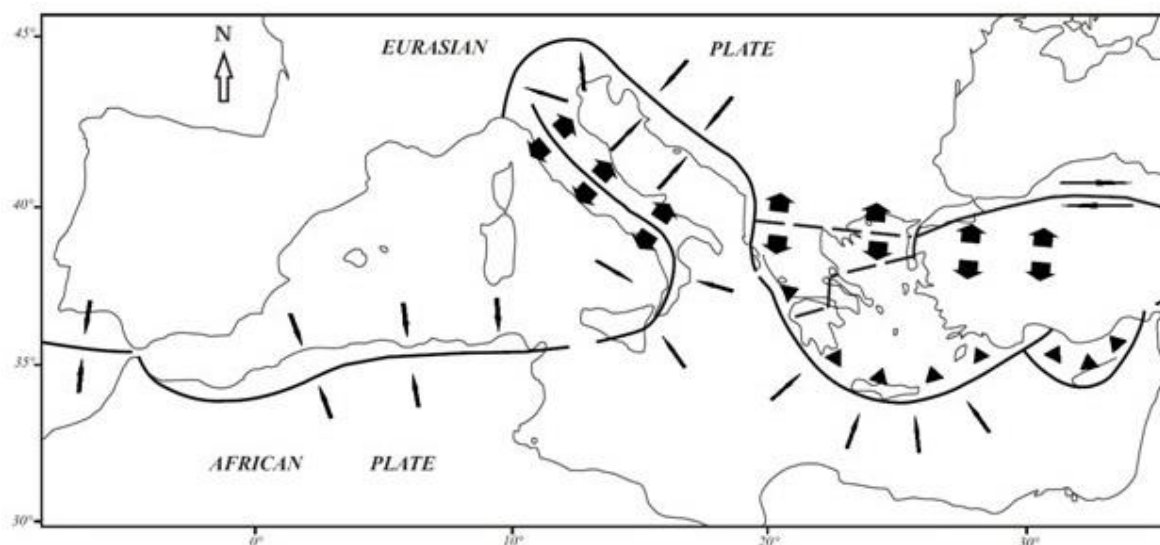


### Historique de la sismicité en Algérie :

En Algérie l'activité sismique est connue depuis 1365 date à laquelle le premier séisme a été mentionné (Ambrsseys et Vogt, 1988). L'analyse des différents catalogues de sismicité réalisés durant ces dernières décennies a montré que la sismicité sur le territoire national n'est pas partout identique.

Cette sismicité concerne essentiellement la partie tellienne comprise entre l'Atlas Saharien et le littoral méditerranéen, et elle est associée à la collision entre les deux plaques tectoniques d'Afrique et d'Eurasie. Les séismes se produisent en général au niveau de la frontière entre plaques. Pour notre cas la frontière qui sépare l'Afrique de l'Eurasie traverse l'Algérie d'Ouest en Est et c'est le long de cette frontière que les séismes algériens se produisent.



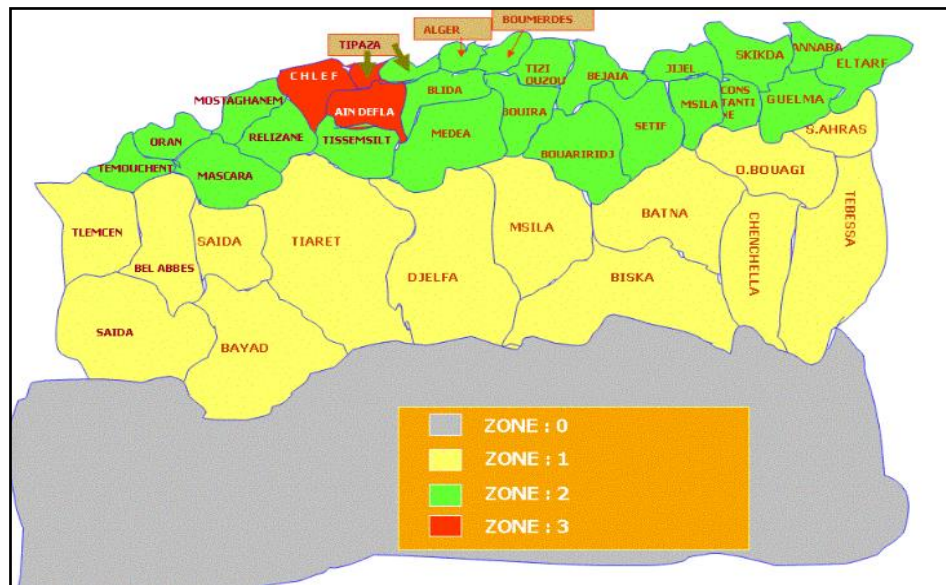
### Principaux Séismes connus en Algérie :

Localité	Date	Magnitude ou Intensité	Dégâts
Alger	03/01/1365	Fort	Plusieurs victimes, avec 100 répliques dans la même nuit
Alger - Mitidja	03/02/1716	X	20000 morts Alger détruite
Oran	09/10/1790	IX-X	2000 morts ressenti à Malte
Blida	02/03/1825	X	7000 morts destruction de Blida peu de dégâts à Alger
Jijel	22/08/1856	X	Raz de Marée le long du littoral d'Alger à Annaba.
Orléansville	09/09/1954	6.7	1243 morts et 20000 habitations détruites
M'Sila	12/02/1946	5.6	264 morts et 1000 maisons détruites
El Asnam	10/10/1980	7.3	2633 morts, 8369 blessés, 348 Disparus, des milliers sinistrés
Mascara	18/08/1994	5.7	171 morts et plusieurs habitations détruites
Ain Temouchent	22/12/1999	5.7	28 morts et plusieurs habitations détruites
Zemmouri	21/05/2003	6.8	Plus de 2200 morts et des milliers de personnes sinistrées

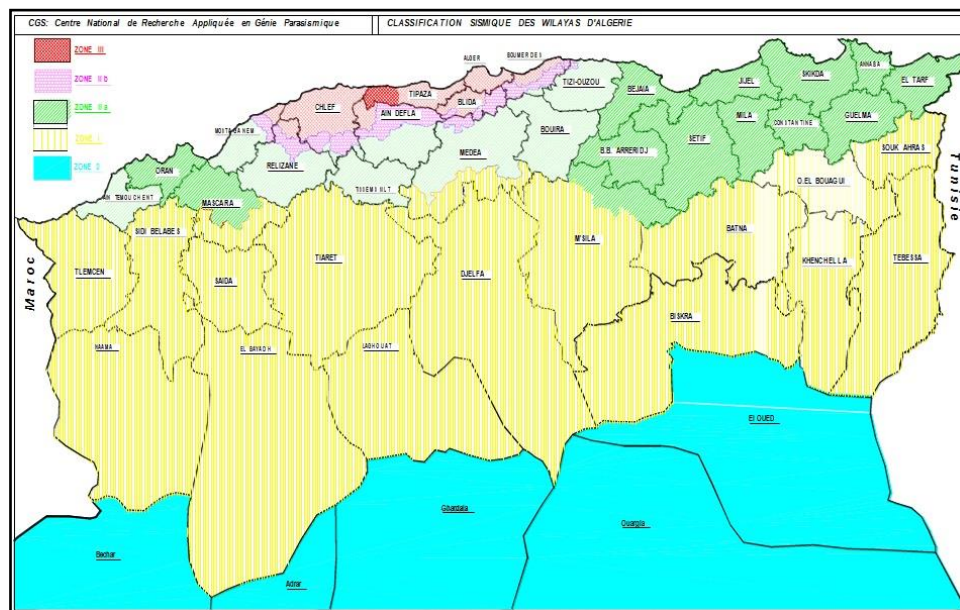
Après le séisme d'El Asnam de 1980 (Chlef), de nouvelles règles ont été établies. L'évolution de la réglementation Algérienne a suivi la chronologie suivante :

- **1981 RPA81**
- **1983 RPA81 / version 83**
- **1988 RPA88**
- **1999 RPA99**
- **2003 RPA99 / version 2003**

Les règles RPA99/2003 ont été mise à jour après l'important séisme de Boumerdès du 21 Mai 2003, notamment un nouveau zonage sismique de l'Algérie a été adopté.



### Carte de zonage sismique du territoire national avant 2003



## Carte de zonage sismique du territoire national après 2003

## ANNEXE I

### CLASSIFICATION SISMIQUE DES WILAYAS ET COMMUNES D'ALGERIE

	WILAYAS OU COMMUNES	Zone sismique
01	ADRAR	0
02	CHLEF	
	<b>Groupe de communes A</b>	III
	Toutes les communes autres que celles figurant aux groupes de communes B et C	
	<b>Groupe de communes B</b>	IIb
	El karimia ,Harchoun ,Sendjias , oued Sly, Boukadir	
	<b>Groupe de communes C</b>	IIa
	Oued ben abd el kader el hadjadj	
03	LAGHOUAT	I
04	OUM EL BOUAGHI	I
05	BATNA	I
06	BEJAIA	IIa
07	BISKRA	I
08	BECHAR	0
09	BLIDA	
	<b>Groupe de communes A</b>	III
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune B	
	<b>Groupe de communes B</b>	IIb
	Mefteh, Djebabra, Souhane, Larbaa, Oued Slama, Bougara, Hammam Melouane, Ain Romana	
10	BOUIRA	IIa
11	TAMENRASSET	0
12	TEBESSA	I
13	TELEMCEN	I
14	TIARET	I
15	TIZI-OUZOU	
	<b>Groupe de communes A</b>	IIb
	Mizrana	
	<b>Groupe de communes B</b>	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A	
16	ALGER	III
17	DJELFA	I
18	JIJEL	IIa
19	SETIF	IIa
20	SAIDA	I
21	SKI KDA	IIa
22	SIDI BEL-ABBES	I
23	ANNABA	IIa
24	GUELMA	IIa



25	CONSTANTINE	IIa
26	MEDEA	IIb
	<b>GROUPE DE COMMUNES A</b> El hamadania, Médéa, Tamesguida	IIa
	<b>GROUPE DE COMMUNES B</b> Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et C	I
	<b>GROUPE DE COMMUNES C</b> Bou Aiche, Chahbounia, Boughzoul, Saneg, Meftaha, Ouled Maaref, El Aounet, Ain Boucif, Sidi Damed, Ain Oukir, Cheniguel	
27	MOSTAGANEM	III
	<b>GROUPE DE COMMUNES A</b> Ouled Boughalem, Achaacha, Khadra, Nekmaria	IIb
	<b>GROUPE DE COMMUNES B</b> Sidi Lakhdar, Tasghait, Ouled Maalla	IIa
	<b>GROUPE DE COMMUNES C</b> Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et B	
28	M'SILA	IIa
	<b>GROUPE DE COMMUNES A</b> Beni Ilmane, Ounougha, Hammam Dalaa, Tarmount, Ouled Mansour, M'Sila, M'Tarfa, Maadid, Ouled Derradj, Ouled Addi, Dahahna, Berhoum, Ain Kadra, Magra, Belaiba.	I
	<b>GROUPE DE COMMUNES B</b> Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A	
29	MASCARA	IIa
	<b>GROUPE DE COMMUNES A</b> Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes B	I
	<b>GROUPE DE COMMUNES B</b> Ain Fares, Ain Fekran, Bouhanifia, Guerdjou, Oued Taria, Ghri, Benian, Mokhda, Aouf, Gharous, Nesmot, M'Hamid, Hachem, Oued El Abtai, Ain Ferrah	
30	OUARGLA	0
31	ORAN	IIa
32	EL BYADH	I
33	ILLIZI	0
34	BORDJ BOU ARRERIDJ	IIa
35	BOUMERDES	III
	Groupe de communes A Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes B et C	IIb
	Groupe de communes B Afir, Benchoud, Taouerga, Baghli, Oued Aissa, Naciria, Bordj Menail, Isser, Beni Amrane, Souk El Had, Bouzegza, Keddar, Kharouba, Larbatache, Khemis El Khechna, Ouled Moussa, Hammadi	

36	Groupe de communes C	IIa
37	Timezrit, Ammal, Chaabet El Aneur	IIa
38	EL TAREF	0
39	TINDOUF	IIa
40	TISSEMSILT	0
41	EL OUED	I
42	KHENCHELA	I
43	SOUK AHRAS	III
44	TIPAZA	IIa
	MILA	
	AIN DEFLA	
	<b>GROUPE DE COMMUNES A</b>	III
	Tacheta Zegara, El Abadia, Ain Bouyahia, El Attaf	
	<b>GROUPE DE COMMUNES B</b>	IIb
	Al Amra, Mekhatria, Arib, Rouina, Ain Defla, Bourashed, Zeddine, Tiberkanine, Meliana, Ain Torki, Hammam Righa, Ain Benian, Houceinia, Boumadfaa	
	<b>Groupe de communes C</b>	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et B	
45		
46	NAAMA	I
47	AIN TEMOUCHENT	IIa
48	GHARDAIA	0
	RELIZANE	
	<b>Groupe de communes A</b>	III
	Mediouna, Sidi M'hamed Ben Ali, Mazouna, El Guettar	
	<b>Groupe de communes B</b>	IIb
	Merdja Sidi Abed, Oued Rhiou, Ouarizane, Djidiouia, Hamri, Beni Zenthis	
	<b>Groupe de communes C</b>	IIa
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes A et B	

### Objectifs visés par le règlement parasismique Algérien :

Les présentes règles visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis à vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

Pour des ouvrages courants, les objectifs ainsi visés consistent à doter la structure :

- d'une rigidité et d'une résistance suffisante pour limiter les dommages non structuraux et éviter les dommages structuraux par un comportement essentiellement élastique de la structure face à un séisme modéré, relativement fréquent.

- d'une ductilité et d'une capacité de dissipation d'énergie adéquates pour permettre à la structure de subir des déplacements inélastiques avec des dommages limités et sans effondrement, ni perte de stabilité, face à un séisme majeur, plus rare.

Pour certains ouvrages importants, la protection visée est encore plus sévère. Puisqu'il faudra que l'ouvrage puisse demeurer opérationnel immédiatement après un séisme majeur.

### **Domaine d'application**

Les présentes règles sont applicables à toutes les constructions courantes. Par contre, elles ne sont pas directement applicables aux constructions telles que :

- constructions et installations pour lesquelles les conséquences d'un dommage même léger peuvent être d'une exceptionnelle gravité : centrales nucléaires, installations GNL, installations de fabrication et de stockage des produits inflammables, explosifs, toxiques, ou polluants.

- ouvrages d'art (barrages, ouvrages maritimes, ponts, tunnels,...). - réseaux et ouvrages enterrés.

Pour ces types de constructions, il y a lieu de se référer à des règles ou recommandations spécifiques. Par ailleurs les dispositions du présent règlement ne s'appliquent pas en zone de sismicité négligeable de la classification des zones sismiques.

### **Classification des ouvrages selon leur importance**

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa destination et de son importance vis à vis des objectifs de protection fixés par la collectivité. Les listes décrites ci-dessous sont nécessairement incomplètes. Cependant, elles permettent d'illustrer cette classification qui vise à protéger les personnes, puis les biens économiques et culturels de la communauté.

Cette classification préconise des seuils minima de protection qu'un maître d'ouvrage peut modifier uniquement en surclassant l'ouvrage pour une protection accrue, compte tenu de la nature et de la destination de l'ouvrage vis à vis des objectifs visés.

Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des présentes règles doit être classé dans l'un des quatre (04) groupes définis ci-après :

#### **Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale**

- Ouvrages vitaux qui doivent demeurer opérationnels après un séisme majeur pour les besoins de la survie de la région, de la sécurité publique et de la défense nationale, soit :

- Bâtiments abritant les centres de décision stratégiques.
- Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale ayant un caractère opérationnel tels que casernes de pompiers, de Police ou militaires, parcs d'engins et de véhicules d'intervention d'urgence et de secours.

- Bâtiments des établissements publics de santé tels que les hôpitaux et les centres dotés de service des urgences, de chirurgie et obstétriques.
- Bâtiments des établissements publics de communications tels que les centres de télécommunications, de diffusion et de réception de l'information (radio et télévision), des relais hertziens, des tours de contrôle des aéroports et contrôle de la circulation aérienne.
- Bâtiments de production et de stockage d'eau potable d'importance vitale.
- Ouvrages publics à caractère culturel, ou historique d'importance nationale.
- Bâtiments des centres de production ou de distribution d'énergie, d'importance nationale
- Bâtiments administratifs ou autres devant rester fonctionnels en cas de séisme.

### **Groupe 1B : Ouvrages de grande importance**

-Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes

- Bâtiments recevant du public et pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes tels que grande mosquée, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels et commerciaux, scolaires, universitaires, constructions sportives et culturelles, pénitenciers, grands hôtels.
- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur dépasse 48 m.

- Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socioculturelle et économique certaine.

- Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, etc.
- Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A
- Bâtiments de centres de production ou de distribution d'énergie autres que ceux du groupe 1A
- Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance

### **Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne**

- Ouvrages non classés dans les autres groupes 1 A, 1B ou 3 tels que :

- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m.
- Autres bâtiments pouvant accueillir au plus 300 personnes simultanément tels que, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels,...
- Parkings de stationnement publics, ...

### **Groupe 3 : Ouvrages de faible importance**

- Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faible valeur.
- Bâtiments à risque limité pour les personnes
- Constructions provisoires

**Classification des sites :****Catégories et Critères de classification :**

Les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

**Catégorie S1 (site rocheux) :**

Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement  $V_s \geq 800 \text{ m/s}$ .

**Catégorie S2 (site ferme) :**

Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur consolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur avec  $V_s \geq 400 \text{ m/s}$  à partir de 10 m de profondeur.

**Catégorie S3 (site meuble) :**

Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec  $V_s \geq 200 \text{ m/s}$  à partir de 10 m de profondeur.

**Catégorie S4 (site très meuble) :**

- Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec  $V_s < 200 \text{ m/s}$  dans les 20 premiers mètres.

- Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec  $V_s < 200 \text{ m/s}$  dans les 20 premiers mètres.

Par ailleurs, outre les valeurs des vitesses d'ondes de cisaillement, les valeurs moyennes harmoniques d'autres résultats d'essais (pénétrömètre statique, SPT, pressiomètre...) peuvent être utilisées pour classer un site (voir tableau 3.2)

**Classification des systèmes de contreventement :****A) Structures en béton armé :**

**1.a** Pour le système de portique auto stable en béton armé sans remplissage en maçonnerie rigide.

**1. b** Portiques auto stables en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide.

**2.** Système de contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé.

**3.** Structure à ossature en béton armé contreventée entièrement par noyau en béton armé

**4.a** Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques –voiles

**4.b** Système de contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé.



**5. Système fonctionnant en console verticale à masses réparties prédominantes.**

C'est le cas par exemple d'un réservoir cylindrique, des silos et cheminées de forme cylindrique, et autre.

**6. Système à pendule inverse.**

C'est un système où 50% ou plus de la masse est concentrée dans le tiers supérieur de la structure.

C'est le cas par exemple d'un château d'eau sur pilotis ou d'un réservoir d'eau cylindrique ou torique proéminent sur jupe cylindrique ou conique plus resserrée.

**B) Structures en acier :****7. Ossature contreventée par portiques auto stables ductiles**

L'ossature complète (cadres inclus) reprend la totalité des charges verticales. Les portiques auto stables ductiles reprennent à eux seuls la totalité des charges horizontales. Ces portiques ou cadres doivent être conçus calculés et exécutés selon les dispositions fixées au paragraphe 8.2.

**8. Ossature contre ventée par portiques auto stables ordinaires**

L'ossature complète reprend la totalité des charges verticales. Les portiques ou cadres devant remplir les exigences données au paragraphe 8.3, reprennent à eux seuls la totalité des charges horizontales.

La hauteur de tout bâtiment utilisant ce système pour le contreventement, doit être limitée à 5 niveaux ou 17 m

**Nota :** Les systèmes de contreventement 7 et 8 ci-dessus supposent des remplissages d'ossature en éléments légers compatibles avec les systèmes constructifs considérés et qui ne gênent pas les déplacements d'ossature.

**9. Ossature contreventée par palées triangulées concentriques**

L'ossature complète reprend la totalité des chargés verticaux et les palées reprennent la totalité des charges horizontales.

Les palées triangulées concentriques doivent respecter les dispositions données au paragraphe §8.4.

La hauteur des bâtiments utilisant ce système pour le contreventement doit être limitée à 10 niveaux ou 33 m.

Dans cette classe de contreventement, on distingue deux (02) sous classes, soit des palées en X et en V (les palées en K n'étant pas autorisées).

**9. a. : Système d'ossature contreventée par palées triangulées en X :**

Dans ce système, pour un nœud d'une palée, les axes de la diagonale, de la poutre et du poteau convergent en un seul point situé sur le centre du nœud.

Dans ce système, on considère que parmi toutes les diagonales d'une palée, seules celles tendues interviennent dans la résistance et le comportement dissipatif de cette palée vis-à-vis de l'action sismique.

**9. b : système d'ossature contreventée par palées triangulées en V :**

Dans ce système, les poutres de chaque palée sont continues et le point d'intersection des axes des diagonales de la palée se situe sur l'axe de la poutre.

La résistance et la capacité de dissipation de la palée vis-à-vis de l'action sismique sont fournies par la participation conjointe des diagonales tendues et des diagonales comprimées.

**10. Ossature avec contreventements mixtes :**

Dans le cas de figure développé ici, les palées de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales.

Un contreventement mixte est une combinaison de 2 types de contreventement choisis parmi certains de ceux définis précédemment. Il comprend des portiques ou des cadres auto stables ductiles couplés avec, soit des palées triangulées en X, soit des palées triangulées en V, ou se rapprochant du V (système en double béquille).

L'ossature complète reprend la totalité des charges verticales. Les contreventements mixtes (cadres + palées) reprennent la totalité des charges horizontales globales. Les cadres et les palées doivent être calculés pour résister à l'effort horizontal qui sera partagé au prorata de leurs raideurs et en tenant compte de leur interaction mutuelle à tous les niveaux.

Les cadres auto stables ductiles doivent pouvoir reprendre à eux seuls, au moins 25% des charges horizontales globales.

Les dispositions concernant les contreventements de cette catégorie sont précisées au paragraphe 8.5.

**10.a : système d'ossature contreventée par cadres ductiles et palées en X :**

Dans ce système, le contreventement mixte est une combinaison de cadres auto stables ductiles et de palées triangulées concentriques en X

**10.b : système d'ossature contreventée par cadres ductiles et palées en V :**

Dans ce système, le contreventement mixte est une combinaison de cadres auto stables ductiles et de palées triangulées concentriques en V

**11. Portiques fonctionnant en console verticale**

Cette catégorie de système structural de faible degré d'hyperstaticité concerne essentiellement des portiques classiques à un seul niveau avec une traverse rigide, et des structures élancées de type "tube" où les éléments résistants sont essentiellement des poteaux situés en périphérie de la structure. Ces structures particulières se traduisent par un comportement dissipatif localisé uniquement aux extrémités des poteaux.

**C) Structure en maçonnerie**

Les constructions en maçonnerie porteuse ordinaire sont interdites en zone sismique; Seule la maçonnerie porteuse chaînée y est permise.

**12. Structures en maçonnerie porteuse chaînée :**

Ce système concerne des structures porteuses réalisées en maçonnerie de moellons ou petits éléments manufacturés et comportant des chaînages en béton armé mis en œuvre après exécution de la maçonnerie. Ces structures résistent en même temps aux charges verticales et horizontales.

Les bâtiments concernés par ce type de système constructif sont limités à 05 niveaux ou 17 m en zone I, 04 niveaux ou 14 m en zone IIa et 03 niveaux ou 11 m en zone IIb et III.

**D). Autres structures ;****13. Structures à ossature métallique avec contreventement par diaphragme**

Ces structures résistent, vis à vis de l'action sismique, par l'effet de diaphragme des parois verticales (murs) et horizontales (planchers). Le niveau de comportement dissipatif de ces structures est fonction de la capacité de résistance ductile au cisaillement des parois, celles-ci pouvant être élaborées à partir de techniques et de matériaux très divers (tôle nervurée formée à froid, mur en maçonnerie armée, parois en béton ou béton armé, etc.). Les parois doivent être fixées au cadre de l'ossature métallique de manière à pouvoir considérer la liaison comme rigide.

**14. Structure à ossature métallique avec contreventement par noyau en béton armé :**

Même définition que pour ossature en béton armé (cf. système 3).

**15. Structure à ossature métallique avec contreventement par voiles en béton armé :**

Même définition que pour structure en portiques béton armé (cf. système 4.b.).

**16. Structure à ossature métallique avec contreventement mixte composé d'un noyau en béton armé et de palées et/ou portiques métalliques en périphérie.**

**17. Système comportant des transparences (étages souples) :**

Les exemples les plus "parlants" sont les niveaux de "réception" ou lobbies des grands hôtels (rareté des cloisons ou, parfois, hauteur de niveau plus importante que celle des étages courants...) ou des étages non cloisonnés pour des raisons fonctionnelles (salles informatiques, d'équipements spéciaux etc.).

Ces systèmes sont en général à éviter. Sinon, et nonobstant les mesure préconisées précédemment pour les systèmes 1a et 1b pour les cas spécifiques de rez-de-chaussée (changement de systèmes de contreventement), il y a lieu de prendre toute les dispositions à même d'atténuer les effets défavorables. Dans ce cadre des mesures de rigidification pourraient être adoptées pour faire disparaître ou atténuer le phénomène (voir définition de l'étage souple donnée précédemment en remarque aux systèmes 1a et 1b.

**Classification des ouvrages selon leur configuration**

Chaque bâtiment (et sa structure) doit être classée selon sa configuration en plan et en élévation en bâtiment régulier ou non, selon les critères ci-dessous :

**a) Régularité en plan**

**a1-** Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses.

**a2-** A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.

**a3-** La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4 (cf Fig 3.2).

La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction. (cf Fig 3.2).

**a4-** Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan.

Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier.

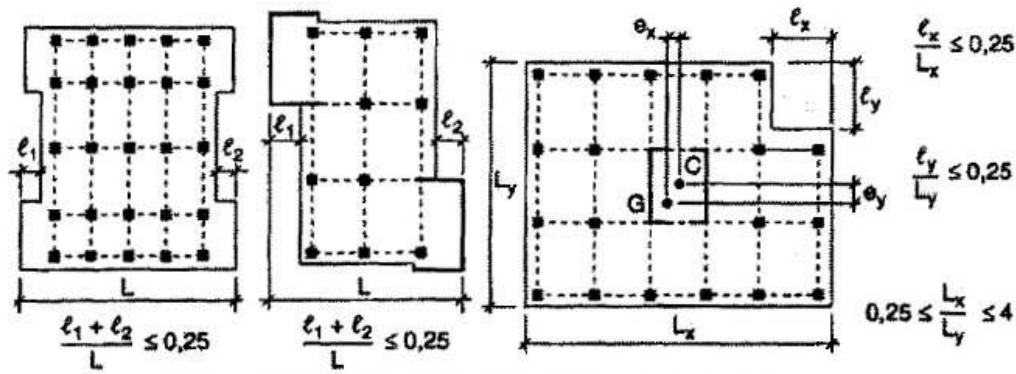


Fig. 3.2 : Limites des décrochements en plan

### b) Régularité en élévation

**b1** - Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.

**b2** - Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment.

**b3.** Le rapport masse sur rigidité de deux niveaux successifs ne doit pas varier de plus de 25 % dans chaque direction de calcul.

**b4.** - Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur.

La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension.

Toutefois, au dernier niveau, les éléments d'ouvrage, tels que buanderies, salle de machines d'ascenseurs etc. pourront ne pas respecter les règles b3 et b4 et être calculés conformément aux prescriptions relatives aux éléments secondaires

D'une manière générale, se reporter aux schémas illustratifs ci-après (fig. 3.3).

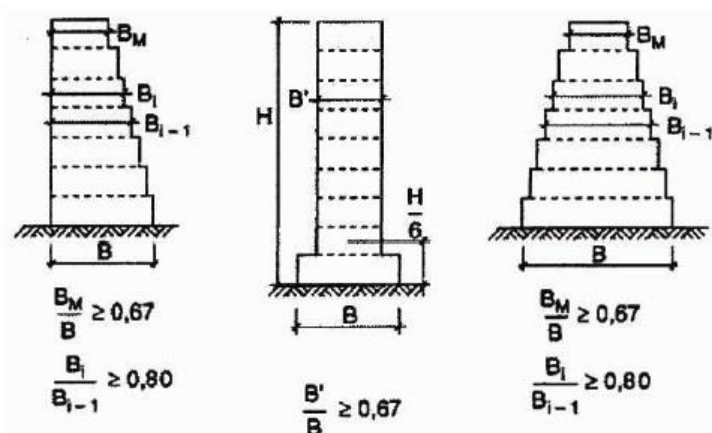


Fig. 3.2 : Limites des décrochements en élévation



**Choix de la méthode de calcul**

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :

- par la méthode statique équivalente
- par la méthode d'analyse modale spectrale
- par la méthode d'analyse dynamique par accélérographes

**Conditions d'application des méthodes de calcul :**

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

- a) Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation prescrites au chapitre III, paragraphe 3.5 avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et IIa et à 30m en zones IIb et III.
- b) Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, outres les conditions de hauteur énoncées en a), les conditions complémentaires suivantes :

**Zone I :** tous groupes

**Zone IIa :**

- ❖ groupe d'usage 3
- ❖ groupe d'usage 2, si la hauteur est inférieure ou égale à 7 niveaux ou 23 m.
- ❖ groupe d'usage 1 B, si la hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17 m.
- ❖ groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m.

**Zone IIb et III :**

- ❖ groupes d'usage 3 et 2, si hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17 m.
- ❖ groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m.
- ❖ groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 2 niveaux ou 08 m.

**Méthodes dynamiques :**

a) La méthode d'analyse modale spectrale peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

b) La méthode d'analyse dynamique par accélérographes peut être utilisée au cas par cas par un personnel qualifié, ayant justifié auparavant les choix des séismes de calcul et des lois de comportement utilisées ainsi que la méthode d'interprétation des résultats et les critères de sécurité à satisfaire.

## METHODE STATIQUE EQUIVALENTE

### Principe :

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal. Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projeteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

Il faut souligner toutefois que les forces et les déformations obtenues pour l'élément à partir des méthodes d'analyse statiques pour les charges de conception recommandées sont inférieures aux forces et aux déformations qui seraient observées sur la structure sous les effets d'un séisme majeur pour lequel les charges ont été spécifiées.

Ce dépassement des forces est équilibré par le comportement ductile qui est fourni par les détails de construction de l'élément.

C'est pourquoi l'utilisation de cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

- Une ductilité suffisante.
- La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures.

### Modélisation :

a) Le modèle du bâtiment à utiliser dans chacune des deux directions de calcul est plan avec les masses concentrées au centre de gravité des planchers et un seul degré de liberté en translation horizontale par niveau sous réserve que les systèmes de contreventement dans les deux (2) directions puissent être découplés.

b) La rigidité latérale des éléments porteurs du système de contreventement est calculée à partir de sections non fissurées pour les structures en béton armé ou en maçonnerie.

c) Seul le mode fondamental de vibration de la structure est à considérer dans le calcul de la force sismique totale

### Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale  $V_s$ , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V_s = \frac{A D Q}{R} W$$

**A : coefficient d'accélération de zone**, donné par le tableau 4.1 suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

Zone				
Groupe	I	Ila	Ilb	III
1 A	0,15	0,25	0.30	0, 40
1 B	0,12	0, 20	0.25	0, 30
2	0,10	0,15	0.20	0, 25
3	0,07	0,10	0.14	0,18

**Tableau 4.1 : coefficient d'accélération de zone A.**

**D : facteur d'amplification dynamique moyen**, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ) et de la période fondamentale de la structure ( $T$ ).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{\frac{2}{3}}(3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases} \quad (4.2)$$

$T_2$  période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le tableau 4.7

Site	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
T <sub>1(sec)</sub>	0,15	0,15	0,15	0,15
T <sub>2(sec)</sub>	0,30	0,40	0,50	0,70

**Tableau 4.7 : Valeurs de T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>**

$\eta$  : facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2+\xi)} \geq 0.7 \quad (4.3)$$

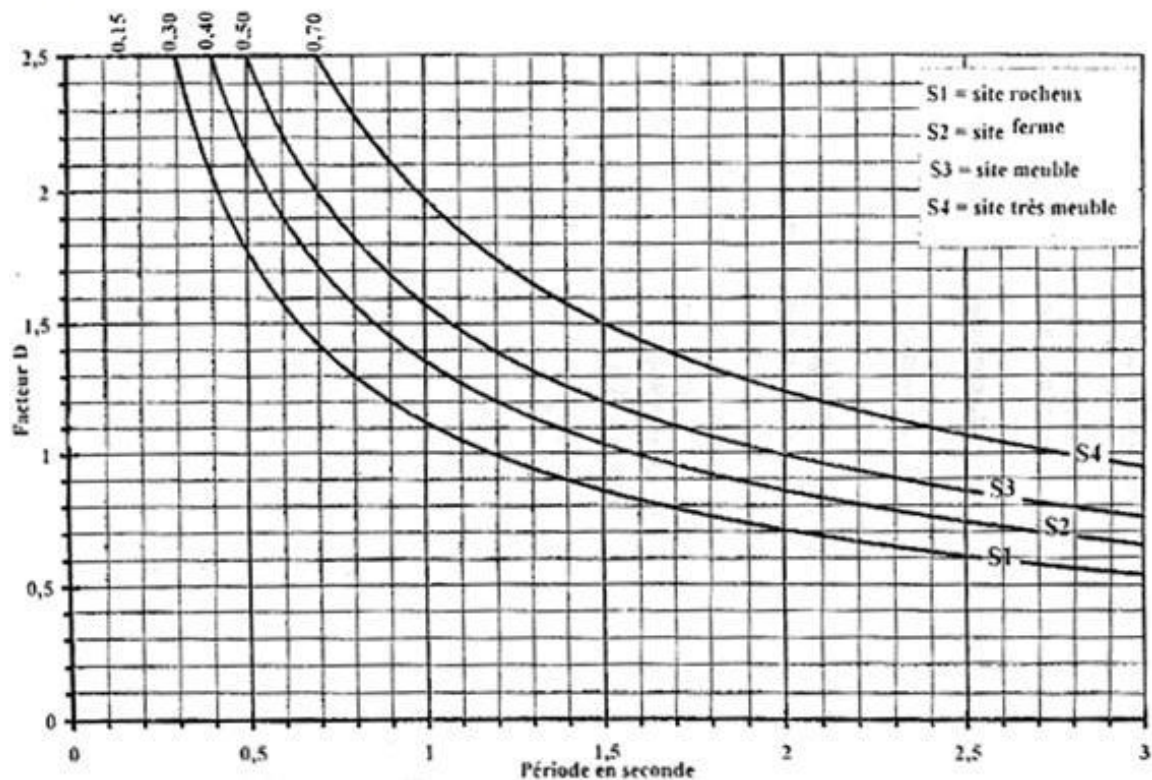
$\xi$  (%) : est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Quand  $\xi = 5\%$ , on a  $\eta = 1$

Remplissage	Portiques		Voiles ou murs
	Béton armé	Acier	Béton armé/maçonnerie
Léger	6	4	10
Dense	7	5	

Tableau 4.2 : Valeurs de  $\xi$  (%)

Le facteur D est par ailleurs donné sous forme graphique à la figure 4.1 pour un amortissement  $\xi = 5\%$

FIGURE 4.1 FACTEUR D'AMPLIFICATION DYNAMIQUE MOYEN D ( $\xi = 5\%$ )

#### R : coefficient de comportement global de la structure

Sa valeur unique est donnée par le tableau 4.3 en fonction du système de contreventement tel que défini en 3.4.

En cas d'utilisation de systèmes de contreventement différents dans les deux directions considérées il y a lieu d'adopter pour le coefficient R la valeur la plus petite.

**Tableau 4.3 : valeurs du coefficient de comportement R**

<b>Cat</b>	<b>Description du système de contreventement (voir chapitre III § 3.4)</b>	<b>Valeur de R</b>
<b>A</b>	<b>Béton armé</b>	<b>5</b>
1a	Portiques auto stables sans remplissages en maçonnerie rigide	
1b	Portiques auto stables avec remplissages en maçonnerie rigide	3,5
2	Voiles porteurs	3,5
3	Noyau	3,5
4a	Mixte portiques/voiles avec interaction	5
4b	Portiques contreventés par des voiles	4
5	Console verticale à masses réparties	2
6	Pendule inverse	2
<b>B</b>	<b>Acier</b>	<b>6</b>
7	Portiques auto stables ductiles	
8	Portiques auto stables ordinaires	4
9a	Ossature contreventée par palées triangulées en X	4
9b	Ossature contreventée par palées triangulées en V	3
10a	Mixte portiques/palées triangulées en X	5
10b	Mixte portiques/palées triangulées en V	4
11	Portiques en console verticale	2
<b>C</b>	<b>Maçonnerie</b>	<b>2,5</b>
12	Maçonnerie porteuse chaînée	
<b>D</b>	<b>Autres systèmes</b>	<b>2</b>
13	Ossature métallique contreventée par diaphragme	3
14	Ossature métallique contreventée par noyau en béton armé	3,5
15	Ossature métallique contreventée par voiles en béton armé	4
16	Ossature métallique avec contreventement mixte comportant un noyau en béton armé et palées ou portiques métalliques en façades	
17	Systèmes comportant des transparences (étages souples)	2

**Q : facteur de qualité**

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation



- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_{1}^6 P_q \quad (4 - 4)$$

$P_q$  est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q "est satisfait ou non". Sa valeur est donnée au tableau 4.4

**Les critères de qualité "q" à vérifier sont :**

### **1. Conditions minimales sur les files de contreventement**

- système de portiques : chaque file de portique doit comporter à tous les niveaux, au moins trois (03) travées dont le rapport des portées n'excède pas 1.5. Les travées de portique peuvent être constituées de voiles de contreventement.

- système de voiles : chaque file de voiles doit comporter à tous les niveaux, au moins un (01) trumeau ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à 0,67 ou bien deux (02) trumeaux ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à 1,0. Ces trumeaux doivent s'élever sur toute la hauteur de l'étage et ne doivent avoir aucune ouverture ou perforation qui puisse réduire de manière significative leur résistance ou leur rigidité

### **2. Redondance en plan**

Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5.

### **3. Régularité en plan**

La structure est classée régulière en plan. (cf 3.5.1.a)

### **4. Régularité en élévation**

La structure est classée régulière en élévation. (cf 3.5.1.b)

### **5. Contrôle de la qualité des matériaux**

Des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.

### **6. Contrôle de la qualité de l'exécution**

Il est prévu contractuellement une mission de suivi des travaux sur chantier. Cette mission doit comprendre notamment une supervision des essais effectués sur les matériaux.

Critère q »	P <sub>q</sub>	
	Observé	N/observé
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0,05
2. Redondance en plan	0	0,05
3. Régularité en plan	0	0,05
4. Régularité en élévation	0	0,05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,10

Tableau 4.4.: valeurs des pénalités P<sub>q</sub>

**W** : poids total de la structure :

W est égal à la somme des poids W<sub>i</sub>, calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i$$

Avec :

$$W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi} \quad (4-5)$$

**W<sub>Gi</sub>**: poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

**W<sub>Qi</sub>**: poids dû aux charges d'exploitation.

**β**: coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5.

Cas	Type d'ouvrage	β
1	Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés	0,20
2	Bâtiments recevant du public temporairement :	
	- Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions avec places debout.	0,30
	- salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises	0,40
3	Entrepôts, hangars	0,50
4	Archives, bibliothèques, réservoirs et ouvrages assimilés	1,00
5	Autres locaux non visés ci-dessus	0,60

Tableau 4.5 : valeurs du coefficient de pondération β

**Estimation de la période fondamentale de la structure :**

La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante :

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad (4-6)$$

$h_N$ : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

$C_T$ : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau 4.6.

Cas n°	Système de contreventement	$C_T$
1	Portiques auto stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie	0,075
2	Portiques auto stables en acier sans remplissage en maçonnerie	0,085
3	Portiques auto stables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie	0,050
4	Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie	0,050

**Tableau 4.6 : valeurs du coefficient  $C_T$**

Dans les cas n° 3 et 4, on peut également utiliser aussi la formule :

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{D} \quad (4.7)$$

Où  $D$  est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée. Dans ce cas de figure il y a lieu de retenir dans chaque direction considérée la plus petite des deux valeurs données respectivement par (4.6) et (4.7)

La valeur de  $T$  peut être calculée avec la formule de Rayleigh ou une version simplifiée de cette formule : a)

$$T = 2\pi \sqrt{\left( \sum_i^n W_i \delta_i \right) / g \left( \sum_i^n f_i \delta_i \right)} \quad (4-8)$$

$f_i$  : système de forces horizontales, distribuées selon les formules de répartition de  $V$  suivant la verticale.

$\delta_i$  : flèches horizontales dues aux forces  $f_i$  calculées à partir d'un modèle élastique linéaire de la structure qui prend en compte tous les éléments participant à sa rigidité.

b) Version simplifiée de la formule de Rayleigh :

$$T = 2\sqrt{\delta_N} \quad (4-9)$$

$\delta_N$  : flèche horizontale au sommet du bâtiment, mesurée en mètres, due aux forces gravitaires appliquées horizontalement.

Les valeurs de T, calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles (les plus pénalisantes) estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%.

#### Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V_s = F_t + \sum F_i \quad (4-10)$$

La force concentrée  $F_t$  au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule :  $F_t = 0,07 TV$

Où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de  $F_t$  ne dépassera en aucun cas 0,25 V et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à 0,7 secondes.

La partie restante de V soit ( $V_s - F_t$ ) doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_i = \frac{(V_s - F_t)W_i h_i}{\sum_j^n W_j h_j} \quad (4 - 11)$$

Où :

$F_i$ : Effort horizontal revenant au niveau i.

$h_i$ : niveau du plancher où s'exerce la force  $F_i$ .

$h_j$ : niveau d'un plancher quelconque.

$W_i, W_j$  : poids revenant aux planchers i, j.

#### Distribution horizontale des forces sismiques :

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, la force sismique est distribuée aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives dans les deux directions X et Y.

$$F_{tr,Xik} = F_{Xk} \frac{R_i}{\sum R_i} \quad F_{tr,Yik} = F_{Yk} \frac{R_i}{\sum R_i}$$

$F_{tr,Xik}, F_{tr,Yik}$ : force de translation dans la direction X (ou Y) dans le portique i au niveau k.

$F_{Xk}, F_{Yk}$ : force sismique dans la direction X (ou Y) au niveau k.

$R_i$ : rigidité du portique i.

$\sum R_i$ : rigidité totale de la structure.