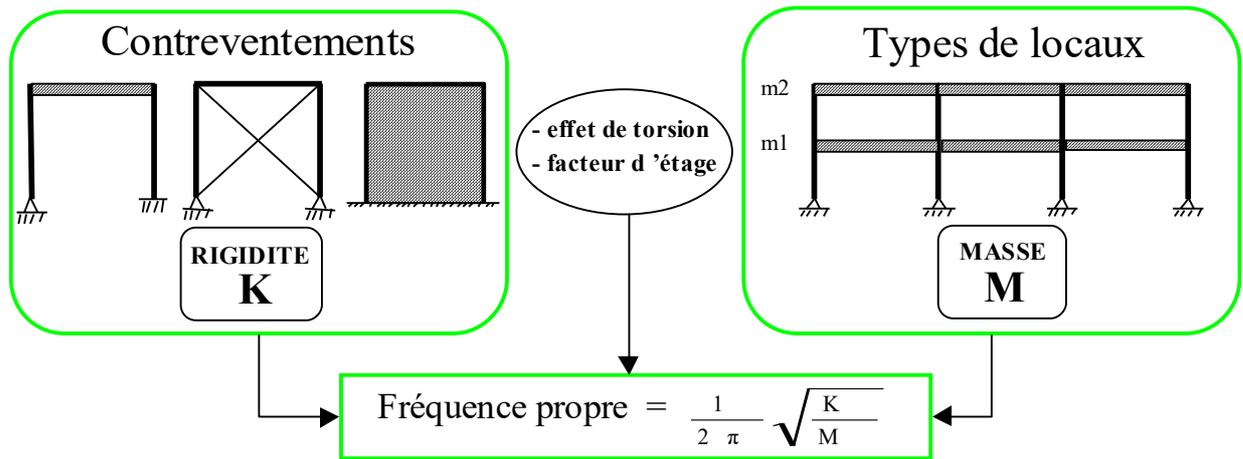
Nous présentons ici son utilisation dans le cadre de l'Evaluation de la tenue au séisme des bâtiments du réseau vital valaisan pour lequel nous avons développé un logiciel de calcul afin d'estimer rapidement la sécurité d'un grand nombre de bâtiments.

Or, une des données de base d'un calcul sismique est la connaissance des fréquences propres du bâtiment. Les fréquences propres estimées approximativement par différentes formules sont comparées à celle calculée par le logiciel View2002 sur base d'une mesure de vibration sur place avec le MR2002.

2. Méthode d'analyse

La méthode est résumée dans la figure 1. Il s'agit de déterminer un quotient de *Sécurité Structurale* et un quotient d'*Aptitude au Service*. Lorsque ces quotients sont inférieurs à l'unité, le bâtiment est jugé, en première estimation, sûr par rapport au risque sismique. Des valeurs élevées indiquent une insécurité par rapport à la résistance ou aux déformations. Pour des valeurs légèrement supérieures à un, une analyse détaillée est nécessaire afin d'affiner les hypothèses de calculs.

Un logiciel de calcul sur tableur Excel a été développé afin d'estimer rapidement la sécurité d'un grand nombre de bâtiments.



2.1 Valeur de la fréquence propre

Dans cette méthode, une des valeurs clés est la valeur de la fréquence propre du bâtiment. Cette valeur est choisie par l'ingénieur sur base:

- des formules approximatives données dans les normes
- d'une formule développée pour le logiciel
- d'une mesure sur place avec le MR2002

La figure 2 montre que la fréquence propre des bâtiment considéré ne répond en fait pas vraiment à une loi unique !

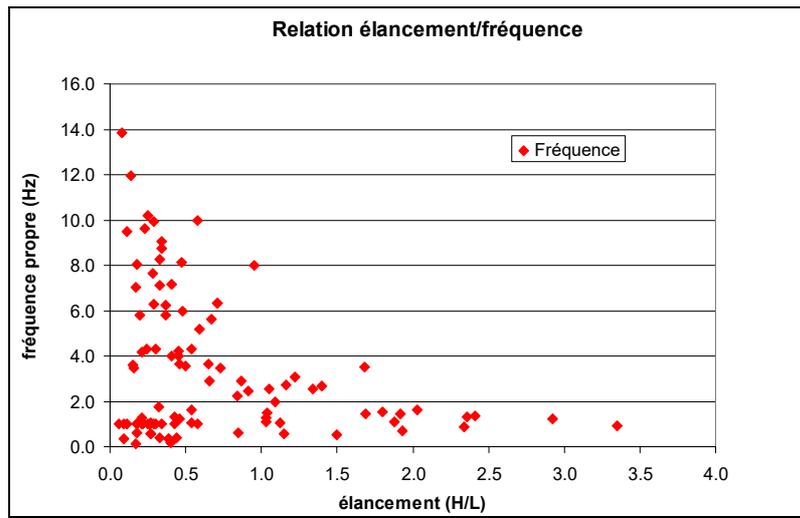


Figure 2: Relation entre l'élancement des bâtiments et la fréquence propre calculée de ceux-ci

2.1.1 Formules approximatives des normes

Par exemple, la norme SIA 160 donne :

$$f = 13 \cdot C_s \cdot \sqrt{I/h}$$

ou

$$f = C_s \cdot 12/n$$

et l'EC 8 donne :

$$T = C_t \cdot H^{3/4}$$

ou

$$T = 2 \cdot \sqrt{d}$$

2.1.2 Formule développée pour le logiciel

Etant donné le manque de précision des formules approximatives données dans les normes pour l'évaluation de la fréquence propre d'un bâtiment, le logiciel propose une formule en fonction de la véritable rigidité des contreventements et en fonction des masses réelles du bâtiment.

La rigidité horizontale du bâtiment est égale à la somme des rigidités des contreventements disposés dans la direction considérée. Pour les cadres, le choix entre des piliers articulés ou encastres à la base est possible. L'influence du degré d'encastrement à la base ainsi que celle de la rigidité des planchers intermédiaires sont prises en compte via

un facteur d'étage calculé par ailleurs. En ce qui concerne les contreventements en béton, le module d'élasticité est réduit de manière à tenir compte de la fissuration.

Quant à la masse du bâtiment, elle est supposée égale à la somme de la masse propre et des surcharges d'exploitation. La masse propre est évaluée sur la base du type de plancher des étages et de leurs épaisseurs. Les surcharges d'exploitation correspondent aux valeurs données dans la norme SIA 160 et sont multipliées par un facteur de charge compris entre 0.3 et 1.0 selon le type.

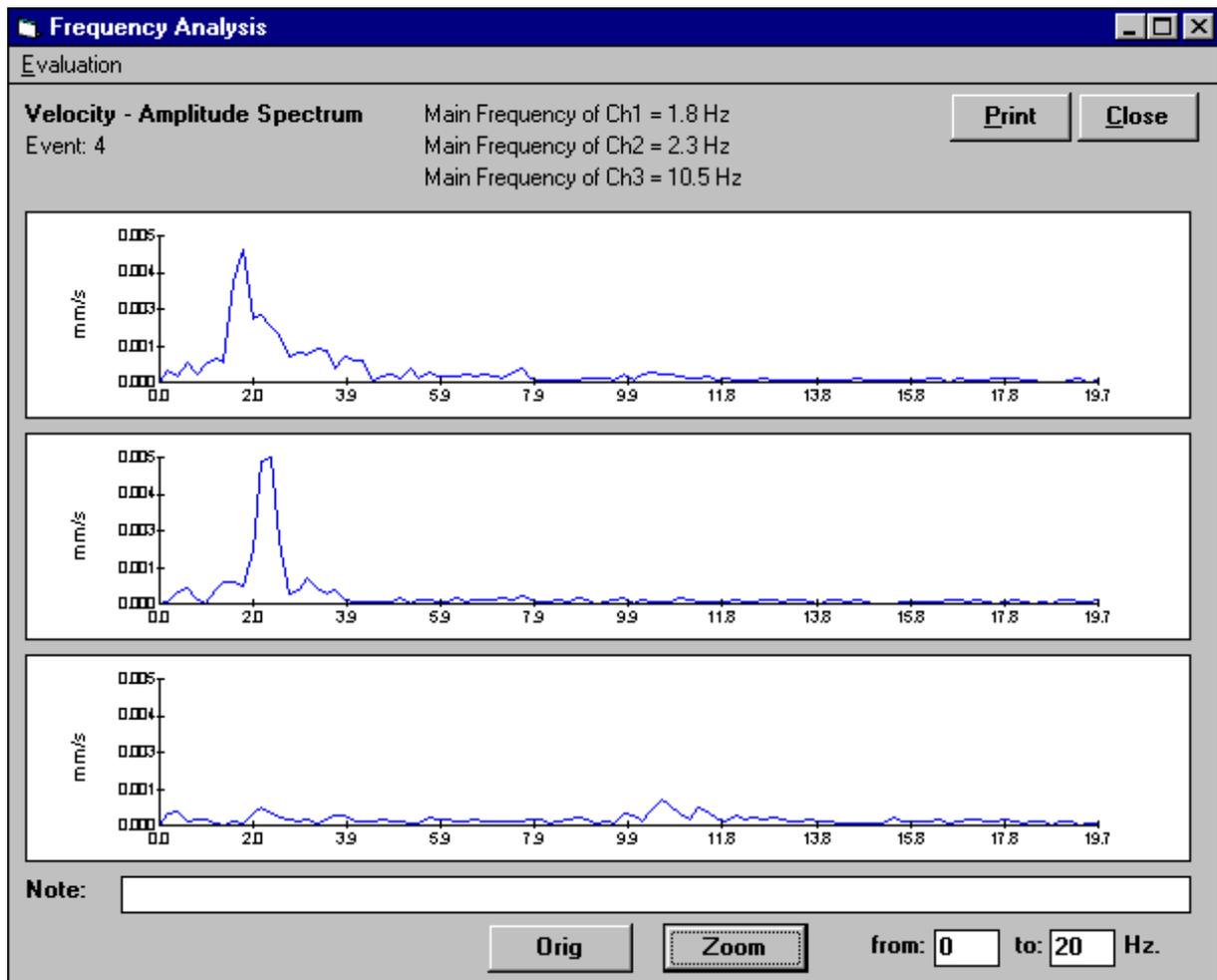
Sur base de ces rigidités et masses, la fréquence propre du bâtiment est évaluée à :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \tag{1}$$

2.1.3 Mesure sur place avec le MR2002

Nous comparons ensuite les valeurs obtenues par ces méthodes avec une mesure de vibration sur place avec le MR2002 un jour où le vent est suffisant. Le logiciel View2002 donne les fréquences propres dans les 2 directions horizontales (v. figure 3).

Bien sûr, cette valeur doit encore être adaptée pour tenir compte du comportement réel du bâtiment lors d'un séisme. En effet, les éléments non-porteurs seront détruits dès le début du tremblement de terre et leur apport de rigidité et de masse doivent être considéré en conséquence.



2.2 Sécurité structurale

A partir de cette fréquence propre, le spectre d'accélération permet de calculer les efforts sismiques que subit le bâtiment. Les spectres de la norme suisse SIA 160 sont donnés en fonction de la zone sismique et du type de sol de fondation. L'effort sismique tient également compte de la classe d'ouvrage (via un facteur de ductilité) ainsi que d'un effet de site correspondant à une amplification locale ou à un risque de liquéfaction.

La résistance ultime des contreventements est évaluée dans le logiciel en fonction:

- de la dimension et de la géométrie des contreventements
- des caractéristiques des sections et des matériaux
- des charges verticales
- d'une amplification par torsion selon la répartition en plan des contreventements

Le quotient de sécurité structurale est le ratio entre le moment sollicitant extérieur et la résistance totale des contreventements.

2.3 Aptitude au service

Le quotient d'Aptitude au Service est le ratio entre la déformation latérale maximale divisée par la déformation admissible du bâtiment.

La déformation horizontale maximale sous l'effet du séisme est donnée par le spectre de déplacement à partir de la fréquence propre déterminée plus haut. Quant à la déformation admissible, elle est choisie en fonction de la fragilité des cloisons ou du maintien de l'ouverture des portes de garages des véhicules de secours par exemple.

2.4 Sécurité

Pour chaque direction principale, les quotients de Sécurité Structurale et d'Aptitude au Service sont calculés et reportés sur un système d'axes. Pour des quotients inférieurs à 1.0 la sécurité est assurée, alors que pour des valeurs supérieures à 1.0 une analyse détaillée est nécessaire. C'est alors qu'un renforcement éventuel de la structure peut être décidé.

Cette approche basée sur deux quotients permet donc non seulement l'évaluation et le classement rapide d'un groupe de bâtiments, mais aussi une estimation assez précise du degré de Sécurité Structurale et d'Aptitude au Service vis à vis du séisme.

3. Autres utilisations du MR2002

Dans le cadre de nos activités, nous avons eu l'occasion d'utiliser le MR2002 par exemple dans les cas suivants :

- **Usine horlogère** : problème de mise en résonance par une machine de ventilation dont la fréquence propre était proche de la fréquence propre des dalles.
- **Tunnel du Mont-Blanc** : mesure de la fréquence propre de la dalle de roulement afin d'en tirer les zones endommagées par l'incendie.
- **Usine hydroélectrique de Bieudron** : mesures des vibrations des groupes de 400 MW et de leurs fondations.
- **Pont de quai** : mesure du comportement dynamique afin de caler le modèle de calcul statique.