

Centre de Physique des Particules Marseille

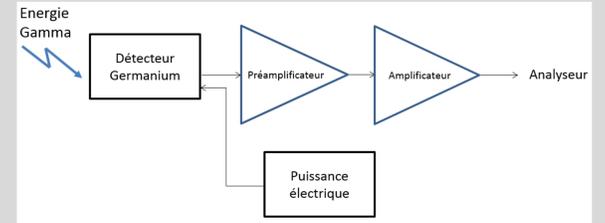
35 chercheurs, 75 Ingénieurs, Techniciens et Administratifs (ITA), service mécanique 14 personnes dont 6 ingénieurs

1. MEUST- KM3NeT

Le projet KM3NeT (Kilometer Cube Neutrinos Telescope) a pour objectif l'étude des propriétés des neutrinos, des sciences de la mer et de l'environnement. Cette infrastructure est située à 2450 m de profondeur et à 40 km au Sud de Toulon, France et accueillera un détecteur permettant la mesure de la radioactivité.

2. OBJECTIF DU STAGE

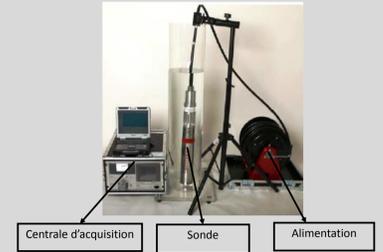
Adapter un détecteur Germanium existant et fiable pour une utilisation en grande profondeur



3. CONTRAINTES

- Profondeur : 2500 m (Haute pression environ 250 bars)
- Maintenance la plus optimisée possible
- Etanchéité
- Interchangeabilité de la tête de détection (de la partie Sonde)
- Minimisation de l'encombrement
- Résistance à la corrosion
- Conservation de l'intégrité de la sonde

4. SONDE ACTUELLE

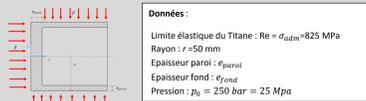


5. SOLUTIONS RETENUES

A. CAPOT DE LA TETE DE DETECTION

Dimensionnement du capot de la tête de détection

Le capot est soumis à la pression sur la paroi et sur le fond. La modélisation est montrée ci-dessous :



Données :  
Limite élastique du Titane :  $R_e = \sigma_{adm} = 825 \text{ MPa}$   
Rayon :  $r = 50 \text{ mm}$   
Épaisseur paroi :  $e_{paroi}$   
Épaisseur fond :  $e_{fond}$   
Pression :  $p_0 = 250 \text{ bar} = 25 \text{ Mpa}$

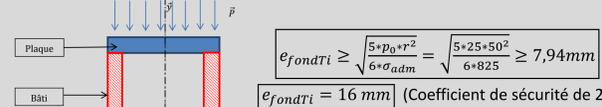
- Calcul des sollicitations longitudinales et des sollicitations circonférentielles afin de déterminer l'épaisseur de la paroi

$$\sigma_{longitudinales} = 2\sigma_{circonférentielles}$$

$$e \geq \frac{p_0 \cdot r}{\sigma_{adm}} \geq \frac{25 \text{ Mpa} \cdot 50 \text{ mm}}{825 \text{ Mpa}} \geq 1,5 \text{ mm}$$

$$e_{paroi} = 5 \text{ mm} \quad (\text{Coefficient de sécurité de } 3)$$

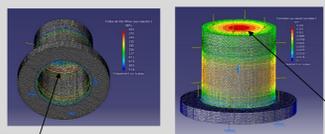
- Calcul de l'épaisseur du fond par la théorie des plaques circulaires



$$e_{fondTi} \geq \sqrt{\frac{5 \cdot p_0 \cdot r^2}{6 \cdot \sigma_{adm}}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 25 \cdot 50^2}{6 \cdot 825}} \geq 7,94 \text{ mm}$$

$$e_{fondTi} = 16 \text{ mm} \quad (\text{Coefficient de sécurité de } 2)$$

- Vérifications par méthodes éléments finis sous CATIA



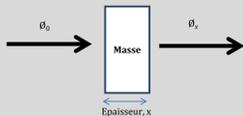
- Démarche :
1. Encastrement sur la partie inférieure
  2. Pression sur la paroi et le fond

$$\sigma_{CATIA} \ll \sigma_{adm}$$

Les contraintes calculées sur CATIA sont inférieures par rapport à la contrainte admissible ( $\sigma_{adm} = 825 \text{ MPa}$ )

Atténuation du signal

- Comparaison de l'utilisation des matériaux différents
- Titane et Aluminium en fonction de l'épaisseur



Pour calculer l'atténuation en fonction, nous avons ce type de formule :

$$\Phi_x = K \Phi_0$$

$$\text{Soit } K = e^{-\mu \cdot \frac{\rho \cdot x}{\rho_0}}$$

$$\Phi_{xTi} = \Phi_0 e^{-0,267 \cdot e_{fondTi}}$$

$$= \Phi_0 e^{-4,54 \text{ g/cm}^3 \cdot 5,89 \text{ E} - 02 \text{ cm}^2/\text{g} \cdot e_{Ti}}$$

$\mu/\rho$  : Coefficient d'absorption

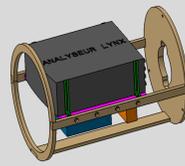
$\rho$  : Densité du matériau (en g/cm3)

$x$  : Épaisseur de la masse que l'énergie traverse (mm)

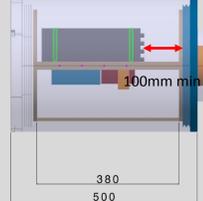
B. PARTIE BLOC ET ANALYSEUR

Réalisation d'un châssis en aluminium

- Une plaque d'épaisseur 10 mm sera fixée dans un cylindre de diamètre intérieur de 305mm pour fixer tous les blocs



- Espacement entre la bride et l'analyseur qui est environ 100mm pour le passage des câbles

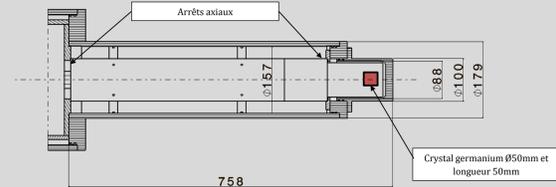


- Gestion des câbles en cours

C. PARTIE SONDE ET REFROIDISSEUR

Réalisation de deux arrêts axiaux

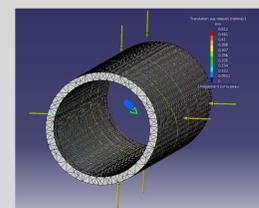
- Mise en place d'un joint à plat pour récupérer le jeu et le choc



Centrage par deux colliers

- Dimensionnement des colliers en fonction de la déformation du cylindre

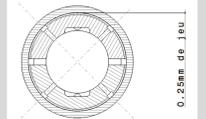
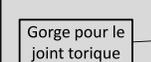
Calcul par méthodes éléments finis :



Démarche :

1. Fixation isostatique
2. Pression sur la paroi du cylindre
3. Définir la translation par rapport aux nœuds

Vue que le déformation du cylindre est de 0,52 mm sur le diamètre, nous réaliserons un collier avec un jeu 0.25 mm sur le rayon



Flambement

On considère le cylindre en Titane de longueur  $L = 800 \text{ mm}$  de section tubulaire de diamètre extérieur  $D_e = 180 \text{ mm}$  et  $D_{int} = 160 \text{ mm}$ . Ce cylindre est considéré parfaitement encastree et libre de l'autre.

Dans notre cas, on considère  $R_{ec} = R_e$   
 $k = 2s$  ;  $s = \frac{L_0}{r}$  ;  $k = \frac{2R_{ec}}{r}$  ;  $R_{ec} = \frac{2R_e}{k}$  ; où  $k = 6$

$R_e$  : Résistance élastique à la traction

$R_{ec}$  : Résistance élastique à la compression

$R_{pe}$  : Résistance pratique à la compression

$R_{pe} = \frac{2 \cdot 825 \text{ MPa}}{6} = 275 \text{ MPa}$ ,  $E = 112 \text{ 000 MPa}$

Longueur efficace :  $L_0 = 2 \cdot (Longueur \text{ du cylindre}) = 1600 \text{ mm}$

Surface :  $S = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_{int}^2) = \frac{\pi}{4} (180^2 - 160^2) = 5340 \text{ mm}^2$

Moment quadratique :  $I_{cx} = \frac{\pi}{64} (D_e^4 - D_{int}^4) = 19360064 \text{ mm}^4$

Rayon de giration de la section  $r = \sqrt{\frac{I_{cx}}{S}} = \sqrt{\frac{19360064}{5340}} = 60 \text{ mm}$

Charge maximale admissible en compression simple :

$$F_0 = R_{pe} \cdot S = \frac{275}{6} (180^2 - 160^2) \cdot 275 = 1 \text{ 468 500 N}$$

Charge maximale admissible en flambement :

$$\text{Elancement de la poutre} : \lambda = \frac{L_0}{r} = \frac{1600}{60} = 27$$

$$\text{Elancement critique} : \lambda_c = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_c} = \frac{\pi^2 \cdot 112000}{900} = 1228$$

Vue que nous avons trouvé  $20 \leq \frac{L_0}{r} \leq 100$ , donc, nous utiliserons la formule de Rankine pour calculer la charge maximale admissible en flambement :

$$F_{adm} = \frac{R_{pe} \cdot S}{1 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2} = \frac{275 \cdot 5340}{1 + \left(\frac{27}{1228}\right)^2} = 927 \text{ 551 N} \leq F_0$$

$$\text{Calcul soumise à la pression} : F = Pression \cdot S = 25 \text{ MPa} \cdot \pi \cdot \frac{180^2}{4} = 636 \text{ 172 N} \leq F_{adm}$$

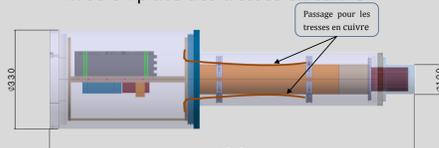
6. CONSERVATION DE L'INTEGRITE DE LA SONDE

Ces exigences seront validées par la simulation et des essais de qualification

- Test d'étanchéité de la sonde
- Calibration de la sonde en usine
- Qualification du détecteur au laboratoire souterrain (1700m de roche)

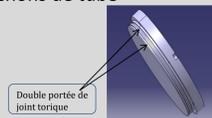
Transfert thermique

- Mise en place des tresses en cuivre



Etanchéité

- Réalisation double portée joint sur les bouchons de tube



Capteur de température et humidité

- Montage par des signaux logiques
- Définir des plages d'utilisation du système en fonction de la température et de l'humidité
- Commande interrupteurs

7. CONCLUSIONS

Bilan personnel

- Découverte de l'environnement d'un laboratoire de recherche
- Découverte de la recherche en physique fondamentale
- Travailler dans un projet à l'échelle Européenne

Bilan technique

- Respect du triptyque (coût, délais et performances techniques)
- Utilisation des matériaux spécifiques dans le milieu marin
- Dimensionnement des structures sous pression
- Conservation de la fiabilité du système

Prospectives

- Finir le dessin détaillé du détecteur plus précisément les passages des câbles, la fixation du bloc analyseur, du bloc alimentation et du filtre
- Intégrer le détecteur sur la ligne de mouillage