



Le : **11 MARS 1991**  
Réf. : GC 90-43 B  
CCo/NLn

Département : SYSTEMES ET INSTALLATION

Rédacteur : C. COLADANT

Nbre de pages 17

Type de tranche(s) concernée(s) :

Nbre d'annexes -

Titre : MINES DE POTASSE D'ALSACE

Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

E N S GC / 90 - 43 B

GPE N018L/-

Type de document :

Domaine (mots-clés) :

Résumé : Cette note présente les résultats de l'étude, confiée au SEPTEN par les Mines de Potasse d'Alsace, de tenue du cuvelage du puits Joseph en cas de sollicitation sismique. A partir de différents profils de terrains, on évalue à l'aide de formules simples les contraintes dans le cuvelage. Une colonne de sol, avec le cuvelage, a été également modélisée. Les contraintes dans le cuvelage restent modérées.

Indice B : page 9

Archivage au FTE : non

COPYRIGHT EDF EQT 1990

PALIER : CENTRALE :	TRANCHE :	FICHE DE CONTROLE ET DE DIFFUSION				
I RAPPEL : MINES DE POTASSE D'ALSACE - Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph GC 90-43 B						
II Document important pour la sûreté :		OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input checked="" type="checkbox"/>	
Document concernant la disponibilité :		OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input checked="" type="checkbox"/>	
Document HPIC :		OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input checked="" type="checkbox"/>	
Vérification demandée :		Par EDF	<input type="checkbox"/>	"En ligne"	<input type="checkbox"/>	
				En cours	<input type="checkbox"/>	
III						
Indépendante		OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Hors EDF	<input type="checkbox"/>	En différé	<input type="checkbox"/>	
				Effectuée	<input type="checkbox"/>	
Responsable vérification (Nom, Service/Société) :						
IV Prédiffusion formalisée : OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/> Après de : MDPA, M. BETBEDER						
INDICE DE LA NOTE	REDACTEUR		VERIFICATEUR		CHEF DE DIVISION	CHEF DE DEPARTEMENT
	Nom-visa	date	Nom-visa	date	Nom-visa	date
Indice A	C. COLADANT	22/1/91			J.L. COSTAZ	2/1
Indice B	C. COLADANT	29/2/91			J.L. COSTAZ	4/3
Indice C						
VI Note transmise au "Contrôle externe"						
Par :		Date d'envoi :		OUI	<input type="checkbox"/>	
				NON	<input checked="" type="checkbox"/>	
DIFFUSION						
Systématique Direction (page de garde) Dpt Systèmes et Installation Dpt Matériels Dpt Théorie VI Chef de projet concerné Chef de division rédactrice Ingénieur rédacteur Division GT :      bureau courrier documentation (2 ex) Division Sûreté Nucléaire (si note concerne la sûreté)			Complémentaire Mines de Potasse d'Alsace M. BETBEDER Dont SEPTEN			



Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

**0 - CLASSEMENT PIC-HPIC**

Cette note s'applique à une installation industrielle classée. Elle définit des grandeurs de base nécessaires à la vérification de structures. Les méthodes de calcul s'appuient sur notre expérience (code POUX, réf. 3) et sur des documents publiés (AFPS 90 réf. 1). Cette note est donc de Pratique Industrielle Courante.

**S O M M A I R E**

- I - INTRODUCTION
- II - ESTIMATION DES PROPRIETES MECANIKES DES TERRAINS
- III - FORMULES SIMPLES RELATIVES AU MONOCOUCHE
- IV - MODELISATION D'UNE COLONNE DE SOL
- V - VERIFICATION DES CONTRAINTES DANS LE CUVELAGE
- VI - CONCLUSION
- VII - REFERENCES

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph**I - INTRODUCTION**

En cas de séisme, le cuvelage d'un puits de mine est soumis aux mouvements des terrains encaissants. Il y a peu ou pas d'interaction du cuvelage avec les terrains et on suppose généralement que le tubage a le même mouvement que le sol. Pour le mouvement du sol, une solution analytique existe dans le cas d'une couche reposant sur un substratum rigide (ou considéré comme tel) ; dans les autres cas il faut passer par un modèle aux éléments finis pour la couche de sol. Avant tout calcul, il est indispensable de connaître la géométrie et les propriétés mécaniques des terrains comme du cuvelage.

On examinera donc dans un premier temps quelles valeurs on peut obtenir pour les couches de terrains traversés (marnes, alluvions, ...), ceci en fonction de notre expérience sur des sites voisins ou analogues.

On exploitera ensuite les formules simples relatives à un monocouche, le séisme n'intervenant que par les accélérations maximales en surface.

Un modèle complet des couches de sol sur une hauteur de 500 m sera fait, ce modèle sera excité à la base avec un spectre d'oscillateur enveloppant les spectres donnés dans le rapport de l'IPGS.

**II - ESTIMATION DES PROPRIETES MECANQUES DES TERRAINS**

La coupe géologique du puits Joseph fait apparaître un dépôt quaternaire alluvial (cailloux, sables, ...) sur environ 35 m surmontant des marnes argileuses, schisteuses avec apparition d'anhydrites, de gypses et de sels gemmes, formations salines venues injecter ces marnes. Les caractéristiques mécaniques sont obtenues par analogie avec d'autres formations de même nature.

1°/ Alluvions

Les propriétés mécaniques de telles alluvions ont été mesurées sur le site de la Centrale Nucléaire de Fessenheim. Ces alluvions, d'excellente qualité, présentent peu de sables (10 à 20 % sur les premiers mètres, 40 % au-delà) et ne présentent que très peu de limons. La vitesse des ondes de cisaillement obtenue à l'essai cross-hole, est partout supérieure à 500 m/s en haut de la couche.

Compte tenu d'une masse volumique de 2000 kg/m<sup>3</sup>, on pourrait retenir un module G de 500 MPa et un module E de 1400 MPa. Ces valeurs sont les plus fortes que nous ayons jamais rencontrées sur nos sites pour des alluvions. Quand la proportion de sables ou de limons augmente, la vitesse de propagation des ondes de cisaillement baisse, on obtient couramment des valeurs de l'ordre de 350 m/s, ce qui avec la même densité donne des modules G et E valant respectivement 250 et 700 MPa.

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph2°/ Marnes

Les mesures étant atteintes très profondément à Fessenheim, de 150 à 200 m, il n'a pas eu d'essai cross-hole à cette profondeur et nous n'avons de valeur pour ce site.

Nous avons toutefois sur de nombreux sites des formations de marnes, argileuses ou calcaires (Cattenom, Saint-Laurent, Saint-Alban, Tricastin) à des profondeurs similaires. Les vitesses de propagation des ondes de cisaillement varient selon la nature (argile-calcaire), la profondeur et la consolidation (ou surconsolidation) : on peut aller de 350 m/s pour des marnes argileuses à 20-30 m de profondeur, à 700-800 m/s à 100-150 m de profondeur jusqu'à des valeurs de 900 à 1100 m/s pour des marno-calcaires (50 à 100 m de profondeur). Plus profondément on peut aller jusqu'à 1400-1500 m/s.

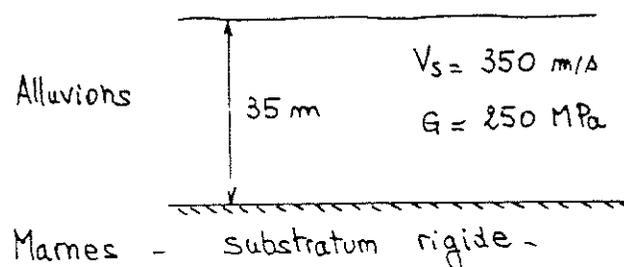
Compte tenu de la coupe des terrains, nous proposerions de retenir une valeur de 350 m/s en tête des marnes (35 m de profondeur) une augmentation linéaire jusqu'à 700 m/s à 80 m de profondeur, une augmentation à 1000 m/s à la profondeur de 120 m, une augmentation à 1500 m/s jusqu'à la profondeur de 180 m, puis 1500 m/s en dessous.

3°/ Profils retenus pour les calculs

Compte tenu des incertitudes sur la détermination des caractéristiques mécaniques dynamiques des terrains, il est d'usage de faire varier, dans une fourchette assez large, les caractéristiques pour les calculs. Ceci nous amène à proposer les profils suivants :

a) Alluvions moyennes des marnes dures

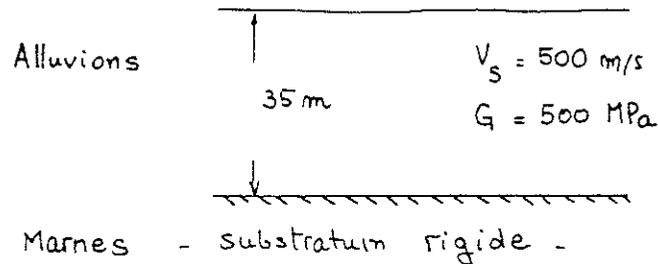
On considère une couche de 35 m d'alluvions reposant sur un substratum marneux supposé très rigide par rapport aux alluvions. La vitesse de propagation des ondes de cisaillement vaut 350 m/s, les modules dynamiques G et E valent respectivement 250 et 700 MPa.



.../...

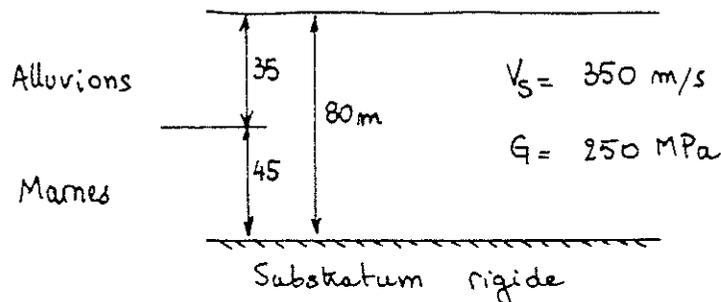
Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Josephb) Alluvions raides sur marnes dures

La géométrie est la même que ci-dessus. On retient pour les alluvions une vitesse de 500 m/s et des modules dynamiques G et E de 500 et 1400 MPa.

c) Alluvions moyennes et marnes compressibles

On considère une couche unique de 80 m d'épaisseur constituée par les alluvions et marnes pour lesquelles on a retenu les caractéristiques suivantes : 350 m/s 250 et 700 MPa.

Cette couche repose sur des marnes dures supposées rigides.



.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Josephd) Alluvions et marnes de caractéristiques variables

On considère les valeurs hautes pour les alluvions (sur 35 m). Les caractéristiques des marnes sont variables avec la profondeur. Le profil est donné ci-dessous :

Profondeur m	Profil des vitesses $V_s$ m/s	Modules (MPa)	
		G	E
0	500	500	1400
35	350	250	700
80	700	1000	2800
120	1000	2200	6200
200	1500	5000	14000

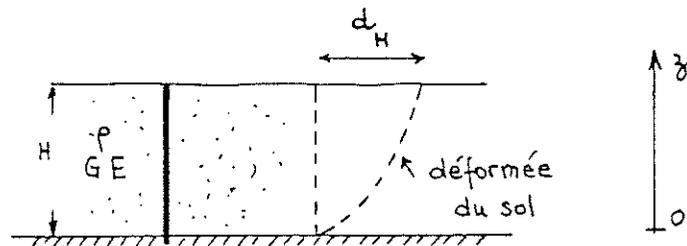
## III - FORMULES SIMPLES RELATIVES AU MONOCOUCHE

Les méthodes utilisées dans ce chapitre sont celles proposées pour le calcul simplifié des constructions sur pieux. On fait l'hypothèse que le mouvement du pieu est égal à celui du sol.

1°/ Méthode simplifiée de calcul des pieux (1)

On considère une couche de terrain meuble reposant sur un substratum rocheux considéré comme indéformable. On note  $H$  la hauteur de la couche,  $\rho$  sa masse volumique,  $G$  et  $E$  les modules dynamiques,  $a_H$  et  $a_V$  les accélérations du sol à la surface,  $d_H$  et  $d_V$  les déplacements maximaux du sol, en surface également.

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph


La déformée, horizontale ou verticale, du 1er mode de sol, horizontal ou vertical, est un quart de sinusöide défini par le déplacement maximal, horizontal ou vertical, à la surface du sol. Ces déplacements s'écrivent :

$$d_H = \frac{r}{G_{\text{sol}}} \left( \frac{2H}{\pi} \right)^2 \quad d_V = \frac{r}{E_{\text{sol}}} \left( \frac{2H}{\pi} \right)^2$$

La déformée horizontale  $u(z)$  s'écrit alors

$$u(z) = d_H \sin\left(\frac{\pi z}{2H}\right)$$

De même, la déformée verticale  $w(z)$  vaut :

$$w(z) = d_V \sin\left(\frac{\pi z}{2H}\right)$$

On assimile alors la déformée du pieu à celle du premier mode calculée ci-dessus. Ceci n'est acceptable que lorsque le pieu a un diamètre faible (80 cm) et surtout s'il peut développer une rotule à sa base.

Le mouvement horizontal  $u(z)$  permet d'obtenir en tout point moment fléchissant et effort ranchant.

Il vient alors,  $E_p$  et  $I$  désignant le module et l'inertie du pieu :

$$M = E_p I \frac{d^2 u}{dz^2} = E_p I d_H \left( \frac{\pi}{2H} \right)^2 \sin\left(\frac{\pi z}{2H}\right)$$

$$T = E_p I \frac{d^3 u}{dz^3} = E_p I d_H \left( \frac{\pi}{2H} \right)^3 \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right)$$

Le moment maximum est obtenu en haut de la couche et vaut :

$$M = E_p I d_H \left( \frac{\pi}{2H} \right)^2 = E_p I a_H \frac{\pi}{G_{\text{sol}}}$$

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

La contrainte maximale :  $\sigma = Mv/I$  s'exprime alors par :

$$\sigma = E_P v a_H \frac{P}{G_{sol}}$$

L'effort tranchant maximum est obtenu à la base de la couche et vaut :

$$T = E_P I d_H \left( \frac{\pi}{2H} \right)^3 = E_P I \frac{P}{2H} a_H \frac{P}{G_{sol}}$$

Le cisaillement maximal s'exprime alors par  $\tau = T/S$  où S est la section.

Le mouvement vertical permet d'obtenir l'effort normal N, ou la contrainte  $\sigma$  qui s'écrit

$$\sigma = E_P \frac{dw}{dz} = E_P \frac{\pi}{2H} d_V \cos \left( \frac{\pi z}{2H} \right)$$

Elle est maximale en bas de la couche et vaut :

$$\sigma = E_P \frac{P}{2H} d_V = a_V \frac{2H}{\pi} \rho \frac{E_P}{E_{sol}}$$

## 2°/ Application au cuvelage du puits Joseph

### a) Caractéristiques du cuvelage

En partie supérieure, le cuvelage, sauf aux endroits des renforts, a un diamètre extérieur de 5,35 m et une épaisseur de 35 mm. Plus bas, en dessous de 20 m, le diamètre extérieur passe à 4,85 m (diamètre intérieur 4,60 m), l'épaisseur restant à 35 mm, puis passant à 40, 45 mm. Le module E est pris égal à  $9.4 \cdot 10^{10}$  Pa.

### b) Accélérations du sol en surface

**B**

Le rapport de l'IPGS (2) propose de retenir une accélération horizontale de 0,4 g en surface (§ 7 p.46), ce qui est une valeur très forte pour faire du dimensionnement dans le domaine élastique. Pour le mouvement vertical, le texte du rapport n'est pas clair, aucune valeur n'est proposée, si ce n'est que le mouvement vertical peut avoir une amplitude 2 fois plus faible (§ 8 p.50). On retiendra donc une valeur de 0.2 g.

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Josephc) Monocouche alluvions moyennes

- Séisme horizontal

$$\sigma = 9.4 \cdot 10^{10} \times \frac{5,35}{2} \times 4 \times \frac{2000}{2.5 \cdot 10^8} = 8,05 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau = E \frac{\pi R^3 e}{\pi R e} \left( \frac{\pi}{2H} \right) a_H \frac{\rho}{G} = ER^2 \left( \frac{\pi}{2H} \right) a_H \frac{\rho}{G}$$

avec R rayon et e épaisseur du cuvelage

$$\tau = 9.4 \cdot 10^{10} \times \left( \frac{4,85}{2} \right)^2 \times 4 \times \frac{2000}{2.5 \cdot 10^8} \times \frac{\pi}{70} = 0,79 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

- Séisme vertical

$$\sigma = 2 \times \frac{70}{\pi} \times 2000 \times \frac{9.4 \cdot 10^{10}}{710^8} = 12 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

d) Monocouche alluvions raides

- Séisme horizontal

$$\sigma = 9.4 \cdot 10^{10} \times \frac{5,35}{2} \times 4 \times \frac{2000}{5 \cdot 10^8} = 4.02 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau = 9.4 \cdot 10^{10} \left( \frac{4,85}{2} \right)^2 \times 4 \times \frac{2000}{5 \cdot 10^8} \times \frac{\pi}{70} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

- Séisme vertical

$$\sigma = 2 \times \frac{70}{\pi} \times 2000 \times \frac{9.4 \cdot 10^{10}}{1.4 \cdot 10^9} = 6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

e) Monocouche alluvions moyennes et marnes compressibles

- Séisme horizontal

$$\sigma = 9.4 \cdot 10^{10} \times \frac{5,35}{2} \times 4 \times \frac{2000}{2.5 \cdot 10^8} = 8.05 \text{ MPa}$$

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

$$\tau = 9.4 \cdot 10^{10} \left( \frac{4.75}{2} \right)^2 \times 4 \times \frac{\pi}{160} \times \frac{2000}{2.5 \cdot 10^8} = 0,35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

- Séisme vertical

$$\sigma = 2 \times \frac{160}{\pi} \times 2000 \times \frac{9.4 \cdot 10^{10}}{7 \cdot 10^8} = 27,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

#### IV - MODELISATION D'UNE COLONNE DE SOL

On ne peut pas faire de calculs simples avec le profil complexe donné en II.3.d. Il est nécessaire de modéliser la colonne de sol, le cuvelage et d'exciter à la base avec un spectre d'oscillateur. Les calculs sont faits avec le code POUX développé par EDF (3).

##### 1°/ Modélisation

On modélise la colonne de sol par des éléments de poutre se déformant uniquement au cisaillement pour le séisme horizontal et en traction compression pour le vertical. Les 80 premiers mètres de profondeur sont représentés par des éléments de poutre de 5 m de hauteur ; le découpage est fait ensuite avec des éléments de 20 m de hauteur jusqu'à 500 m de profondeur. Les caractéristiques mécaniques des éléments de poutre ont été choisies pour respecter le profil de modules.

Le cuvelage est représenté sur une hauteur de 80 m seulement par des éléments de poutre de hauteur 5 m, de diamètre extérieur 5,35 m sur les 20 premiers mètres, puis de diamètre extérieur 4,85 m, l'épaisseur étant égale à 35 mm. Le cuvelage n'a pas été représenté en dessous car les valeurs des contraintes sismiques deviennent très faibles. Les cotes des noeuds des poutres de sol et de cuvelage sont identiques.

##### 2°/ Liaisons sol-cuvelage

Un premier modèle est réalisé avec des liaisons entre le sol et le cuvelage imposant le même déplacement horizontal et le même déplacement vertical pour le sol et le cuvelage. Des rotations sont possibles pour les noeuds du cuvelage, on est dans le même cas que celui présenté pour le monocouche en III. Ceci veut dire qu'il y a peu d'interaction entre le cuvelage et le sol.

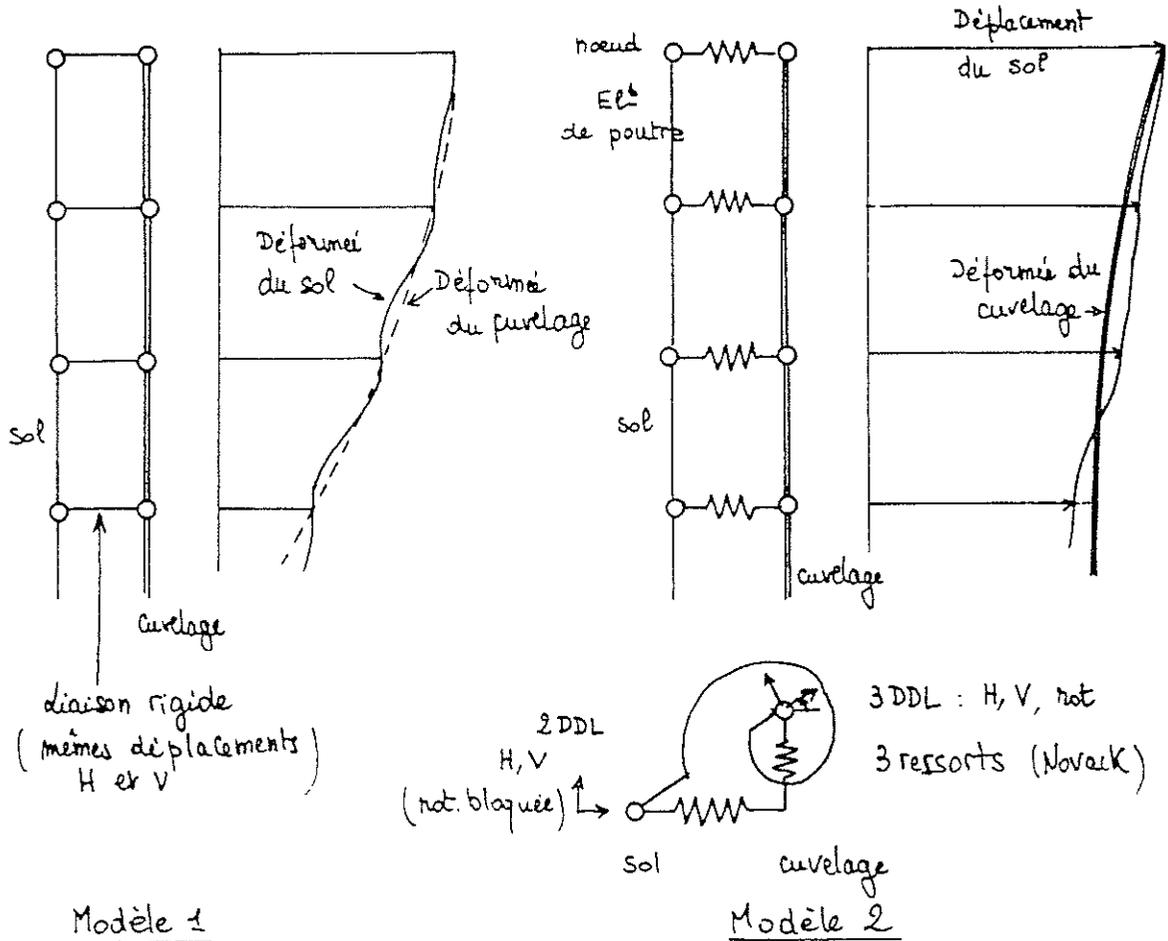
Un deuxième modèle est réalisé en mettant des liaisons, entre noeuds du sol et du cuvelage, liaisons calculées en application des formules de Novack (4).

.../...



Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

En particulier les rotations des noeuds du cuvelage sont très fortement réduites par rapport au cas précédent. Ceci est, à notre avis, plus proche de la réalité, et permet de prendre en compte, par exemple, un encastrement du cuvelage dans les couches dures.



3° Excitation sismique

Les spectres donnés dans le rapport IPAS n'étant pas directement applicables au site, et étant de plus incomplets (rien en dessous de 2 Hz) nous avons utilisé le spectre NRC utilisé actuellement pour les centrales nucléaires. La forme de ce spectre est compatible avec les formes des spectres donnés dans le rapport IPGS. Les calculs sont faits avec un spectre calé à 0.1 g ; comme ils sont linéaires, on peut mettre sans difficulté un coefficient multiplicateur.

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph4° Analyse

On détermine d'abord les modes de vibration du système. Les calculs sont faits avec le module d'analyse modale (TRIPOU). On effectue ensuite le calcul de la réponse de la structure, analyse spectrale (module SISPOU) ; le nombre de modes retenu permettant d'obtenir une masse cumulée de plus de 90 % de la masse totale.

5° Résultatsa) Modèle avec déplacements horizontaux et verticaux imposés

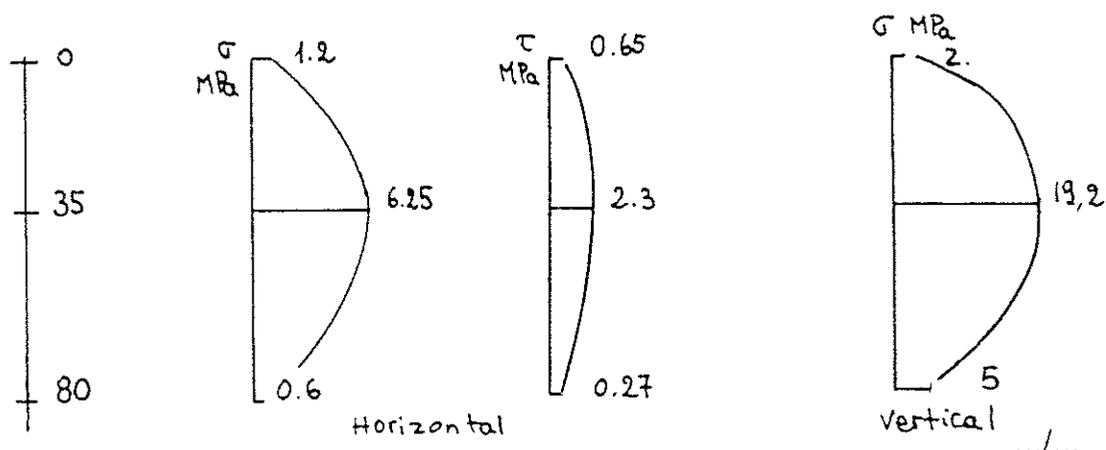
Pour le séisme horizontal, 0,1 g à la base et spectre NRC, avec un amortissement de 5 % pour le sol, ce qui est raisonnable compte tenu du niveau de séisme, on obtient une accélération en surface de 0,28 g, ce qui est plus faible que la valeur 0,4 g prédite par l'IPGS ; on peut toujours multiplier les résultats par le facteur  $40/28 = 1,43$ .

La contrainte normale  $\sigma$  est maximale en haut de la couche des marnes compressibles (à -35 m), et vaut 6,25 MPa. Elle décroît pour atteindre 4,2 MPa à la surface et 0,6 MPa à la cote -80 m.

La contrainte de cisaillement  $\tau$  est également maximale en haut des marnes compressibles (-35 m) ; elle vaut 2.3 MPa, elle décroît pour atteindre 0,65 MPa à la surface et 0,27 MPa à la base (-80 m).

Pour le séisme vertical, représenté par le spectre NRC 0.1 g à la base, compte tenu d'un amortissement de 5 % pour le sol, on obtient en surface une accélération de 0,38 g (supérieure à l'accélération verticale à cause de fréquences propres de la colonne de sol un peu plus défavorables) alors qu'on aurait souhaité se limiter à 0,20 g ; on peut toujours faire la correction par le facteur  $20/38 = 0,53$ .

La contrainte normale est maximale dans les marnes compressibles (cote -40 m), elle vaut 19.2 MPa et varie assez peu dans cette couche, et dans la partie basse des alluvions. Les valeurs minimales sont 2 MPa dans les alluvions en haut et 5 MPa en bas à -80 m.

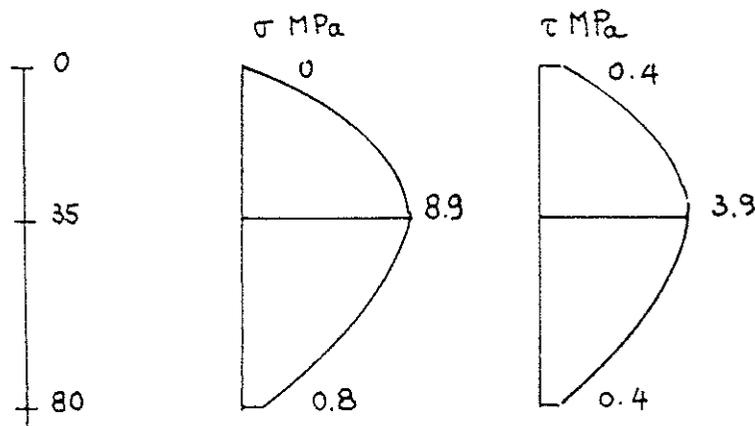


Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

## b) Modèle avec ressorts de Novack

Pour le séisme horizontal on est dans le même cas que le modèle précédent, seuls changent les contraintes dans le cuvelage : les effets de flexion sont plus importants. La contrainte normale  $\sigma$  est maximale au contact alluvions-marnes (-35 m) et vaut 8.9 MPa. Elle s'annule en tête des alluvions et vaut 0,8 MPa en base du modèle. Le cisaillement  $\tau$  est maximal en haut des marnes (-35 m) et vaut 3,9 MPa. Il décroît à 0,4 MPa en bas du modèle et en haut des alluvions.

Pour le séisme vertical ce modèle n'amène pas de changements.

6°/ Conclusions pour les modèles colonne de sol

Pour ces modèles, les contraintes sont maximales à l'interface alluvions-marnes. Si on s'en tient à des accélérations en surface de 0,4 g en horizontal et 0,2 g en vertical, les contraintes dues au séisme horizontal sont les suivantes :  $\sigma$  de 9 à 13 MPa,  $\tau$  de 3 à 6 MPa, la contrainte normale due au séisme vertical  $\sigma$  est environ 10 MPa.

Ces valeurs sont des ordres de grandeurs, une incertitude importante doit y être attachée car ce type de modèle peut être critiqué, en particulier sur sa hauteur et sur l'excitation à la base.

## V - VERIFICATION DES CONTRAINTES DANS LE CUVELAGE

1°) Partie haute du cuvelage

La contrainte maximale vaut environ 8 MPa (traction ou compression verticale). La contrainte de compression due au poids des terres est faible (théoriquement nulle en surface) ; à 1 m de profondeur, la pression des terres vaut environ 0,02 MPa, ce qui donne une contrainte horizontale de compression de 1,5 MPa  $\left(\frac{PR}{e}\right)$ .

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

On est très loin de la limite apparente d'élasticité (80 MPa) et de la résistance à la rupture (> 125 MPa).

Les éléments du cuvelage sont boulonnés par 72 boulons M33, de nuance d'acier inconnue. Pour obtenir la contrainte normale due au moment de flexion, il faut multiplier la valeur obtenue dans le cuvelage par le rapport des  $\frac{I}{v}$ .

Ce rapport vaut :  $R S / R_b S_b$

avec R et  $R_b$  les rayons moyens de la paroi du cuvelage (hors renforts) et des boulons.

$$\text{Avec } R = \frac{5,35}{2} \text{ m} \quad , \quad R_b = \frac{5,10}{2} \text{ m} + 0,0425$$

$$S = \pi 5,35 \times 0,035 \text{ m}^2 \quad , \quad S_b = 72 \times 694 \text{ mm}^2 \quad ,$$

on obtient une valeur d'environ 12,15.

D'où la contrainte développée dans les boulons  $\sigma = 97 \text{ MPa}$  .

Cette valeur faible est acceptable par les vis des plus faibles caractéristiques mécaniques (qualité 3.6, NFE 25100).

## 2°) Partie basse du cuvelage (-35. m)

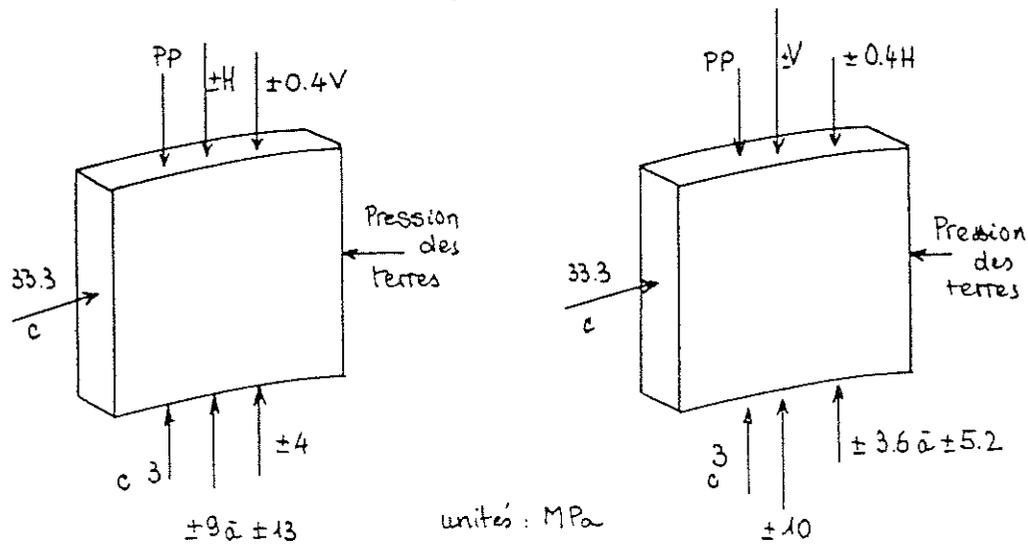
La pression des terres, avec un coefficient de poussée pris égal à 0,7 et une masse volumique de 2000 Kg/m<sup>3</sup> vaut, à 35 m de profondeur, 0,48 MPa. Ceci induit dans les parois verticales des éléments une contrainte de compression horizontale tangentielle de 33,3 MPa.

Il convient de surperposer la contrainte verticale due au séisme horizontal, 9 à 13 MPa, le cisaillement horizontal de 3 à 6 MPa, et la contrainte verticale due au séisme vertical d'environ 10 MPa, ces contraintes d'origine sismique étant de signe positif ou négatif.

En plus s'ajoute la contrainte verticale due au poids propre, soit environ 3 MPa de compression.

Les croquis suivants présentent les différents cas, correspondant au cumul des contraintes permanentes et des contraintes d'origine sismique, le cumul des directions de séisme, horizontal et vertical étant de la forme  $\pm H \pm 0,4 V$  et  $\pm 0,4 H \pm V$ .

.../...

Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

Le cas de compression le plus défavorable donne une contrainte verticale de 20 MPa et une contrainte horizontale de 33.3 MPa. Ce cas est tout à fait acceptable.

La traction maximale ( $H + 0.4 V$ ) la plus défavorable est de 14 MPa, pour la même contrainte horizontale de compression. Ce cas est également acceptable, même avec un cisaillement de 6 MPa.

Les contraintes d'origine sismique dans les boulons s'obtiennent aisément.

La contrainte due au moment induit par le séisme horizontal vaut (avec les mêmes formules que plus haut) environ 11 fois la contrainte verticale dans l'élément de cuvelage, soit 100 à 143 MPa. La contrainte due au séisme vertical vaut 10,7 fois la contrainte dans l'élément, soit 107 MPa. Le cumul des séismes horizontaux et verticaux donne une contrainte de traction de 147 à 183 MPa. Il convient de superposer un cisaillement de 32 à 64 MPa (10,7 fois celui de l'élément, en supposant que tout passe par les boulons). Ces valeurs sont fortes et ne peuvent pas être acceptées par des vis de qualité 3.6 sans déformations permanentes.

## VI - CONCLUSIONS

Malgré des accélérations en surface plutôt fortes (0,4 g pour le séisme horizontal), les contraintes générées dans le cuvelage restent tout à fait acceptables par la fonte. Il pourrait y avoir pour les boulons, à la profondeur -35 m, un risque de déformations permanentes.

.../...



Mines de Potasse d'Alsace  
Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph

**VII - REFERENCES**

- (1) Recommandations AFPS 90  
Presses de l'ENPC - 1990
  
- (2) Estimation des mouvements sismiques à la cote -500 m en haute Alsace  
M. CARA, M. BOUR - IPG Strasbourg - 13 juillet 1990
  
- (3) Note de présentation du code POUX  
E/SE/MS 85-61 A
  
- (4) Vibrations of embedded Footings and Structures  
Milos NOVAK - ASCE National Structural Engineering Meeting  
April 9-13 1973 - San Francisco - CA - USA - Meeting Preprint 2029