

INFLUENCE DES DIMENSIONS DU BATIMENT SUR LA VALEUR DE LA PERIODE (CAS DES STRUCTURES AUTO-STABLES)

ALEM T.¹, HANNACHI¹ N.E.¹, BOURNINE H.¹

¹ Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.

e-mail : tassadit.a@gmail.com

e-mail : hannachina@yahoo.fr

Résumé : La période fondamentale est un paramètre essentiel pour la détermination de la réponse des structures à un chargement sismique. Ce paramètre est généralement calculé en utilisant des formules empiriques fournies par les règlements parasismiques et développées à partir de données statistiques. La présente étude traite de l'évaluation de l'influence des dimensions d'un bâtiment sur la valeur de la période. Cette dernière a été calculée analytiquement par les lois empiriques des codes et numériquement par le logiciel SAP 2000. Des corrélations sont établies entre cette période et certains paramètres (hauteur, longueur, largeur et rigidité) de la structure. Les formules résultantes sont comparées aux formules du règlement parasismique algérien RPA 99, américain UBC 97, européen EUROCODE 8 et canadien NBCC 95. Une nouvelle formule de la période fondamentale de bâtiments auto-stables est proposée. La disponibilité d'essais et de résultats à l'échelle réelle permettra de proposer des amendements de la démarche propre par rapport au RPA.

Mots clés : Structures auto-stables, Périodes propres, Dimensions du bâtiment, Règlements parasismiques.

Abstract : The fundamental period is an essential parameter for the determination of the structures response with a seismic loading. This parameter is generally calculated by using empirical formulas provided by the seismic codes and developed from statistical data. The present study deals with the evaluation of the influence of building dimensions on the period value. The latter was calculated analytically by the empirical codes laws and numerically by software SAP 2000. Correlations are established between this period and some building parameters (height, length, width and rigidity). The formulas given by these correlations are compared with the ones Algerian seismic code RPA 99, American seismic code UBC 97, European seismic code EUROCODE 8 and Canadian seismic code NBCC 95. A new formula for fundamental period for self-stabilizing buildings is proposed. The availability of tests and results on a real scale will make it possible to propose amendments of the clean step compared to the RPA.

Key words : Self-stabilizing structures – Natural periods – Building dimensions – Seismic codes.

1. Introduction:

Les tremblements de terre imposent aux constructions des sollicitations dynamiques qui peuvent atteindre des intensités importantes. Le choix de la structure pour une construction parasismique est donc plus délicat que pour un ouvrage non parasismique. L'un des critères de choix est la non-résonance avec le sol.

La période propre d'un bâtiment est une notion importante en conception parasismique, car si elle est proche ou identique à celle du sol d'assise, le bâtiment entre en résonance avec ce dernier, ce qui peut lui être fatal. On devrait donc concevoir les constructions de manière que leur période propre soit très différente de celle du sol.

Le paramètre période est généralement calculé en utilisant des formules empiriques fournies par les règlements sismiques et développées à partir de données statistiques. Ces formules négligent généralement les dimensions en plan des structures, qui pourtant peuvent avoir une influence significative sur leurs périodes fondamentales, et conduire par conséquent à un mauvais dimensionnement de celles-ci.

La présente étude a pour objectif d'évaluer cette influence sur la valeur de la période des constructions en ossatures auto-stables.

2. Etude bibliographique

Une étude bibliographique a été entreprise afin de faire le point sur la vision du règlement parasismique algérien Ref. [4] sur le calcul de la fréquence propre des structures. Nous avons aussi donné les différentes méthodes et lois empiriques utilisées dans les règlements étrangers tels que : le code américain UBC 97 (Uniform Building Code) Ref. [5], l'EUROCODE 8 Ref. [2] et le règlement canadien NBCC 95 (National Building Code of Canada) Ref. [1].

Dans les règlements parasismiques, la connaissance de la période propre est capitale pour un bon dimensionnement. Pour aider le concepteur, des formules empiriques donnant la période propre sont précisées dans les codes. Farsi et Bard Ref. [3] ont déjà comparé leurs mesures aux règles américaines (UBC88), françaises (PS92) et algériennes (RPA88). La formule la plus simple utilisée généralement est $T=N/10$, avec N le nombre d'étages.

Les formules américaines sont initialement issues

de la campagne d'enregistrement de vibrations ambiantes de Carder (1936) après le séisme de Long Beach de 1933 sur 212 bâtiments, complétée avec des mesures japonaises (Housner, 1963). Cela concernait des bâtiments en maçonnerie et en acier essentiellement. Les formules qui en ont découlé ($T=H/\sqrt{L}$, avec H la hauteur et L la longueur du bâtiment parallèlement à la direction de sollicitation considérée) ont été largement débattues dans les années 60 (Housner, 1963). Ce type de formule a également été adopté dans le code algérien (RPA88), coréen (Lee et al., 2000) et partiellement dans les règles françaises PS92, où elle est corrigée d'un facteur lié à l'élancement pour prendre en compte la raideur supérieure des murs voiles ou des remplissages. Les formules des PS92 sont :

$$T = 0,10 \frac{H}{\sqrt{L}} \text{ pour les ossatures non remplies; } (1)$$

$$T = 0,08 \frac{H}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{H}{H+L}} \text{ pour les murs voiles ou mixte; } (2)$$

$$T = 0,06 \frac{H}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{H}{H+2L}} \text{ pour les ossatures remplies. } (3)$$

Housner (1963) et Farsi & Bard (2004) critiquent la pertinence de l'utilisation de la dimension latérale L dans la formule. Pour ces auteurs, seule la hauteur du bâtiment a une influence statistique sur sa période propre, si l'on veut se contenter de formules simplifiées. Bien que Carder ait été un précurseur dans les mesures in situ, les techniques d'enregistrement et de détermination des fréquences propres en étaient à leurs balbutiements (enregistrements analogiques, détermination de la période en comptant les oscillations...) et le bâti a lui-même largement évolué. Pourtant aucune autre campagne de cette ampleur n'a été menée depuis et ces données ont été utilisées pendant longtemps. Les conclusions de Housner ainsi que les enregistrements du séisme de San Fernando en 1971 dans des structures grâce au programme californien CS-MIP ont fait évoluer les formules dans les versions suivantes de l'Uniform Building Code. Elle prend la forme suivante :

$$T = C_r H^{\beta} (4)$$

Cette formule est utilisée dans tous les codes parasismiques que soit le RPA, l'UBC, le NBCC et l'EUROCODE 8.

Dans l'esprit des codes américains, cette formule est censée sous-estimer les périodes de 10 à 20% de manière à calculer des valeurs d'effort tranchant conservatives (Goel et Chopra, 1998). Notons que l'on sous-estime alors les déplacements, ce qui n'est pas forcément un bon calcul compte tenu des nouvelles approches du génie parasismique, fondées sur les méthodes en déplacement. Or, Goel et Chopra (1998) critiquent cette formule du fait qu'elle ne sous-estime pas les périodes, d'une part, et qu'elle n'est pas satisfaisante pour les structures en voiles d'autre part.

3. Etude paramétrique

Après le parcours des formules forfaitaires, donnant la période fondamentale d'une structure, précisées dans les codes parasismiques à travers le monde, nous avons constaté que pour la majorité de ces derniers, le paramètre pris en compte dans les lois empiriques était le facteur hauteur de la construction.

Cependant, le calcul de cette même caractéristique (période des structures) par le logiciel SAP 2000, qui est un logiciel basé sur la méthode des éléments finis, donne des résultats différents de ceux obtenus par les lois empiriques, ce qui permet de dire que d'autres paramètres influent sur cette valeur de la période.

La présente étude est menée dans le but de faire le point sur ces paramètres et leur influence. Dans ce qui suit, nous allons travailler avec quatre règlements parasismiques à savoir : le RPA (règlement parasismique algérien), NBCC 95 (National Building Code of Canada), UBC 97 (Uniform Building Code) qui est le règlement américain et l'EUROCODE 8 (code parasismique de l'union européenne).

3.1. Choix des structures

Pour cette étude, nous nous sommes volontairement limités à une catégorie particulière de constructions, choisie cependant en fonction de sa représentativité en nombre dans le parc immobilier algérien. Nous avons donc porté notre attention aux bâtiments auto-stables en béton armé.

Nous avons réparti ces structures en trois types différents qui sont :

- Type A : Structures de mêmes dimensions en plan et de rigidités différentes ;
- Type B : Structures de rigidité équivalentes et de dimensions en plan différentes.

- Type C : Structures dont le rapport H^*L/I est différent ;

Le choix des trois familles de bâtiment a été élaboré dans le but de démontrer l'influence de la rigidité et des dimensions en plan sur la valeur de la période propre des structures auto-stables.

Pour la première famille de structures, nous avons varié les deux paramètres, hauteur et rigidité tout en gardant les dimensions en plan constantes.

Pour le second type, nous avons effectué des variations sur les dimensions en plan des structures de rigidité équivalente.

Quant à la troisième famille de constructions, l'échantillon étudié est de 5 structures dont le rapport L^*H/I est différent. La variation s'est faite en deux phases :

- Variation du paramètre hauteur H par rajout d'étages (trois variations) ;
- Variation du paramètre largeur l par rajout de trames (trois variations).

A titre indicatif, nous donnerons seulement l'étude de la structure C-1.

La structure C-1 choisie est un bâtiment R+4 en ossature auto stable à usage d'habitation implanté en zone de moyenne sismicité, zone IIa.

Les caractéristiques géométriques de la structure sont :

- Longueur totale : 19,20 m ;
- Largeur totale : 12,50 m ;
- Hauteur totale : 16,89 m ;
- Hauteur d'étage courant : 3,06 m ;
- Hauteur du RDC : 3,60 m.

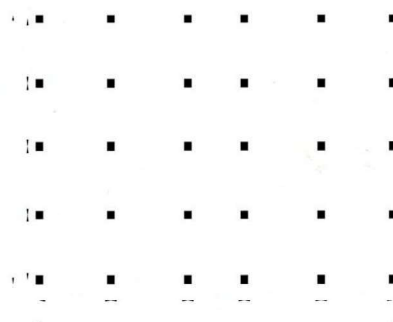


Figure 1 : Vue en plan de la construction C-1

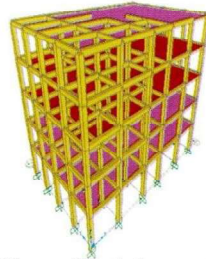


Figure 2 : Vue en 3D de la construction C-1

3.2. Pré-dimensionnement de la structure C-1:

Les dimensions adoptées sont résumées dans le tableau suivant :

Plancher	Poteau	Poutres principales	Poutres secondaires
16x5	40 x 40	40 x 30	35 x 25

La variation effectuée sur ce type de structures se fait en deux phases :

- Variation du paramètre hauteur H par rajout d'étages (St C-1-1, St C-1-2, St C-1-3).
- Variation du paramètre largeur l par rajout de trames (St C-1-5, St C-1-6, St C-1-7).

Tableau 1 : Variations des dimensions effectuées sur la structure C-1.

Bâtiment	Nbre de Niveaux	H	L	l	$\frac{H \times L}{l}$
St C-1-1	8	26.70	19.20	12.50	41.01
St C-1-2	7	23.43	19.20	12.50	35.98
St C-1-3	6	20.16	19.20	12.50	30.96
St C-1-4	5	16.89	19.20	12.50	25.94
St C-1-5	5	16.89	19.20	15.40	21.05
St C-1-6	5	16.89	19.20	18.60	17.43
St C-1-7	5	16.89	19.20	21.60	15.01

3.2.1. Valeurs de la période selon les différents règlements

Les périodes des structures étudiées sont données dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Valeurs des périodes des structures C-1, obtenues par les lois empiriques.

Bâtiment	RPA	NBCC	UBC 97	Eurocode 8
St C-1-1	0.881	0.881	0.859	0.881
St C-1-2	0.799	0.799	0.778	0.799
St C-1-3	0.714	0.714	0.695	0.714
St C-1-4	0.625	0.625	0.609	0.625
St C-1-5	0.625	0.625	0.609	0.625
St C-1-6	0.625	0.625	0.609	0.625
St C-1-7	0.625	0.625	0.609	0.625

3.2.2. Valeurs de la période par le logiciel SAP 2000

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Valeurs des périodes des structures C-1, obtenues par le logiciel SAP

Bâtiment	Période RPA	Période NBCC	Période UBC	Période Eurocode8
St C-1-1	1.090	1.073	1.094	1.088
St C-1-2	0.952	0.938	0.956	0.951
St C-1-3	0.816	0.804	0.819	0.815
St C-1-4	0.681	0.671	0.684	0.680
St C-1-5	0.678	0.668	0.680	0.677
St C-1-6	0.682	0.672	0.685	0.681
St C-1-7	0.682	0.672	0.684	0.681

4. Etude comparative

Les résultats des périodes ainsi obtenus par les formules analytiques des codes parasismiques et par le logiciel SAP 2000 ont fait l'objet d'une étude comparative. Cette étude a permis de confronter l'ensemble des résultats et de montrer les écarts existants entre les périodes calculées analytiquement et celles obtenues numériquement.

4.1. Ecart entre les périodes obtenues par les lois empiriques et celles données par logiciel

Le tableau et la figure qui suivent représentent les écarts entre les valeurs de la période propre calculées à l'aide des lois empiriques et celles obtenues par le logiciel de calcul.

Nous remarquons que ces écarts diminuent à chaque variation du nombre de niveaux apportée sur la structure. Ils passent de 23,73 % à 8,98 % pour une variation de trois niveaux dans le cas du RPA.

Nous constatons, aussi, que ces écarts augmentent légèrement lors du rajout des travées dans le sens transversal, cela s'explique par l'augmentation de la rigidité.

Tableau 4 : Ecart entre périodes empiriques et périodes numériques de la structure C-1.

Bâtiment	Période (SAP2000)				Période (lois empiriques)				Ecart (%)			
	RPA	NBCC	UBC	EURO	RPA	NBCC	UBC	EURO	RPA	NBCC	UBC	EURO
St C-1-1	1.090	1.073	1.094	1.088	0.881	0.881	0.859	0.881	23.732	21.802	27.414	23.505
St C-1-2	0.952	0.938	0.956	0.951	0.799	0.799	0.778	0.799	19.192	17.439	22.804	19.067
St C-1-3	0.816	0.804	0.819	0.815	0.714	0.714	0.695	0.714	14.357	12.675	17.760	14.216
St C-1-4	0.681	0.671	0.684	0.68	0.625	0.625	0.609	0.625	8.984	7.384	12.309	8.824
St C-1-5	0.678	0.668	0.68	0.677	0.625	0.625	0.609	0.625	8.504	6.904	11.653	8.344
St C-1-6	0.682	0.672	0.685	0.681	0.625	0.625	0.609	0.625	9.144	7.544	12.474	8.984
St C-1-7	0.682	0.672	0.684	0.681	0.625	0.625	0.609	0.625	9.144	7.544	12.309	8.984

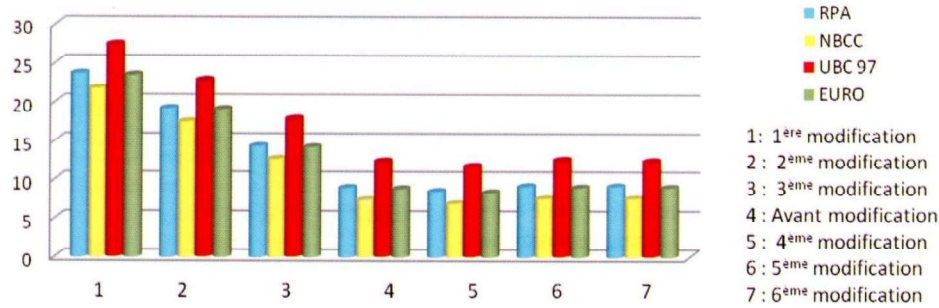


Figure 3 : Ecart entre périodes des lois empiriques et celles du SAP pour la structure C-1.

En effet, les périodes données par le SAP sont plus importantes que celles calculées par les lois simplistes des codes. Cela s'explique par le fait que le logiciel SAP 2000 prend en compte d'autres paramètres que la hauteur (rigidité, dimensions en plan) dans le calcul de la période d'une structure.

Par la suite, l'analyse de la variation des périodes en fonction de certains paramètres, combinant les trois dimensions géométriques, tels que $H \times L / l$, $H / \sqrt{L}$, $H / \sqrt{l}$, $H / \sqrt{L + l}$, $H / \sqrt{L \times l}$ et $H^2 / \sqrt{L \times l}$ ainsi que la réalisation des régressions linéaires de la période en fonction de ces paramètres avec un ajustement des courbes par la méthode des moindres carrés ont donné de bons résultats. En effet, les coefficients de corrélation ainsi obtenus pour $H / \sqrt{L + l}$, $H / \sqrt{L \times l}$ et $H^2 / \sqrt{L \times l}$ sont respectivement de l'ordre de 94,7 %, 94,8 % et 94,9 %, et avec de faibles écarts-types.

Tableau 5 : Périodes en fonction des différents paramètres géométriques de la structure C-1.

	Période (s)									
	Dimensions (m)									
	RPA	UBC	EURO	NBCC	H	L	l	$H \times L / l$	$H / \sqrt{L}$	$H / \sqrt{l}$
St C-1-1	1.090	1.094	1.088	1.075	26.70	19.20	12.50	41.01	6.09	7.55
St C-1-2	0.952	0.956	0.951	0.938	23.43	19.20	12.50	35.99	5.35	6.63
St C-1-3	0.816	0.819	0.815	0.804	20.16	19.20	12.50	30.97	4.60	5.70
St C-1-4	0.681	0.684	0.68	0.671	16.89	19.20	12.50	25.94	3.85	4.78
St C-1-5	0.678	0.68	0.677	0.668	16.89	19.20	15.40	21.06	3.85	4.30
St C-1-6	0.682	0.685	0.681	0.672	16.89	19.20	18.60	17.43	3.85	3.92
St C-1-7	0.682	0.684	0.681	0.672	16.89	19.20	21.60	15.01	3.85	3.63

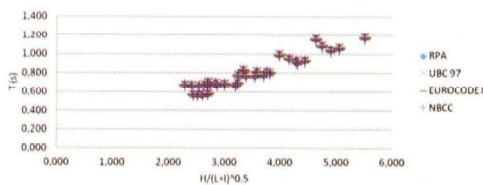


Figure 4 : Variation de la période en fonction du rapport $H / \sqrt{L + l}$ pour les structures de type C

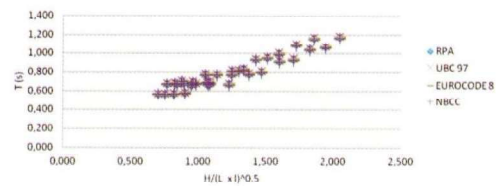


Figure 5 : Variation de la période en fonction du rapport $H / \sqrt{L \times l}$ pour les structures de type C

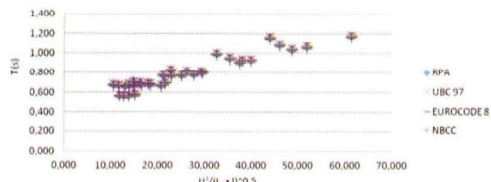


Figure 6 : Variation de la période en fonction du rapport $H^2 / \sqrt{L \times l}$ pour les structures de type C.

5. Synthèse des résultats

L'analyse des résultats obtenus par l'étude comparative a permis de faire les constatations suivantes :

- des écarts existent entre les valeurs, de la période propre d'une structure, calculées avec les lois empiriques des règlements parasismiques et celles obtenues par le logiciel de calcul des structures SAP 2000, d'où l'influence d'autres paramètres (que la hauteur comme préconisé dans les codes) sur cette quantité ;
- plus une structure est rigide, plus sa période propre diminue. Ce qui confirme l'influence de la rigidité sur la valeur de la période fondamentale d'une structure ;

Cependant, nous n'allons pas donner une loi calculant la période en fonction de la rigidité vu la complexité de quantifier ce paramètre au préalable;

- l'analyse de la famille B, nous a permis de mettre l'accent sur l'influence certaine des dimensions en plan d'une structure sur la valeur de sa période propre. Chose que nous avons démontrée par l'étude de la troisième famille qui regroupe les deux type A et B ;

- les valeurs de la période propre suivent une évolution croissante en fonction de l'augmentation de la hauteur d'une structure, chose qui confirme les formules forfaitaires précisées dans les règlements de part le monde ;

- a période presque égale pour chaque structure avec les différents règlements, les valeurs des déplacements sont nettement variables d'un code à l'autre. Cela peut s'expliquer par la différence du niveau de ductilité envisagé, de la qualité des matériaux utilisés dans les constructions et la différence du coefficient de comportement pris en compte dans ces règlements ;

- les corrélations entre la période et certains paramètres combinant les dimensions géométriques tels que $H/\sqrt{L+l}$, $H/\sqrt{L \times l}$ et $H^2/\sqrt{L \times l}$ donnent de très bons résultats. En effet, les coefficients de corrélation ainsi obtenus pour ces paramètres sont respectivement de l'ordre de 94,7 %, 94,8 % et 94,9 %, et avec de faibles écarts types.

5.1. Proposition d'une nouvelle loi

Les résultats de 80 périodes propres de bâtiments en ossature auto-stables, pour chacun des quatre règlements considérés dans cette étude, a permis

de mettre en évidence la variabilité de ce paramètre essentiel en génie parasismique. Une nouvelle formule de la période fondamentale de bâtiments auto-stables est proposée, avec un écart type de 0,116 et un coefficient de corrélation de 0,949. Elle est donnée comme suit :

$$T = 0,012 \frac{H^2}{\sqrt{L \times l}} + 0,477 \quad (5)$$

L'application de cette formule sur les 80 structures étudiées donne les résultats représentés sur le graphe suivant :

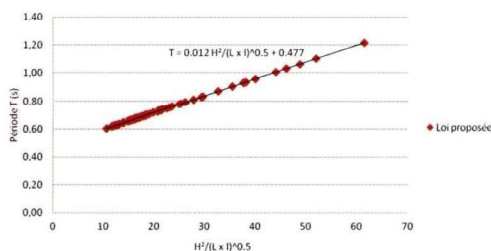


Figure 7 : Période en fonction de

$$T = 0,012 \frac{H^2}{\sqrt{L \times l}} + 0,477$$

pour toutes les structures étudiées.

5.2. Ecart entre les périodes calculées par la nouvelle loi et celles données par logiciel

Les nouveaux écarts calculés entre les périodes ainsi obtenues avec la nouvelle loi, et celles données par le SAP, sont plus faibles que ceux calculés précédemment entre les périodes des lois empiriques des codes parasismiques et celles du SAP 2000.

Tableau 6 : Nouveaux écarts entre périodes empiriques et périodes numériques de la structure C-1.

Bâtiment	Période (SAP2000)				Période de la loi proposée	Ecart (%)			
	RPA	NBCC	UBC 97	EURO		RPA	NBCC	UBC	EURO
St C-1-1	1,090	1,073	1,094	1,088	1,029	5,907	4,256	6,296	5,713
St C-1-2	0,952	0,938	0,956	0,951	0,902	5,517	3,965	5,960	5,406
St C-1-3	0,816	0,804	0,819	0,815	0,792	3,054	1,539	3,433	2,928
St C-1-4	0,681	0,671	0,684	0,680	0,698	-2,431	-3,864	-2,002	-2,575
St C-1-5	0,678	0,668	0,680	0,677	0,676	0,284	-1,195	0,580	0,136
St C-1-6	0,682	0,672	0,685	0,681	0,658	3,624	2,105	4,080	3,472
St C-1-7	0,682	0,672	0,684	0,681	0,645	5,720	4,170	6,030	5,565

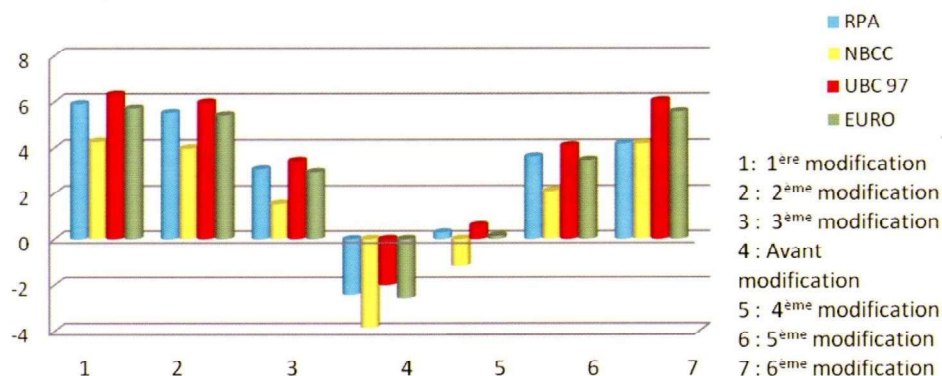


Figure 8 : Ecart entre périodes de la nouvelle loi et celles du SAP 2000 pour la structure C-1.

6. Conclusion

Dans le cadre de la présente étude, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'influence des dimensions d'un bâtiment sur la période propre pour le cas des structures auto-stables.

Cette étude a mis en évidence la variabilité de la période fondamentale d'une structure en fonction de ses dimensions. En effet, l'analyse des deux premiers types de structures a mis l'accent sur l'influence certaine de la rigidité et des dimensions en plan d'une structure sur sa période fondamentale, chose que nous avons montrée par l'étude du troisième type qui regroupe les deux précédents.

Des corrélations ont été établies entre cette même période et certains paramètres combinant les dimensions géométriques. Une nouvelle formule de la période fondamentale de bâtiments auto-stables est proposée, avec un écart type de 0,116 et un coefficient de corrélation de 0,949.

L'application de cette formule sur les 80 structures étudiées a donné de bons résultats et les écarts entre ces périodes et celles du SAP sont plus faibles.

Les enregistrements restent le seul outil fiable permettant d'estimer les périodes propres des structures avec précision, et il serait donc intéressant de pouvoir confronter les résultats de cette étude avec des résultats à l'échelle réelle par rapport aux trois

familles étudiées, en vue de conclusions plus pertinentes, pouvant déboucher sur des applications concrètes dans le domaine du génie civil.

Références bibliographiques

- [1] Code national du bâtiment – Canada 1995. Publié par la Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies Juillet 1998.
- [2] Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes et document d'application nationale. Partie 1-1 Règles générales (Actions sismiques et prescriptions générales pour les structures) et Partie 1-2 : Règles générales (Règles générales pour les bâtiments).
- [3] Mohammed. N. Farsi, Pierre-Yves Bard
« Estimation des périodes propres de bâtiments et vulnérabilité du bâti existant dans l'agglomération de Grenoble » Revue Française de Génie Civil, vol. 8, n°2, Mars 2004, p. 149–179.
- [4] Règlement parasismique algérien, RPA99 + Addenda .
- [5] Uniform Building Code UBC 97, Structural Engineering Design Provisions, Volume 2 ; International Conference of Building Officials, USA 1997.