



APAVE

5 Rue de la Johardière

BP 289

44803 SAINT HERBLAIN

Affaire suivie par :

D. JOST

A l'attention de M. SIGALO

Apave

191 Rue de Vaugirard
75738 Paris Cedex 15
Tél. : +33 1 45 66 99 44
Fax : + 33 1 45 67 90 47

V/Réf : 318711

SAINT HERBLAIN, le 10/11/2015

Apave Alsacienne SAS

2 Rue Thiers - BP 1347
68056 Mulhouse Cedex
Tél. : +33 3 89 46 43 11
Fax : + 33 3 89 66 31 76

N/Réf : 15N124 - 15351013

Apave Nord-Ouest SAS

5 Rue de la Johardière
44803 St Herblain Cedex
Tél. : +33 2 40 38 80 00
Fax : + 33 2 40 92 08 52

BORDEREAU D'ENVOI

Apave Parisienne SAS

17 Rue Salneuve
75854 Paris Cedex 17
Tél. : +33 1 40 54 58 00
Fax : + 33 1 40 54 58 88

OBJET : Vérification de la note de calculs et des plans

Apave Sudeurope SAS

8, rue Jean-Jacques Vernazza
Z.A.C Saumaty - Séon - CS 60193
13322 Marseille Cedex 16
Tél. : +33 4 96 15 22 60
Fax : + 33 4 96 15 22 61

Nbre	Référence du document	Désignation - Observation
1	15N124 - 15351013	Vérification de la note de calcul et du plan HELIUM VESSEL selon plan d'ensemble 318711-JLA-703-001 Rév B

Vous souhaitant bonne réception, nous vous prions d'agréer, Messieurs, nos sincères salutations.

Ingénieur au service "CALCULS"

D. JOST



APAVE

5 Rue de la Johardière

BP 289

44803 SAINT HERBLAIN

Affaire suivie par :

D. JOST

A l'attention de M. SIGALO

V/Réf : 318711

SAINT HERBLAIN, le 10/11/2015

N/Réf : 15N124 - 15351013

Apave

191 Rue de Vaugirard
75738 Paris Cedex 15
Tél. : +33 1 45 66 99 44
Fax : + 33 1 45 67 90 47

Apave Alsacienne SAS

2 Rue Thiers - BP 1347
68056 Mulhouse Cedex
Tél. : +33 3 89 46 43 11
Fax : + 33 3 89 66 31 76

Apave Nord-Ouest SAS

5 Rue de la Johardière
44803 St Herblain Cedex
Tél. : +33 2 40 38 80 00
Fax : + 33 2 40 92 08 52

Apave Parisienne SAS

17 Rue Salneuve
75854 Paris Cedex 17
Tél. : +33 1 40 54 58 00
Fax : + 33 1 40 54 58 88

Apave Sudeurope SAS

8, rue Jean-Jacques Vernazza
Z.A.C Saumaty - Séon - CS 60193
13322 Marseille Cedex 16
Tél. : +33 4 96 15 22 60
Fax : + 33 4 96 15 22 61

SERVICE CALCULS

RAPPORT D'EXAMEN N° 15N124 - 15351013

HELIUM VESSEL selon plan d'ensemble 318711-JLA-703-001 Rév B

C		
B	10/11/2015	D. JOST 
A	10/08/2015	D. JOST
Rev	Date	Name/Nom Sign/Visa.
		Checked up by/Vérification

	SIGMAPHI		V / Référence : 318711	
	RAPPORT D'EXAMEN		N / Référence : 15N124 - 15351013	
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711- JLA-703-001 Rév B		Date : 10/11/2015	
			Page : 1	Rev. A B

LISTE DES MODIFICATIONS

INDICE	DATE	Rédigé par	Objet de la révision
A	10/08/2015	D. JOST	Edition originale
B	10/11/2015	D. JOST	Prise en compte de la mise à jour de la note de calcul
C			
D			
E			
F			

S O M M A I R E

1 - OBJET / SUBJECT	2
2 - INTERVENANTS / INTERMEDIATES	2
3 - DOCUMENTS DE REFERENCE / DOCUMENTS REFERENCY	2
4 - DOCUMENTS VERIFIES / CHECKED DOCUMENTS	2
5 - POINTS EXAMINES / CHECKED POINTS	3
6 - CHARGEMENTS CONSIDERES / LOADING CONDITIONS	4
7 - RESULTAT DE L'EXAMEN / RESULT OF EXAMINATION	4
8 - CONCLUSION / CONCLUSION	8

	SIGMAPHI RAPPORT D'EXAMEN	V / Référence : 318711				
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711- JLA-703-001 Rév B	N / Référence : 15N124 - 15351013				
		Date : 10/11/2015				
	Page : 2		Rev.	A	B	

1 - OBJET / SUBJECT

Vérification de la tenue en pression du Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711-JLA-703-001 Rév B contenant l'aimant supraconducteur. Ce réservoir est composé du réservoir lui-même et de tuyauteries d'alimentation/évacuation (*).

Cette vérification est réalisée dans le cadre d'une fabrication selon ASME VIII division 1 version 2010. L'appareil n'est pas marqué CE (marché américain) et ne comporte pas non plus le stamp U.

Cette vérification est limitée à la vérification de la note de calcul comme indiqué dans le certificat de « qualification / autorisation » P42 attribué par l'APAVE.

(*) L'appareil est en fait composé de 3 enceintes (Azote, Hélium liquide et vide), avec l'enceinte sous Hélium elle-même enfermée dans une enceinte au vide. Cette vérification ne couvre que l'enceinte sous hélium liquide.

2 - INTERVENANTS / INTERMEDIATES

- **Fabricant :** → **SIGMAPHI**
- **Bureau d'étude :** → **SIGMAPHI**

3 - DOCUMENTS DE REFERENCE / DOCUMENTS REFERENCY

→ ASME VIII division 1 (version 2010)

4 - DOCUMENTS VERIFIES / CHECKED DOCUMENTS

- **Notes de calculs :**
→ 318711 JLAB_2015-09-28_ANSYS-helium vessel Rév C

	SIGMAPHI	V / Référence : 318711				
	RAPPORT D'EXAMEN	N / Référence : 15N124 - 15351013				
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711-	Date : 10/11/2015				
	JLA-703-001 Rév B	Page : 3	Rev.	A	B	

- **Plans :**

- Plan d'ensemble 318711-JLA-703-001 Rév B
- Et plans de détail associés 318711-JLA-703-002 à 017

- **Nomenclatures :**

- Au plan

5 - POINTS EXAMINES / CHECKED POINTS

"X" montre les points examinés :

- X Caractéristiques de l'équipement
- Conditions de fonctionnement
- Analyse de risques
- X Codes et normes
- X Concordance entre les plans, les notes de calculs et le code
- Caractéristiques des matériaux utilisés - Résilience à la Tmin
- Tenue des matériaux à la corrosion
- X Calcul de résistance à la pression
- X Calcul de résistance aux autres sollicitations
- Dispositions constructives
- Sécurité

NOTA : La "vérification des plans" porte uniquement sur la concordance entre les éléments du plan nécessaires au calcul suivant code ASME VIII division 1 et les éléments calculés suivant code assurant la résistance mécanique de la structure vérifiée pour les conditions de calculs. La vérification ne porte pas sur les assemblages permanents.

	SIGMAPHI	V / Référence : 318711				
	RAPPORT D'EXAMEN	N / Référence : 15N124 - 15351013				
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711-	Date : 10/11/2015				
	JLA-703-001 Rév B	Page :	4	Rev.	A	B

6 - CHARGEMENTS CONSIDERES / LOADING CONDITIONS

"X" montre les points examinés :

- X **Pression** interne / externe (voir §7.1)
- X **Température** maximale (voir §7.1)
- X Pression hydrostatique (en service et essais)
- X Poids propre (équipement et son contenu)
- X Corrosion / érosion via prise en compte d'une **surépaisseur** (voir §7.1)
- X Charges locales générées sur l'enveloppe sous pression par :
 - - Les supports
 - - Les appendices de levage
 - - Les efforts et moments aux piquages
- Neige / Vent
- Séisme
- Fatigue
- Fluage
- Flexibilité
- Charges dues à la circulation / décharge de la soupape / Coup de bélier
- X **Autres** *Préciser : Voir chargements complémentaires au §7.2*

7 - RESULTAT DE L'EXAMEN / RESULT OF EXAMINATION

7.1 - Caractéristiques de l'équipement

En situation de service normale, le réservoir d'hélium est sous pression de 1 bar à 4 Kelvin (supraconductivité caractérisé par une résistance nulle). Dans certaines situations considérées également « normales de service » la résistance devient non nulle et l'hélium se réchauffe pouvant générer une pression de 6 bar.

La situation normale de service considérée au calcul est à 6 bar sous 4 Kelvin.

Terminologie :

- « *Coil support* » correspond aux chapes soudées à l'intérieur des flasques (elles servent à maintenir l'aimant supraconducteur).
- « *Clevis* » correspond aux chapes soudées à l'extérieur des flasques (elles servent à l'accroche des tirants).

	SIGMAPHI	V / Référence : 318711				
	RAPPORT D'EXAMEN	N / Référence : 15N124 - 15351013				
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711-	Date : 10/11/2015				
	JLA-703-001 Rév B	Page :	5	Rev.	A	B

7.2 – Conditions de fonctionnement analysées

Les 2 situations suivantes (les plus contraignantes) sont analysées :

Cas 1 : En situation de service

Pour cette situation, les chargements suivants sont pris en compte :

- Pression d'hélium max de 6 bar
- Dépression de 1 bar (vide sur les parois externes du réservoir)
- Contraction engendrée par le refroidissement de 295 K (20°C) à 4 K -269°C.
- Poids propre / Gravité :
 - Poids propre du réservoir d'hélium et de la bobine : 6530 kg (65300 N). Cet effort est repris par les 4 tirants supérieurs (soit 16 325 N par tirant, selon l'axe Y vertical).
 - Gravité de 9.8086 m/s²
- Efforts magnétiques correspondant au désaxage de l'électroaimant :
 - Effort total de 56 000 N selon l'axe transverse X ; repris par 4 tirants. Soit 14 000 N par tirant sur les 2 tirants latéraux de chaque côté du réservoir.
 - Effort total de 84 400 N selon l'axe vertical -Y ; repris par 4 tirants. Soit 21 100 N par tirant sur les 2 tirants supérieurs de chaque côté du réservoir.
- Accélération horizontale de 1G (65300 N) créée par le déplacement de l'aimant. Cet effort est repris par 4 tirants (soit 16 325 N par tirant, selon l'axe X horizontal).
- Précontrainte appliquée sur chacun des 8 tirants de 38 000 N - selon l'axe du tirant (permet de conserver les tirants sous tensions dans tous les cas de charge).

Cas 2 : En situation d'épreuve

Pour cette situation, les chargements suivants sont pris en compte :

- Pression hydraulique de 10 bar
- Poids propre du réservoir d'hélium et de la bobine + Gravité

Le calcul prend en compte une épreuve réalisée en atelier sur appareil vide et non maintenu par les tirants (appareils posé sur supports temporaires)

	SIGMAPHI	V / Référence : 318711				
	RAPPORT D'EXAMEN	N / Référence : 15N124 - 15351013				
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711-	Date : 10/11/2015				
	JLA-703-001 Rév B	Page :	6	Rev.	A	B

7.3 - Codes et normes

- ✓ Le code de référence de cet appareil est l'ASME VIII division 1 (pour la conception et la fabrication). Toutefois, des chargements appliqués à l'appareil n'étant pas tous prévus dans l'ASME VIII division 1 (voir cas de charges au §7.2) et les flasques n'étant pas calculables selon les règles de l'ASME VIII division 1, les règles de l'ASME VIII division 2 sont utilisées pour la justification par analyse de contraintes de l'appareil soumis à l'ensemble de ses chargements.

L'utilisation de l'ASME VIII division 2 se fait dans le cadre du paragraphe U-2(g) de l'ASME VIII division 1.

- Appareil Non marqué CE
- Appareil sans stamp U

7.4 - Concordance entre les plans, les notes de calculs et le code

Pas de commentaires.

7.5 - Caractéristiques des matériaux utilisés - Résilience à la Tmin

La conformité des matériaux est réalisée par le chargé d'affaire pression APAVE en charge de l'évaluation de la fabrication de l'équipement.

Il vérifiera que les matériaux utilisés ont une résilience suffisante à la température minimale d'étude (TME).

7.6 - Calcul de résistance à la pression

- ✓ Tous les composants du réservoir d'hélium (excepté les chapes et les tirants en Nitronic 50) sont considérés dans la nuance SA 204 grade 304L (UNS No.S30403). L'ASME II Part D donne des caractéristiques mécaniques différentes pour une même nuance 304L. Les caractéristiques mécaniques prises en compte sont bien celles de la ligne qui n'a pas la note G5 (la ligne qui a la note G5 ayant des contraintes admissibles supérieures (à température) car des déformations plastiques sont admises).

Rp0.2% est pris à 20°C de façon conservatrice (en service à -269°C).

- Soit $S = 115$ MPa en service → Ok
- Et $S = 155$ MPa en épreuve ($0.9 \cdot Rp0.2\% = 0.9 \cdot 172$) → Ok

- ✓ Epaisseurs au modèle : 0.5 mm de tolérance en moins pour les viroles et les 2 flasques.
→ Ok

	SIGMAPHI	V / Référence : 318711				
	RAPPORT D'EXAMEN	N / Référence : 15N124 - 15351013				
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711-	Date : 10/11/2015				
	JLA-703-001 Rév B	Page :	7	Rev.	A	B

- ✓ Modèle : Seule la moitié de la géométrie est modélisée. → Ok (le modèle et les chargements sont bien symétriques)
Ajouter un commentaire pour justifier la réalisation du calcul sur un demi-modèle avec utilisation d'un plan de symétrie à présenter.
- ✓ Modèle : Le trou diamètre 17.2 dans le flasque d'épaisseur 30 mm n'est pas modélisé. → Accepté par dérogation pour les raisons suivantes :
 - a. Pour la pression de calcul de 6 bar, l'effet de fond correspondant à cette pression est de 140 N soit environ 14 kg. Cet effort (sur le flasque) est négligeable par rapport aux différents efforts appliqués par les tirants sur les chapes.
 - b. Selon ASME VIII division 1, la vérification des charges dans les soudures (UG - 41(b)) n'est pas requise pour ce type de tubulure conformément au paragraphe UW-15(b).
- 1. Figure 9 : Les figures ajoutées précisent bien la direction d'application de la pression, mais la valeur renseignée de la pression (+0.6 ou -0.6) a été supprimée par rapport à la précédente version de la note de calcul. Selon la direction des flèches des figures 9, il semble qu'une pression de 0.6 MPa est appliquée sur la virole externe et sur le flasque et une pression de -0.6 est appliquée sur la virole interne. → Accepté par dérogation.

Analyse de contraintes calculées pour le cas de charge 1 (en service)

- ✓ Analyse de contraintes selon le critère de Von Mises. → Ok (selon la version 2010 de l'ASME VIII division 2).
- ✓ Pour les éléments (viroles, flasques) modélisées en coque, les contraintes totales de membrane + flexion sont analysées comme des contraintes générales de membrane (critère $f = S_m = S$) → Ok (conservateur).
- ✓ Pour les cordons de soudure et les chapes analysés en volumique, les contraintes totales de membrane + flexion (non linéarisées – contraintes de pointe incluses) sont également analysées comme des contraintes générales de membrane par rapport au critère S → Ok (conservateur).
- ✓ Contrainte générale de membrane dans la virole externe cohérente avec celle calculée de façon analytique selon ASME VIII division 1 (22.5 MPa selon rapport 15N122).
- ✓ Supportage de l'ensemble (chape + tirant) : Analyse des contraintes dans les cordons de soudure des chapes sur un modèle simplifié pour lequel la réaction maximale des tirants est appliquée.
- ✓ Les contraintes calculées dans les viroles + chapes + cordon de soudure + flasques sont relativement faibles au regard des contraintes admissibles.

	SIGMAPHI	V / Référence : 318711				
	RAPPORT D'EXAMEN	N / Référence : 15N124 - 15351013				
	Réservoir d'Hélium selon plan d'ensemble 318711-	Date : 10/11/2015				
	JLA-703-001 Rév B	Page : 8	Rev.	A	B	

Analyse de contraintes calculées pour le cas de charge 2 (en épreuve)

Le calcul prend en compte une épreuve réalisée en atelier sur appareil vide et non maintenu par les tirants (appareils posé sur supports temporaires)

- ✓ Pour les viroles et flasques modélisées en coque, les contraintes sont analysées comme des contraintes générales de membrane (critère $f = S = 0.9 \times R_p 0.2\% = 155 \text{ MPa}$) → Ok (conservateur).
- ✓ Les contraintes calculées dans les viroles + flasques sont relativement faibles au regard de la contrainte admissible considérée (155 MPa).

7.7 - Calcul de résistance aux autres sollicitations

Explicitées au §7.2.

7.8 - Autres éléments

Le chargé d'affaire pression APAVE en charge de l'évaluation de la fabrication de l'équipement vérifiera que tous les assemblages soudés réalisés sont conformes aux exigences du code.

8 - CONCLUSION / CONCLUSION

La note de calcul est vue sans observations majeures (**VSO**).

Synthèse des remarques non conformes à lever :		
Synthèse des points à lever par l'inspecteur charge de l'évaluation de la fabrication de l'équipement :		
	§7.2 - Conditions de fonctionnement et Analyse de risques	X
	§7.5 - Caractéristiques des matériaux utilisés - Résilience à la Tmin	X
	§7.8 - Autres éléments	X