



**ENTITÉ : SERVICE INSTALLATION - GENIE CIVIL**

Rédacteur(s) : Philippe PUGET / Valérie RICHARD

Nbre de pages : 23

Palier / Site : RJH

Nbre d'annexe(s) :

Titre : **Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments**

ECEIG070592

IND. C

Imputation E230/005851

Type de document : Note d'Etude

Code de  
Classement EDF

Mots-clés : RJH – RCCG – DEVELOPPEMENT – SEISME

Résumé : Cette note constitue l'additif n°3 au RCCG-RJH.

Elle traite du calcul sismique des bâtiments.

Rédacteur		Vérificateur		Contrôle hiérarchique		Approbateur		Marque
Nom/Visa	Date	Nom/Visa	Date	Nom/Visa	Date	Nom/Visa	Date	approbation
V. RICHARD <i>RJH</i>	07.05.08	P-A. NAZE <i>[Signature]</i>	15/05/08	Ph. VAILLAUD <i>[Signature]</i>	28/05/08	B. BOUCHIER <i>[Signature]</i>	30.06.08	

<input type="checkbox"/> <b>Confidentiel</b>	• L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur
<input type="checkbox"/> <b>Dif. Restreinte</b>	• L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Chacun d'eux peut étendre la diffusion sous sa responsabilité et dans sa Direction (sur la base d'une liste explicite).
<input type="checkbox"/> <b>Accès E.D.F.</b>	• Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF que par un Chef de Service.
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Accès libre</b>	• Document public
<b>Archivage : long</b>	<b>Support : papier</b>
<b>COPYRIGHT EDF 2006</b>	

Direction Production Ingénierie  
Centre National  
d'Équipement Nucléaire

165-173, avenue Pierre Brossolette  
B.P. 900 - 92542 Montrouge Cedex

Téléphone +33 1 41 48 90 00  
Télécopie +33 1 41 48 92 84

[www.edf.fr](http://www.edf.fr)  
EDF - SA au capital de 911 085 545 euros -  
552 081 317 R.C.S. Paris  
Certifié ISO 9001 & ISO 14001

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice : <b>C</b>	PAGE 2/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

<b>Document important pour la sûreté</b>		OUI <input checked="" type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
<b>Vérification renforcée</b>		OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>
<b>En cours</b> <input type="checkbox"/> <b>Effectuée</b> <input type="checkbox"/>		<b>Responsable de vérification renforcée</b> <small>(nom, service, société)</small>	
<b>Prédiffusion formalisée</b>		OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/> auprès de :

### HISTORIQUE DES ÉVOLUTIONS DE LA NOTE

Indice	Date	Motif
A		Première édition
B		Prise en compte de commentaires de la MOAD
C		Mise à jour des paramètres suite aux essais de qualification des appuis

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  3/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

## **ADDITIF n°3 au RCCG-RJH CALCUL SISMIQUE DES BATIMENTS**

Cette note constitue l'additif n°3 au RCCG-RJH. Elle traite du calcul sismique des bâtiments. Elle prend pour base la note SEPTEN ENGSDS030058A et en fait l'adaptation du texte pour le projet RJH, compte tenu notamment de la réunion d'experts du 23 février 2007 sur les appuis parasismiques (Cf compte-rendu CEA/DEN/CAD/DTAP/DIR/RJH GC23 1 NT 03), et des résultats des essais de qualification des appuis par Freyssinet.

Les écarts les plus notables par rapport au document du SEPTEN sont les suivants :

- choix des modules de sol et des raideurs des appuis ;
- valeurs des modules de béton fissuré et non fissuré.

### **A.1. Généralités**

#### **A.1.1. Objet et domaine d'application**

La présente annexe décrit le calcul sismique des bâtiments classés de sûreté de l'INB RJH (Réacteur Jules Horowitz) à partir du séisme de dimensionnement représenté par ses valeurs caractéristiques.

Elle couvre le calcul des ouvrages isolés sur appuis dont le système d'isolation est constitué d'appuis simples en élastomère fretté.

Son domaine d'applicabilité s'étend aux ouvrages non isolés en négligeant simplement la composante « système d'isolation » et en considérant un radier unique remplaçant les radiers supérieur et inférieur.

#### **A.1.2. But**

Le calcul sismique détermine les grandeurs nécessaires aux justifications :

- de l'ouvrage de génie civil, telles que sollicitations, déplacements différentiels aux joints,
- du système d'isolation parasismique,
- des équipements, telles que déplacements entre points d'appui, accélérations absolues, spectres de planchers.

### **A.1.3. Méthode de calcul**

#### **A.1.3.1. Calculs relatifs à l'ouvrage**

En règle générale, le calcul est effectué à l'aide d'une analyse modale sur modèle élastique linéaire en appliquant la méthode du spectre de réponse.

Il se conduit en 3 phases :

- a) une phase de modélisation du sol, du système d'isolation et de l'ouvrage, avec prise en compte du matériel,
- b) une phase d'analyse modale proprement dite, dans laquelle les modes propres significatifs sont déterminés ainsi que le maximum des réponses pour chacun d'eux,
- c) une phase de superposition des réponses modales afin de déterminer les grandeurs pour le dimensionnement.

D'autres méthodes de calcul peuvent être utilisées, si elles sont justifiées.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  4/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

#### A.1.3.2. Calculs relatifs aux équipements

En règle générale, les spectres de plancher sont établis par des calculs temporels de réponses maximales d'oscillateurs soumis aux accélérogrammes de plancher issus d'un calcul sismique temporel du bâtiment.

*Toute autre méthode (notamment : transfert de spectre) n'est acceptée que si un dossier de validation est établi.*

Dans la mesure où le calcul est spécifique d'un site, il est réalisé avec 3 accélérogrammes cohérents avec l'aléa sismique retenu pour le site, tels que la moyenne de leur spectre associé soit un majorant du spectre de dimensionnement. Pour le Projet RJH et le site de Cadarache, le séisme de dimensionnement et les accélérogrammes retenus sont définis dans [2bis] et [2ter] des références du RCCG RJH.

Dans le cas des ouvrages isolés sur appuis parasismiques, les spectres de réponse d'oscillateur seront déterminés pour les 4 combinaisons de caractéristiques de matériaux des appuis et de sol définies en A.2.3.3.

L'élaboration des spectres de dimensionnement des matériels comporte les étapes suivantes :

- Calcul temporel, pour chacune des trois directions du séisme.
- Calcul des spectres de réponse d'oscillateur, pour chaque direction de séisme et pour chaque degré de liberté de translation, à partir des accélérogrammes calculés aux nœuds des planchers sélectionnés.
- Calcul de la moyenne des spectres correspondant aux 3 accélérogrammes.
- Combinaison de Newmark, pour chaque nœud et pour chaque direction, afin de prendre en compte les contributions des 3 directions de sollicitation : par exemple on calcule  $SX = \text{Max} \{ SXx + 0.4 SYx + 0.4 SZx ; 0.4 SXx + 0.4 SYx + SZx \}$  pour prendre en compte la contribution des réponses en X dues à des sollicitations en Y et en Z.
- Enveloppe des spectres horizontaux pour chaque plancher.  
Enveloppe des spectres verticaux pour chaque plancher.
- Enveloppe des hypothèses de sol et de variabilité des caractéristiques des appuis pour chaque plancher (telles que définies en A.2.3.3).
- Elargissement des spectres bruts enveloppe de +/-15% en fréquence et lissage des spectres élargis pour obtenir un nombre réduit de fréquences de définition du spectre.

On rappelle que la procédure de lissage se fait sur les spectres élargis. Cette procédure implique entre autre de relier l'extrémité des plateaux des spectres élargis pour s'assurer de couvrir les résultats de situations de calculs intermédiaires des calculs basés sur des hypothèses minorantes et majorantes.

N.B :

Dans le cas d'une structure sur appuis, les écarts entre les spectres des différents planchers sont très faibles et on peut tenter de définir un seul spectre horizontal et un seul spectre vertical enveloppe de tous les niveaux.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  5/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

#### A.1.4. Données

##### A.1.4.1. Sol

Un sol homogène à l'échelle des dimensions en plan des fondations est représenté par un matériau élastique, homogène et isotrope et défini par ses caractéristiques mécaniques :

- le module d'Young dynamique E, ou le module transversal dynamique G,
- le coefficient de Poisson dynamique,
- la masse volumique,
- un amortissement interne de frottement.

Un sol stratifié est représenté par différentes couches définies par leur épaisseur et leurs caractéristiques mécaniques.

Ces caractéristiques sont compatibles avec les déformations induites par le séisme.

*Dans le cas d'une étude particulière au site du RJH, pour lequel un sol homogène équivalent est défini, une variation du module d'Young autour de la valeur moyenne "M" doit être envisagée, l'intervalle étant limité soit par  $(2/3.M ; 3/2.M)$ , soit par d'autres valeurs à justifier.*

Si le sol est hétérogène, une variation des caractéristiques mécaniques des couches due aux incertitudes de leur définition est prise en compte et les calculs sont effectués en considérant les valeurs extrêmes des modules d'élasticité.

##### A.1.4.2. Système d'isolation

Les appuis simples en élastomère frettés sont caractérisés par :

- leur forme générale en coupe horizontale, ie carrée pour le RJH ;
- leurs dimensions horizontales et verticales,
- le nombre et l'épaisseur des couches d'élastomère,
- les dimensions horizontales et verticales des frettes en acier.

##### A.1.4.3. Ouvrage

*L'ouvrage est caractérisé par :*

- sa géométrie définie par son plan de coffrage,
- les matériaux constitutifs qui appartiennent également à l'une des catégories suivantes :
- béton précontraint,
- béton armé,
- charpente métallique,
- matériaux de remplissage (parpaings ou autres).

##### A.1.4.4. Equipements

On considère les charges variables affectées d'un coefficient de simultanéité compte tenu de leur probabilité d'occurrence, selon les combinaisons relatives au SDD (§3.6 du RCCG RJH).

Les équipements sont caractérisés par des masses associées à des centres de gravité, et par des organes de supportage sur l'ouvrage.

Ils sont intégrés dans la modélisation de l'ouvrage dans la mesure où ils influent notablement sur son comportement. Le Guide ASN (référence [7] du RCCG RJH) définit les critères de découplage à retenir.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  6/23
TITRE DU DOCUMENT :	Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments		

## A.2. Modélisation

### A.2.1. But

La modélisation est une représentation simplifiée de l'ouvrage en vue de l'analyse modale. Elle tient compte le plus correctement possible de la distribution des masses et des raideurs de toutes les parties mises en mouvement. Le nombre et la distribution des éléments de la modélisation doivent permettre une représentation correcte des modes de vibrations susceptibles d'être excités par le séisme ainsi qu'une bonne représentation des efforts locaux.

### A.2.2. Modélisation de l'ouvrage et du matériel supporté

#### A.2.2.1. Type de modélisation

La représentation comporte un ou plusieurs des éléments types suivants :

- élément fini tridimensionnel tel que plaque, coque ou volume,
- élément fini de poutre,
- élément masse-ressort.

La modélisation tridimensionnelle mettant en évidence les torsions d'axe vertical est retenue sauf si la symétrie de l'ouvrage permet d'adopter une modélisation plane ou axisymétrique.

Les éléments sont reliés entre eux par des nœuds.

Dans le cas de la représentation plane, ces nœuds sont affectés de trois degrés de liberté : une translation verticale, une translation horizontale et une rotation située dans le plan.

Pour la modélisation tridimensionnelle, six degrés de liberté sont retenus : trois translations et trois rotations, d'autres degrés pouvant être considérés pour des types d'éléments finis tels que plaques et coques.

Des directives particulières concernant la modélisation d'ouvrages spéciaux tels que les fondations profondes, les ouvrages enterrés, ou la poussée d'eau dans les réservoirs ou piscines peuvent être spécifiées.

*Les dispositions ci-après sont recommandées pour la modélisation par éléments de poutre :*

- les poutres sont définies par les données des caractéristiques des sections : aires, inerties surfaciques, sections réduites d'effort tranchant, constante de torsion et de flexion et facultativement par une masse. Dans le cas de la modélisation plane, les nœuds sont situés dans le plan principal d'inertie parallèle à la direction sismique considérée ;
- les nœuds de la modélisation sont situés au niveau des planchers. La masse, et les inerties massiques affectées à ces nœuds représentent :
- d'une part, les éléments structuraux tels que : planchers, une partie des poteaux et voiles liant le plancher aux niveaux voisins ;
- d'autre part, les éléments non structuraux, tels que : les charges d'exploitation à considérer pour le séisme et le matériel, considéré dans les conditions normales d'exploitation.

Dans le cas d'éléments non structuraux importants, des nœuds supplémentaires sont rajoutés pour tenir compte de la rigidité de ces éléments ;

- pour les ouvrages qui ne comportent pas de plancher, ou dont les planchers sont espacés en hauteur, des nœuds supplémentaires sont placés à des niveaux intermédiaires ;
- un radier ou une semelle est représenté par un nœud ou par un élément de poutre lorsque l'épaisseur est importante.

Ces recommandations sont valables également pour la modélisation par masses et ressorts dans la mesure où celle-ci le permet.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  7/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

#### **A.2.2.2. Caractéristiques des matériaux**

Pour la modélisation, les matériaux sont définis par le présent recueil pour les masses volumiques moyennes et par le tableau A2-1 pour les caractéristiques dynamiques.

Le module du béton non fissuré s'applique aux éléments en béton précontraint, ou aux éléments en béton armé travaillant essentiellement en compression ou en cisaillement, tels que voiles, ou planchers sollicités dans leur plan.

Dans le cas d'éléments en béton armé travaillant également en flexion, tels que poutres élancées, ou voiles sollicités perpendiculairement à leur plan, les calculs sismiques sont effectués pour l'un des deux modules, et la cohérence des résultats est vérifiée a posteriori. (A noter que le dimensionnement proprement dit des éléments retient en revanche l'hypothèse de fissuration ou de non fissuration la plus pénalisante).

Pour le modèle relatif au séisme vertical, si la souplesse du plancher est prise en compte, il est tenu compte de la fissuration éventuelle dans le choix du module d'élasticité dynamique.

#### **A.2.3. Modélisation du système d'isolation parasismique**

##### **A.2.3.1. Système de représentation**

Le système d'isolation est représenté par un système de ressorts qui relie le ou les nœuds représentatifs de la fondation de l'ouvrage ("radier inférieur" ou "contre-radier") au(x) nœud(s) du radier supportant l'ensemble des bâtiments isolés ("radier supérieur"). Chaque ressort est caractérisé par sa raideur et son amortissement réduit.

##### **A.2.3.2. Calcul des raideurs**

Pour les appuis de l'UN du Projet RJH, les valeurs de calcul des raideurs horizontales et verticales à retenir, en statique et en dynamique, ont été fixées sur la base de l'interprétation des résultats des essais du programme de qualification des appuis du RJH défini et mis en œuvre depuis la phase de définition (CEA/DEN/CAD/DTAP/DIR/RJH GC23 1 NT 03).

Les raideurs horizontales, la raideur verticale sont données dans le tableau A2-2 en fonction des résultats d'essais du programme de qualification.

Par ailleurs, pour ce qui est des raideurs verticales, on retient la combinaison du sol le plus dur avec la valeur haute de la raideur verticale des appuis et la combinaison du sol le moins dur avec la valeur basse de la raideur verticale des appuis.

Il conviendra toutefois de vérifier sur un cas de calcul que ces deux combinaisons sont bien enveloppes des combinaisons qui feraient intervenir l'hypothèse moyenne de sol.

##### **A.2.3.3. Caractéristiques des matériaux**

Les spectres seront établis comme enveloppe des spectres calculés pour les quatre combinaisons d'hypothèses suivantes :

- a) Combinaison d'hypothèses intégrant la variabilité des caractéristiques de l'élastomère et une certaine marge de dimensionnement. On adopte dans ce cas les valeurs suivantes :
  - Module dynamique transversal  $G$  de l'élastomère = 0,9 MPa
  - Module dynamique de compressibilité de l'élastomère :
    - valeur basse : 4900 MPa (avec la valeur basse du module de sol)
    - valeur haute : 7000 MPa (avec la valeur haute du module de sol)
  - Amortissement réduit : horizontal  $\eta_h = 5\%$  - vertical  $\eta_v = 5\%$

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  8/23
TITRE DU DOCUMENT :		Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments	

b) Combinaison d'hypothèses intégrant la variabilité des caractéristiques de l'élastomère et prenant en compte les effets du vieillissement. On adopte dans ce cas les valeurs suivantes :

- Module dynamique transversal G de l'élastomère = 1,5 MPa
- Module dynamique de compressibilité de l'élastomère :
  - valeur basse : 4900 MPa (avec la valeur basse du module de sol)
  - valeur haute : 7000 MPa (avec la valeur haute du module de sol)
- Amortissement réduit horizontal  $\eta_h = 5\%$
- Amortissement réduit vertical  $\eta_v = 5\%$

Les calculs des déplacements seront réalisés pour la combinaison la plus défavorable.

#### A.2.4. Modélisation du sol - Fonctions d'impédance

Les effets d'interaction sol-structure sont calculés par des méthodes de fonctions d'impédance dans le cas où les fondations peuvent être considérées comme superficielles et suffisamment rigides.

##### A.2.4.1. Système de représentation simplifiée

Le sol est représenté par un système de ressorts qui relie le ou les nœuds représentatifs de la fondation de l'ouvrage ("radier inférieur" ou "contre-radier") au repère de sol en champ libre. Chaque ressort est caractérisé par sa raideur et son amortissement réduit.

Les ressorts se répartissent suivant trois types :

- translation verticale (symbole V),
- translation horizontale (symbole H),
- rotation autour d'un axe horizontal (symbole R).

Les coefficients de couplage ne sont pas pris en compte.

Cette représentation est admise en cas de sol homogène à l'échelle des dimensions en plan des fondations, c'est-à-dire en cas de sol stratifié dont les couches présentent des contrastes faibles de module G.

Dans ce dernier cas, pour chaque sollicitation statique envisagée (effort horizontal ou vertical, moment d'axe horizontal) à partir de formules établies en élasticité pour des fondations circulaires rigides et donnant les contraintes et déformations en fonction de la profondeur, on calcule :

- le déplacement de la fondation sur le sol stratifié avec les caractéristiques mécaniques des différentes couches,
- le déplacement de la fondation sur un sol homogène.

Le sol homogène équivalent pour la sollicitation considérée étant celui qui donne le même déplacement de la fondation que le sol stratifié, le module équivalent diffère selon la sollicitation. Si les écarts entre les différents modules équivalents sont trop importants, cette hypothèse simplifiée de sol homogène sera abandonnée.

##### A.2.4.2. Calcul des coefficients de raideur

$$K_V = \frac{P}{W}$$

Les coefficients de raideur sont définis par :  $K_H = \frac{Q}{U}$

$$K_R = \frac{M}{\Phi}$$



EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  9/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

avec :

- P, Q, M : force verticale, horizontale ou couple agissant sur le point nodal de la fondation,
- W, U,  $\Phi$  : déplacement vertical, horizontal ou en rotation résultant de la force précédente.

Ils sont calculés pour chaque direction sismique par les expressions :

$$K_V = G \cdot r \cdot F_V$$

$$K_H = G \cdot r \cdot F_H$$

$$K_R = G \cdot r^3 \cdot F_R$$

avec :

- G: module d'élasticité transversal dynamique du sol

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

- r : rayon du cercle équivalent de la fondation. Il est calculé comme suit :
- cas de coefficients de raideur en translation : l'aire du cercle équivalent est égale à l'aire de la surface d'appui.
- cas du coefficient de raideur en rotation : le moment d'inertie de la surface du cercle équivalent est égal au moment d'inertie de la surface d'appui de la fondation, rapporté à l'axe perpendiculaire à la composante passant par le centre de gravité de la surface.
- $F_V$ ,  $F_H$ ,  $F_R$  : coefficients sans dimension qui s'expriment en fonction des coefficients de transmittance par :

$$F_V = \frac{f_{V1}}{f_{V1}^2 + f_{V2}^2}$$

$$F_H = \frac{f_{H1}}{f_{H1}^2 + f_{H2}^2}$$

$$F_R = \frac{f_{R1}}{f_{R1}^2 + f_{R2}^2}$$

Le tableau A.2-3 donne les coefficients de transmittance du sol en fonction du coefficient de POISSON et du coefficient suivant :

$$\alpha = \omega_1 r \left( \frac{\rho}{G} \right)^{0.5}$$

Avec :

- r, G : calculés comme ci-avant,
- $\omega$  : pulsation la plus basse du système sol-structure, déterminée à l'aide d'un calcul modal préliminaire,
- $\rho$  : masse volumique du sol.

Lorsque les valeurs numériques des paramètres ne figurent pas dans les tableaux, une interpolation linéaire est effectuée à partir des valeurs les plus proches.

Les tableaux de coefficients de transmittance ont été établis par G. DELEUZE à l'aide des hypothèses suivantes :

- le sol est un solide semi-infini, élastique, homogène, isotrope et limité par un plan ;
- la réaction du sol sous la fondation est linéaire. La surface d'appui n'est donc pas plane ; elle est donnée par la résolution du second problème de BOUSSINESQ. Les déplacements du nœud de la fondation sont assimilés à ceux du centre d'inertie de la fondation ; la rotation de la fondation est celle du plan moyen de la surface d'appui ;
- l'amortissement géométrique correspond au rayonnement des ondes dans le sol.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  10/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

#### A.2.4.3. Calcul des amortissements réduits

L'amortissement réduit de chaque ressort est la somme de :

- l'amortissement interne de frottement égal à 0,05 quels que soient le mode et le sol,
- la moitié de l'amortissement géométrique. Celui-ci est calculé pour chaque composante du mouvement sismique, chaque mode et chaque type de ressort de sol.

L'expression de l'amortissement géométrique en fonction des coefficients de transmittance des tableaux A.2-3 est, pour chacun des types de ressort de sol :

$$\eta_V = -\frac{1}{2} \frac{f_{V2}}{f_{V1}}$$

$$\eta_H = -\frac{1}{2} \frac{f_{H2}}{f_{H1}}$$

$$\eta_R = -\frac{1}{2} \frac{f_{R2}}{f_{R1}}$$

#### A.2.5. Autres systèmes de représentation du sol

- a) Cas des sols ne pouvant être considérés comme homogènes :

Dans le cas où l'hypothèse simplificatrice de sol homogène ne peut être conservée, les fonctions d'impédance du sol dépendant de la fréquence sont déterminées avec un modèle prenant en compte les différentes couches avec leurs caractéristiques mécaniques. Des simplifications peuvent être admises : bâtiments isolés, ressorts de sols constants ajustés sur la fréquence du mode fondamental du système sol-structure.

Si nécessaire, le couplage par le sol entre les différents bâtiments est introduit dans le modèle.

- b) Cas des fondations ne pouvant être considérées comme superficielles et suffisamment rigides (Modélisation du sol par éléments discrets) :

Lorsque les fondations ne peuvent être considérées comme superficielles et suffisamment rigides, les effets d'interaction sol-structure sont évalués par des méthodes de discrétisation du sol.

- c) Cas des ouvrages isolés sur appuis implantés sur des sols durs :

Dans la situation où l'ouvrage est implanté sur un sol dont la raideur est très largement supérieure à la raideur horizontale des appuis, les calculs des spectres et des déplacements horizontaux peuvent être réalisés avec une modélisation de l'ouvrage considéré comme encastré à sa base sous réserve de justifications appropriées.

Dans le cas d'appuis capables de filtrer aussi les mouvements du sol verticaux, le recours à cette simplification pourra se faire pour la détermination des spectres et des déplacements verticaux sous la même réserve de justifications appropriées.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  11/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

### A.2.6. Directives de modélisation pour les ouvrages enterrés non isolés

Les directives suivantes s'appliquent aux ouvrages enterrés tels que la galerie BAGB-BMN, pour lesquels la modélisation du sol est essentielle.

#### A.2.6.1. Modélisation du sol

On représente une tranche de sol (modèle plan) par des éléments de volume, les caractéristiques du sol étant celles définies au paragraphe A.1.4.1.

La profondeur du modèle est au moins égale à la largeur de l'ouvrage. Les frontières latérales sont placées suffisamment loin (2 fois la profondeur du modèle) pour éviter les phénomènes de réflexion d'ondes. Des frontières absorbantes peuvent être utilisées pour réduire la taille du modèle, et également pour se connecter au champ libre.

La dimension verticale des mailles est inférieure au cinquième de la longueur d'onde correspondant à des fréquences de 15 à 20 Hz.

#### A.2.6.2. Modélisation de l'ouvrage

L'ouvrage est représenté par des éléments finis de plaque, de poutre ou de volume conformément au paragraphe A.2.2 du RCC-G.

TABLEAU A.2-1

### CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES DES MATERIAUX CONSTITUTIFS DE L'OUVRAGE

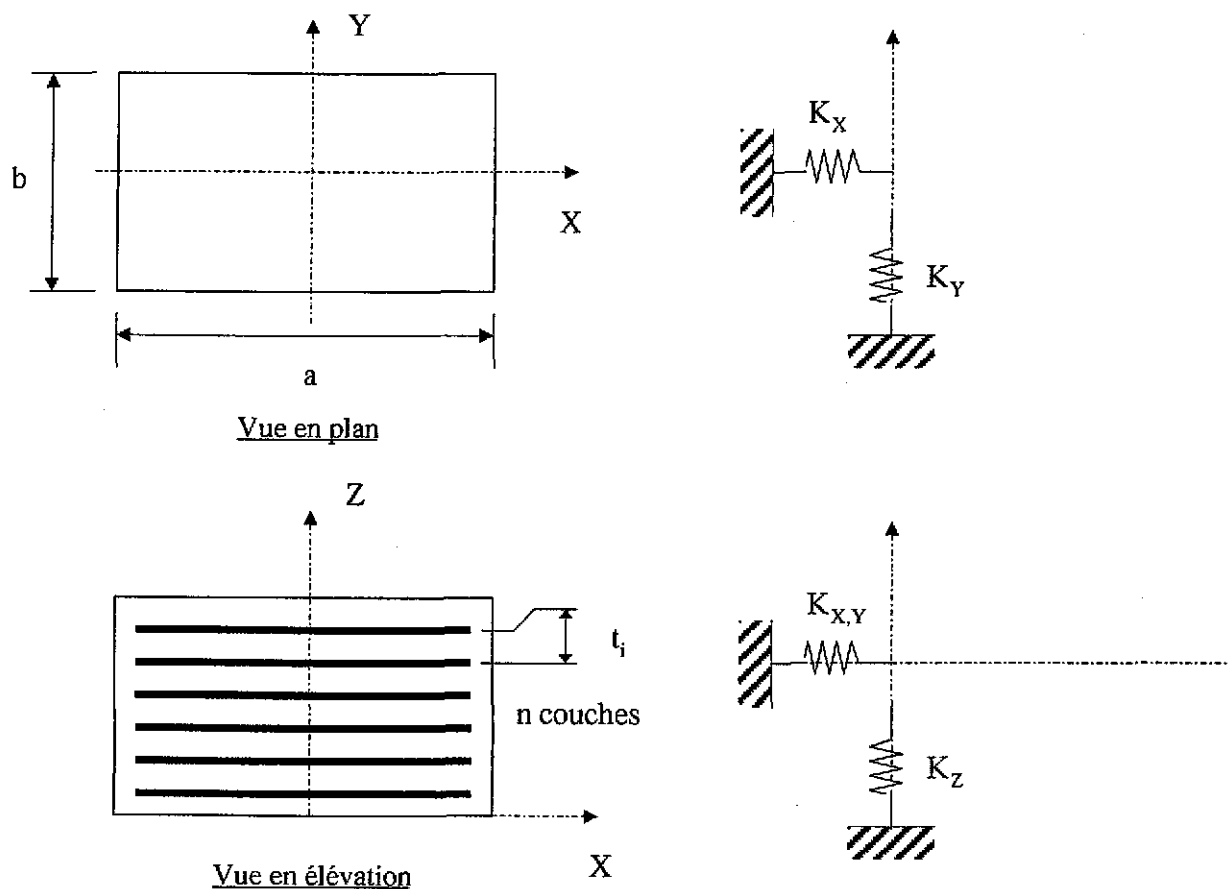
	Symbole	Béton		Acier	
Module d'élasticité dynamique	E	Non fissuré	Fissuré	210 000 MPa	
		35 000 MPa	20 000 MPa		
Coefficient de Poisson	$\nu$	0,2		0,3	
Amortissement réduit	$\eta$	Béton précontraint	Béton armé	Acier soudé	Acier boulonné
		0,05	0,07	0,04	0,07

Conformément au Guide ASN (référence [7] du RCCG RJH) annexe 1, on utilisera une valeur de module d'élasticité inférieure le cas échéant pour les portiques, poutres, poteaux

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  12/23
TITRE DU DOCUMENT :	Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments		

**FIGURE A.2-2**

**CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES APPUIS EN ELASTOMERE FRETTE**



EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice : C	PAGE 13/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

TABLEAU A.2-2

**RAIDEURS DES RESSORTS MODELISANT LES APPUIS**

Comportement		Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Paramètres statiques	Distorsion statique	Module	$G_s^{min}$	0,9	MPa
			$G_s^{max}$	1,4	MPa
		Raideur	$K_{hs}^{min}$	5,9	MN/m
			$K_{hs}^{max}$	9,2	MN/m
	Compression statique	Raideur	$K_{vs}^{min}$	4 900	MN/m
			$K_{vs}^{max}$	5 700	MN/m
Paramètres dynamiques	Distorsion dynamique	Module	$G_D^{min}$	0,9	MPa
			$G_D^{max}$	1,5	MPa
		Raideur	$K_{hd}$	$G \frac{a'b'}{T_q}$	
		Amortissement	$\xi_h$	5	%
	Compression dynamique	Raideur	$K_{vd}^{min}$	4 900	MN/m
			$K_{vd}^{max}$	7 000	MN/m
		Amortissement	$\xi_v$	5	%

Avec :

- $G$  Module transversal dynamique de l'élastomère
- $a, b$  Dimensions horizontales de l'appui
- $a', b'$  Dimensions horizontales efficaces de l'appareil d'appui (dimensions horizontales des frettes)
- $T_q$  Epaisseur initiale totale moyenne de l'élastomère en cisaillement , y compris les épaisseurs des feuillets supérieurs et inférieurs

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  14/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

TABLEAU A.2-3 (1/3)

COEFFICIENTS DE TRANSMITTANCE DU SOL

Transmittance verticale

$\alpha$	$\nu = 0,01$		$\nu = 0,25$		$\nu = 0,50$	
	$f_{V1}$	$f_{V2}$	$f_{V1}$	$f_{V2}$	$f_{V1}$	$f_{V2}$
0,00	0,2675	0,0000	0,2026	0,0000	0,1351	0,0000
0,25	0,2533	-0,0518	0,1928	-0,0365	0,1285	-0,0258
0,50	0,2356	-0,0985	0,1818	-0,0698	0,1211	-0,0495
0,75	0,2032	-0,1355	0,1604	-0,0971	0,1066	-0,0695
1,00	0,1629	-0,1600	0,1332	-0,1165	0,0878	-0,0888
1,25	0,1202	-0,1709	0,1034	-0,1270	0,0669	-0,0935
1,50	0,0799	-0,1691	0,0743	-0,1290	0,0457	-0,0969
1,75	0,0459	-0,1570	0,0484	-0,1236	0,0259	-0,0949
2,00	0,0206	-0,1381	0,0274	-0,1128	0,0090	-0,0887

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  15/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

TABLEAU A.2-3 (2/3)

COEFFICIENTS DE TRANSMITTANCE DU SOL

Transmittance horizontale

$\alpha$	$\nu = 0,01$		$\nu = 0,50$	
	$f_{H1}$	$f_{H2}$	$f_{H1}$	$f_{H2}$
0,00	0,2688	0,0000	0,2026	0,0000
0,25	0,2636	-0,0404	0,1995	-0,0259
0,50	0,2491	-0,0779	0,1910	-0,0502
0,75	0,2267	-0,1099	0,1778	-0,0718
1,00	0,1988	-0,1346	0,1610	-0,0894
1,25	0,1684	-0,1520	0,1424	-0,1025
1,50	0,1377	-0,1590	0,1231	-0,1108
1,75	0,1087	-0,1596	0,1043	-0,1146
2,00	0,0829	-0,1542	0,0866	-0,1144
$\alpha$	$\nu = 0,25$		$\nu = 0,40$	
	$f_{H1}$	$f_{H2}$	$f_{H1}$	$f_{H2}$
0,00	0,2364	0,0000	0,2161	0,0000
0,25	0,2324	-0,0323	0,2127	-0,0281
0,50	0,2215	-0,0625	0,2034	-0,0546
0,75	0,2045	-0,0890	0,1889	-0,0780
1,00	0,1833	-0,1103	0,1707	-0,0971
1,25	0,1597	-0,1257	0,1504	-0,1112
1,50	0,1354	-0,1349	0,1294	-0,1200
1,75	0,1118	-0,1384	0,1089	-0,1240
2,00	0,0899	-0,1369	0,0897	-0,1236

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  16/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

TABLEAU A.2-3 (3/3)

COEFFICIENTS DE TRANSMITTANCE DU SOL

Transmittance en rotation

$\alpha$	$\nu = 0,01$		$\nu = 0,50$	
	$f_{R1}$	$f_{R2}$	$f_{R1}$	$f_{R2}$
0,00	0,4280	0,0000	0,2161	0,0000
0,25	0,4361	-0,0018	0,2197	-0,0007
0,50	0,4587	-0,0137	0,2299	-0,0053
0,75	0,4874	-0,0435	0,2437	-0,0170
1,00	0,5128	-0,0941	0,2577	-0,0376
1,25	0,5252	-0,1632	0,2683	-0,0670
1,50	0,5160	-0,2434	0,2719	-0,1033
1,75	0,4801	-0,3240	0,2655	-0,1434
2,00	0,4177	-0,3931	0,2477	-0,1829
$\alpha$	$\nu = 0,25$		$\nu = 0,40$	
	$f_{R1}$	$f_{R2}$	$f_{R1}$	$f_{R2}$
0,00	0,3242	0,0000	0,2594	0,0000
0,25	0,3295	-0,0001	0,2635	-0,0008
0,50	0,3445	-0,0085	0,2752	-0,0063
0,75	0,3642	-0,0270	0,2908	-0,0202
1,00	0,3831	-0,0590	0,3064	-0,0445
1,25	0,3952	-0,1039	0,3174	-0,0788
1,50	0,3949	-0,1578	0,3196	-0,1208
1,75	0,3782	-0,2147	0,3098	-0,1664
2,00	0,3439	-0,2674	0,2863	-0,2102



EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  17/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

### A.3. Calcul des modes

Chaque direction sismique donne lieu au calcul des modes comme indiqué ci-après :

#### A.3.1. Notations

La définition des symboles utilisés dans ce chapitre est la suivante :

$i$  : indice de mode  
 $j$  : indice de degré de liberté  
 $k$  : indice d'élément de structure  
 $n$  : nombre de degrés de liberté  
 $s$  : indice de ressort de sol  
 $f_i$  : fréquence propre du mode  $i$  (on pose  $\omega_i = 2\pi f_i$ )  
 $m_i$  : masse modale effective du mode  $i$   
 $m$  : masse totale de l'ouvrage et du matériel supporté  
 $X_i$  : vecteur propre de déplacements du mode  $i$  (matrice colonne d'ordre  $n$ )  
 $X_i^T$  : matrice ligne transposée de  $X_i$   
 $X_{ij}$  : élément  $j$  du vecteur  $X_i$   
 $C_i$  : coefficient de masse du mode  $i$   
 $E_{ki}$  : énergie potentielle de l'élément  $k$  pour le mode  $i$   
 $E_{si}$  : énergie potentielle du ressort de sol  $s$  pour le mode  $i$   
 $K$  : matrice de raideur (ordre  $n$ )  
 $M$  : matrice de masse (ordre  $n$ )  
 $D_{ij}$  : déplacement du degré de liberté  $j$  pour le mode  $i$   
 $\alpha$  : facteur d'intensité du séisme (accélération au sol)  
 $\beta_i$  : coefficient de réponse du mode  $i$   
 $\gamma_i$  : facteur de participation du mode  $i$   
 $\delta$  : vecteur des cosinus directeurs de la direction du mouvement sismique considéré (matrice colonne d'ordre  $n$ )  
 $\delta_j$  : élément  $j$  du vecteur  $\delta$   
 $\eta_i$  : amortissement réduit moyen du mode  $i$   
 $\eta_k$  : amortissement réduit de l'élément  $k$   
 $\eta_{si}$  : amortissement réduit du ressort de sol  $s$  pour le mode  $i$   
 $\omega_i$  : pulsation du mode  $i$   
 Les éléments de structure incluent les éléments représentant le système d'isolation ainsi que le radier supérieur.

#### A.3.2. Calcul des fréquences propres et des vecteurs propres

La première étape du calcul est la recherche des modes de vibration libre et non amortie de l'ouvrage.

Chaque mode est caractérisé par une fréquence propre et par un vecteur propre dont la norme est précisée. Celui-ci définit à une constante près la déformée de l'ouvrage et vérifie l'équation matricielle suivante :

$$[K - \omega_i^2 M]X_i = 0$$

Les modes sont calculés par ordre croissant de fréquence ; leur nombre est tel que la somme de leurs masses modales effectives définies en A.3.6. représente la totalité de la masse totale des superstructures, radier inférieur exclus ou environ 90% de la masse totale des structures, radier inférieur inclus. De plus, la fréquence du dernier mode est au moins de 33 Hz.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CENEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  18/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

### A.3.3. Calcul des déplacements maximaux et des sollicitations

Le déplacement maximal des nœuds est calculé mode par mode en valeur relative par rapport au repère du sol en mouvement, par :

$$D_{ij} = \frac{\alpha_i \beta_i \gamma_i}{\omega_i^2} X_{ij}$$

où :

- $\beta_i$  est calculé suivant A.3.4,
- $\gamma_i$  est calculé suivant A.3.5.

*Les déplacements relatifs de deux points quelconques sont déterminés mode par mode, par interpolation et addition vectorielle.*

Les sollicitations (ou contraintes internes à l'ouvrage) sont calculées mode par mode en imposant les déplacements maximaux aux nœuds et en utilisant les lois de l'élasticité linéaire.

### A.3.4. Calcul des coefficients de réponse

#### A.3.4.1. Calcul préliminaire des amortissements

L'amortissement réduit moyen est calculé pour chaque mode suivant l'expression :

$$\eta_i = \frac{\sum_k (E_{ki} \eta_k) + \sum_s (E_{si} \eta_{si})}{\sum_k (E_{ki}) + \sum_s (E_{si})}$$

La sommation sur k s'applique à tous les éléments représentatifs de l'ouvrage, incluant les éléments représentatifs du système d'isolation, et la sommation sur s s'applique à tous les ressorts représentatifs du sol.

Pour chaque mode, l'amortissement  $\eta_i$  est limité à la valeur maximale 0,3.

#### A.3.4.2. Coefficients de réponse

Le coefficient de réponse mesure la réponse en accélération de l'oscillateur simple ayant la même fréquence propre et le même amortissement de l'ouvrage pour le mode considéré.

Il est calculé pour chaque mode et chaque composante du mouvement sismique.

##### a) Composantes horizontales

Pour les composantes horizontales du mouvement sismique, il est calculé à partir du spectre de réponse d'oscillateurs au sol par interpolation dans l'intervalle défini par :

$(\eta', \eta'')$  qui encadrent  $\eta_i$ ,

$(f', f'')$  qui encadrent  $f_i$ ,

avec l'hypothèse que  $\log \beta$  est une fonction linéaire de  $\log f$  et de  $\log \eta$ .

##### b) Composante verticale

Pour la composante verticale du séisme, il est admis, hors UN, de ne pas effectuer de calcul modal. L'ouvrage est considéré comme un solide indéformable relié à un ressort de sol vertical. L'amplification du facteur d'intensité du séisme est en tout point égale à 1,5. Pour les ouvrages sur sol de module élevé, comportant des consoles, des voûtes ou des planchers élancés ou lorsque l'intensité du séisme est élevée, des calculs de vérification de cette valeur sont effectués.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  19/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

### A.3.5. Calcul des facteurs de participation

*Le facteur de participation est un coefficient de pondération indiquant la contribution du mode à la réponse globale de l'ouvrage.*

Il est calculé pour chaque mode.

Il s'exprime par :

$$\gamma_i = \frac{X_i^T M \delta}{X_i^T M X_i}$$

### A.3.6. Calcul des coefficients de masse

Le coefficient de masse est un nombre sans dimension qui mesure la part de masse de l'ouvrage qui est concernée par le mode considéré.

Il est calculé pour chaque mode et chaque composante du mouvement sismique.

Il s'exprime en fonction de la masse modale effective du mode par :

$$c = \frac{m_i}{m}$$

$$\text{Avec : } m_i = \frac{(X_i^T M \delta)^2}{X_i^T M X_i}$$

La masse modale effective est la masse qu'aurait un oscillateur simple de même fréquence et de même amortissement réduit que l'ouvrage pour le mode considéré.

### A.3.7. Utilisation des pseudo-modes

Ceux des modes qui ne peuvent être représentés correctement avec la modélisation retenue sont regroupés dans un pseudo mode calculé de la façon suivante :

Soit  $X_s$ , le vecteur représentant la déformée statique de l'ouvrage sous l'effet d'une accélération unitaire dans la direction du séisme.

$$M \cdot \delta = K \cdot X_s$$

ce vecteur  $X_s$  représente la somme des réponses de la totalité des modes à une excitation sinusoïdale de pulsation infiniment lente.

$$X_s = \sum_{i=1,n} \frac{\gamma_i X_i}{\omega_i^2}$$

Si cette somme est limitée aux q premiers modes :

$$X_s = \sum_{i=1,q} \frac{\gamma_i X_i}{\omega_i^2} + X_p$$

Le résidu est un vecteur  $X_p$  appelé "pseudo-mode" dont la réponse au séisme est estimée par :

$$\alpha \beta_p X_p$$

où  $X_p$  désigne, pour être conservatif, le maximum des coefficients de réponse correspondant aux modes propres remplacés.

La détermination de  $X_p$  est immédiate si la fréquence d'ordre q est dans la partie du spectre où  $\beta = 1$  : le maximum de l'accélération est égal à  $\alpha$ . La réponse du pseudo mode vaut :  $\alpha X_p$ .

Si la prise en compte des q premiers modes ne suffit pas pour atteindre la partie plate du spectre, on donne à  $X_p$  une valeur majorante pour la fréquence propre d'ordre q.

Ce mode est ensuite traité comme les autres modes.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  20/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

## A.4. Superposition des modes et des composantes du séisme

Les déplacements maximaux ou relatifs et les sollicitations calculés mode par mode pour chaque direction des séismes sont superposés suivant les règles ci-après.

### A.4.1. Superposition des modes pour une même direction de séisme

Les déplacements et sollicitations calculés mode par mode pour une même direction de séisme sont combinés quadratiquement sauf s'il existe des modes proches, c'est-à-dire si :

$$\frac{f_{i+1}}{f_i} < 1,1$$

Dans ce cas, la méthode dite de "combinaison quadratique complète" ou CQC est appliquée. Pour les déplacements, elle est définie par :

$$D_j = \left[ \sum_p \sum_q (D_{pj} Q_{pq} D_{qj}) \right]^{0,5}$$

Avec : p et q : indices de mode ( $p < n$ ,  $q < n$ )

Avec :

$$Q_{ij} = \frac{8 (\eta_i \eta_j)^{0,5} (\eta_i + r \eta_j) r^{1,5}}{(1-r^2)^2 + 4 \eta_i \eta_j r (1+r^2) + 4 (\eta_i^2 + \eta_j^2) r^2} \quad r = \frac{f_j}{f_i}$$

Pour les efforts F aux nœuds, la formule est identique :

$$F_j = \left[ \sum_p \sum_q (F_{pj} Q_{pq} F_{qj}) \right]^{0,5}$$

Il est rappelé que j est l'indice de degré de liberté (cf. A.3.1) et que  $\eta$  est l'amortissement réduit modal (cf. A.3.1).

*Cette méthode est toujours applicable mais n'est obligatoire que s'il existe des modes proches.*

Cette règle de cumul est à appliquer directement aux grandeurs utiles pour le dimensionnement. En effet, la méthode CQC ne garantit pas un calcul sismique équivalent cohérent sauf à définir le domaine de cocommittance des grandeurs intervenant dans ce calcul.

### A.4.2. Superposition des composantes sismiques

Les grandeurs précédemment calculées en A.4.1. pour chacune des trois directions sismiques sont combinées suivant l'une des deux méthodes ci-après :

#### a) Méthode de superposition quadratique

Cette méthode donne lieu à une application simple lorsque les grandeurs dépendent linéairement du séisme.

#### b) Méthode de superposition linéaire

En désignant conventionnellement par  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $V$  les valeurs respectives d'une même grandeur pour les trois directions de séisme, les résultantes suivantes sont considérées :

$$R_x = \pm H_x \pm 0,4 H_y \pm 0,4 V$$

$$R_y = \pm 0,4 H_x \pm H_y \pm 0,4 V$$

$$R_v = \pm 0,4 H_x \pm 0,4 H_y \pm V$$

La plus défavorable de ces expressions est retenue pour chaque grandeur à justifier. Cette règle est utilisée par le Professeur NEWMARK. Elle conduit à une majoration faible des grandeurs par rapport à la combinaison quadratique et permet une application plus facile.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  21/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

Dans le cas où une composante horizontale du séisme est prépondérante, les expressions précédentes se réduisent à :

$$R = \pm H \pm 0,4V$$

#### A.4.3. Cas particulier de l'accélération absolue

Il est tenu compte de l'accélération d'entraînement du sol dans la superposition quadratique. L'expression qui en résulte est :

$$(A'_j)^2 = \sum^k \left[ \sum_i (A_{ij}^k)^2 + (\alpha^k)^2 \left( \delta_j^k - \sum_i \gamma_i^k X_{ij}^k \right)^2 \right]$$

Avec :

- $A'_j$  : l'accélération absolue du point de degré de liberté j,
- k en indice supérieur : direction du séisme.

Les autres symboles ont la même signification qu'au paragraphe A.3.1.

L'accélération absolue n'est pas à utiliser pour déterminer les efforts internes.

### A.5. Utilisation des sollicitations

#### A.5.1. Règles générales

Les sollicitations sismiques sont combinées avec les sollicitations résultant d'autres actions comme indiqué au § 3.6 du RCC-G adapté au RJH.

Ces sollicitations sont utilisées directement si la modélisation le permet.

Sinon, il est admis de les représenter par des répartitions de forces équivalentes (par exemple forces d'inertie variables avec le niveau).

#### A.5.2. Vérification du décollement de sol

Lorsque la distribution des réactions de sol fait apparaître des tractions au contact radier inférieur -sol, le radier inférieur est susceptible de décoller. Dans ce cas :

- la distribution des réactions de sol est modifiée pour annuler l'effet de traction du calcul initial,
- la surface décollée est calculée soit à partir d'un modèle simple de répartition des réactions de sol, soit par une analyse temporelle d'un modèle non-linéaire où les fonctions d'impédance du sol sont variables avec la surface de contact. Ce calcul est effectué pour la combinaison "séisme de dimensionnement" du § 3.6 du RCC-G adapté au RJH.,
- afin de limiter les déformations irréversibles du sol, en règle générale il est demandé que la surface décollée ne dépasse pas une certaine partie (30%) de la surface totale du radier inférieur. Sinon, une étude particulière est effectuée.

#### A.5.3. Vérification du non décollement d'appuis

Dans le cas des bâtiments isolés sur appuis, la distribution des appuis sous le radier doit être étudiée pour qu'il n'y ait pas de tractions au contact radier supérieur - appuis.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  22/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

#### **A.5.4. Poussée des terres**

La poussée des terres sur les parois verticales en contact avec le sol tient compte des phénomènes dynamiques (analyse pseudo-statique, propagation des ondes élastiques, éléments finis). Le coefficient de poussée dynamique est calculé site par site.

Les actions dues aux bâtiments contigus, transmises par le sol aux parois verticales en dessous des radiers voisins, tiennent compte :

- des effets verticaux dus aux moments de basculement de ces bâtiments contigus sous radiers voisins ( avec l'hypothèse d'une répartition linéaire de la pression de contact sous le radier ou les semelles),
- des effets horizontaux dus à l'effort tranchant à la base de ces bâtiments contigus. Il est admis de considérer seulement 30 % de ces efforts pris d'une manière répartie sur la hauteur du voile dans le sol et sur la longueur du bâtiment concerné.

La poussée des terres sur les parois verticales est calculée avec des formules du type MONONOBE et OKABE où l'équilibre limite est atteint derrière le mur. Sinon, il est admis d'augmenter le coefficient de poussée des terres au repos  $k_0$  d'une valeur représentant l'accroissement de poussée des terres actives obtenue par les formules MONONOBE et OKABE.

Pour les calculs de dimensionnement et à défaut de valeurs plus précises, on retient un coefficient de poussée dynamique de 0,8 pour le SDD.

### **A.6. Présentation des résultats**

#### **A.6.1. Dispositions générales**

Les résultats énumérés ci-après sont présentés sous forme de tableaux qui regroupent successivement :

- l'intensité du séisme et son spectre,
- les données de modélisation,
- les résultats par mode s'appliquant aux degrés de liberté,
- les résultats par mode s'appliquant aux liaisons des nœuds.

Les unités légales et cohérentes sont strictement utilisées.

#### **A.6.2. Données de modélisation**

Les tableaux indiquent notamment :

- les masses concentrées des nœuds,
- les inerties massiques des nœuds,
- les longueurs, sections et raideurs des éléments de liaison,
- les raideurs et amortissements des différents ressorts de sol,
- les raideurs et amortissements des éléments représentant le système d'isolation.

#### **A.6.3. Résultats par modes**

Les tableaux indiquent notamment pour chaque mode :

- la fréquence propre,
- l'amortissement,
- le coefficient de réponse,
- le facteur de participation,
- le coefficient de masse,
- le cumul des coefficients de masse.

Les facteurs de normalisation sont indiqués.

EDF DIRECTION PRODUCTION INGENIERIE CNEN	Type de Document : Note d'Etude  Réf. de Document : ECEIG070592	Indice :  C	PAGE  23/23
TITRE DU DOCUMENT : Additif n°3 au RCCG-RJH - Calcul sismique des bâtiments			

#### **A.6.4. Résultats par nœuds**

Les tableaux indiquent, pour chaque nœud et chaque mode, les déplacements en translation et en rotation ainsi que les accélérations absolues.

#### **A.6.5. Résultats par éléments de liaison**

Les tableaux indiquent notamment, pour chaque élément et chaque mode :

- les efforts normaux,
- les moments fléchissant et de torsion,
- les efforts tranchants.

#### **A.6.6. Synthèse des résultats**

Un tableau de synthèse indique la valeur retenue pour chaque grandeur de dimensionnement.