

Outil d'inspection et de réparation des cuves de FLNG

Benjamin CHARPENTIER

GTT – Industrialisation – Saint-Rémy-lès-Chevreuse (France)

SOMMAIRE

GTT est une société Française d'Ingénierie navale, spécialisée dans le domaine du transport de GNL. Ses technologies permettent de confiner le GNL à l'intérieur de cuves étanches, et de maintenir leurs températures au voisinage de celle du milieu environnant, malgré le stockage du GNL à -163°C.

Avec l'émergence du marché du stockage offshore de GNL, les méthodes de maintenance couramment utilisées sur les systèmes de confinement doivent être modifiées, car elles ne sont pas adaptées en l'état.

GTT développe un outil dédié à la maintenance de ces nouvelles cuves de stockage offshore. Cet outil repose sur l'utilisation d'un bras télescopique suspendu en plafond de cuve, permettant d'embarquer du personnel et d'atteindre toutes les zones de la cuve.

Ce mémoire présente les résultats de ce développement.

SUMMARY

GTT is a marine engineering company specialized in the design of cryogenic tanks for LNG storage and transport. Its technologies able to store the LNG inside tighten tanks and to keep their temperature close to external environment temperature in spite of LNG storage temperature at -163°C.

With the growing LNG storage offshore market, maintenance process usually used must be reviewed because not adapted.

GTT develops a tool dedicated for the maintenance of those new LNG storage offshore tanks. This tool is based on the use of a suspended telescopic arm, allowing to onboard workers and to reach the full tank.

This document presents the results of this development.

1. CONTEXTE

GTT est une société Française d'Ingénierie navale, spécialisée dans le domaine du transport de GNL. GTT s'appuie sur une longue expérience qui a démarré à la fin des années 60 et comptabilise aujourd'hui plus de 300 navires construits équipés de ses technologies. Ses technologies permettent de confiner le GNL à l'intérieur d'une cuve étanche. Elles se caractérisent par deux couches d'isolation tapissant l'intérieur des parois des cuves et deux membranes étanches.

La maintenance de ces systèmes, sur les méthaniers à membrane, est toujours réalisée lorsque le navire est à quai ou en cale sèche. Pour toutes les opérations nécessitant d'intervenir au dessus des hauteurs d'homme depuis le fond des cuves, une tour d'échafaudage est montée à l'intérieur de la cuve.

En ce qui concerne les FPSO LNG, les opérations de maintenance sur la membrane seront réalisées tout au long de la vie du navire sur son site d'exploitation. Par conséquent, les tours d'échafaudage utilisées pour la maintenance des méthaniers, ne conviennent

pas en l'état pour ces opérations, car elles ne supportent pas les mouvements des cuves d'un FPSO sur son site d'exploitation.

Afin de répondre au besoin des clients souhaitant utiliser ses technologies pour les FPSO LNG, GTT propose une architecture d'échafaudage pyramidale, adaptée aux mouvements des navires. Toutefois, cette solution nécessitant un temps d'installation conséquent, GTT a développé un outil permettant de réaliser les opérations de maintenance de l'isolation des cuves des FLNG membrane et nécessitant un temps d'installation très réduit.

Ce document présente les résultats de ce développement.

2. CONTRAINTES DU DEVELOPPEMENT

L'outil développé, doit :

- permettre d'inspecter l'intégralité de la membrane primaire des cuves quelles que soit leurs dimensions
- pouvoir être installé dans les cuves malgré la présence d'une zone libre au dessus du pont du navire limitée à 5m de hauteur
- pouvoir être prêt à l'utilisation moins de 24h après l'ouverture de la cuve
- pouvoir être installé par 10 opérateurs ou moins
- pouvoir embarquer au moins 2 personnes.
- avoir une capacité de portage de minimum 200Kg
- garantir aux travailleurs une surface de travail immobile par rapport à la membrane.

3. DEVELOPPEMENT

3.1. Facteurs clef de succès de l'outil

Afin que la conception de l'outil, réponde non seulement aux exigences du CdC mais soit également optimisée, une analyse des facteurs ayant un impact direct sur les performances de l'outil a été réalisée.

3.1.1. Temps de montage/démontage

Afin d'obtenir une solution nécessitant un temps de montage et de démontage réduit, la conception doit :

- Minimiser le nombre de pièces à insérer et à extraire de la cuve
- Minimiser le nombre d'opérations de manutention nécessaires dans la cuve
- Minimiser le nombre d'opérations de montage ou démontage dans la cuve
- Minimiser la surface de protection du sol de la cuve nécessaire.

3.1.2. Accès à toutes les zones de la cuve

Afin d'obtenir une solution performante en terme de couverture de la cuve, la conception doit :

- Minimiser le nombre d'opérations de manutention nécessaires pour accéder à 2 zones non contiguës dans une même cuve.
- Minimiser le temps nécessaire pour déplacer la surface de travail entre 2 zones non contiguës

3.1.3. Compatibilité avec les systèmes GTT

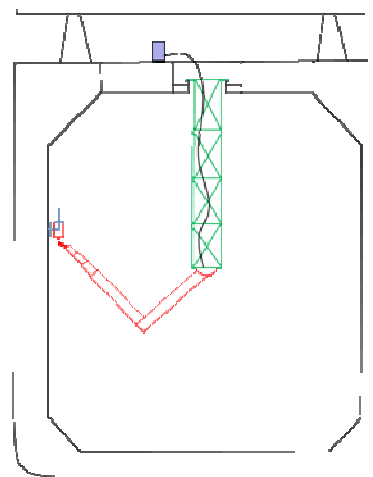
Afin de ne pas changer les systèmes GTT dont les armateurs sont familiers, la conception doit minimiser les modifications nécessaires sur l'isolation.

3.1.4. Retour d'expérience sur la solution

Afin de minimiser les risques liés à l'utilisation de la solution, la conception doit se baser sur des technologies connues et éprouvées

3.2. Concept

Parmi les différents concepts explorés, le concept retenu pour le développement est celui d'un bras télescopique suspendu en plafond de cuve.



Ce concept étant constitué de peu de pièces, le nombre d'opérations de manutention et de montage sera réduit. Par ailleurs, ce concept nécessite une faible zone de protection du sol, il permet aux travailleurs d'accéder à 2 zones non contiguës en un temps très réduit et sans aucune opération de manutention.

Par ailleurs, il ne nécessite aucune modification de l'isolation en zone courante et il repose sur des technologies connues car utilisées par les grues et bras de manutention.

3.2.1. Bras Télescopique

La société Palfinger Systems, bénéficiant d'une longue expérience dans la fabrication de grues et systèmes hydrauliques et offrant des solutions d'accès pour intervenir sur les navires et systèmes offshore, commercialise un bras hydraulique suspendu nommé UPA 33. Ce bras est doté à son extrémité d'une nacelle pouvant embarquer deux personnes.



Figure 1: Bras hydraulique UPA 33

Ce produit pèse 8.5T. Il nécessite pour son fonctionnement une puissance électrique de 23kW. Il a une capacité de portage de 250Kg et une flèche horizontale maximum atteignant 33m.

3.3. Obstacles techniques

Afin de pouvoir être déployé sur les FPSO GNL, l'utilisation de ce bras soulève plusieurs problèmes techniques.

3.3.1. Insertion du bras dans la cuve

Comment insérer dans la cuve le bras qui mesure 10m de long et 2,1m de large, alors que l'ouverture de l'isolation au niveau de la zone d'accès est de 1,1 x 1,4m ou Ø1,5m, et que la

zone libre au dessus de l'ouverture du pont est de 5m ?

3.3.2. Fixation du bras dans la cuve

Afin de pouvoir couvrir la totalité de la cuve, le bras doit être positionné en son centre. Comment acheminer le bras depuis l'ouverture de la cuve jusqu'à son centre, puis comment fixer le bras au centre de la cuve ?

3.3.3. Mouvements de la cuve

La cuve étant en mouvement durant l'installation et l'utilisation du bras, comment empêcher le bras de rentrer en collision avec l'isolation durant son insertion dans la cuve ?

Par ailleurs, le bras n'étant pas infiniment rigide, son extrémité va osciller sous les

mouvements de la cuve. Comment immobiliser la nacelle du bras par rapport à la membrane ?

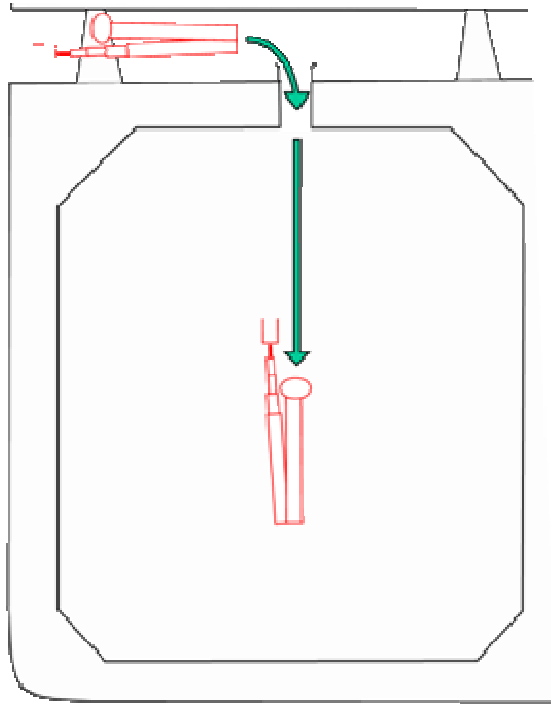


Figure 2: Problématique d'insertion du bras dans la cuve

3.4. Solution

Afin de répondre aux contraintes du projet et aux obstacles techniques, la solution développée consiste à apporter une modification à l'isolation des cuves au niveau des dômes gaz et à développer un outil constitué de 3 systèmes et un bras d'insertion du bras télescopique.

Les 3 systèmes constituant l'outil sont :

- Un système de fixation :
Permettant d'acheminer le bras de l'ouverture de la cuve jusqu'en son centre, puis de maintenir le bras au centre de la cuve pendant son utilisation.
- Le bras télescopique
- Un système d'immobilisation :
Permettant d'immobiliser la nacelle par rapport à la membrane.

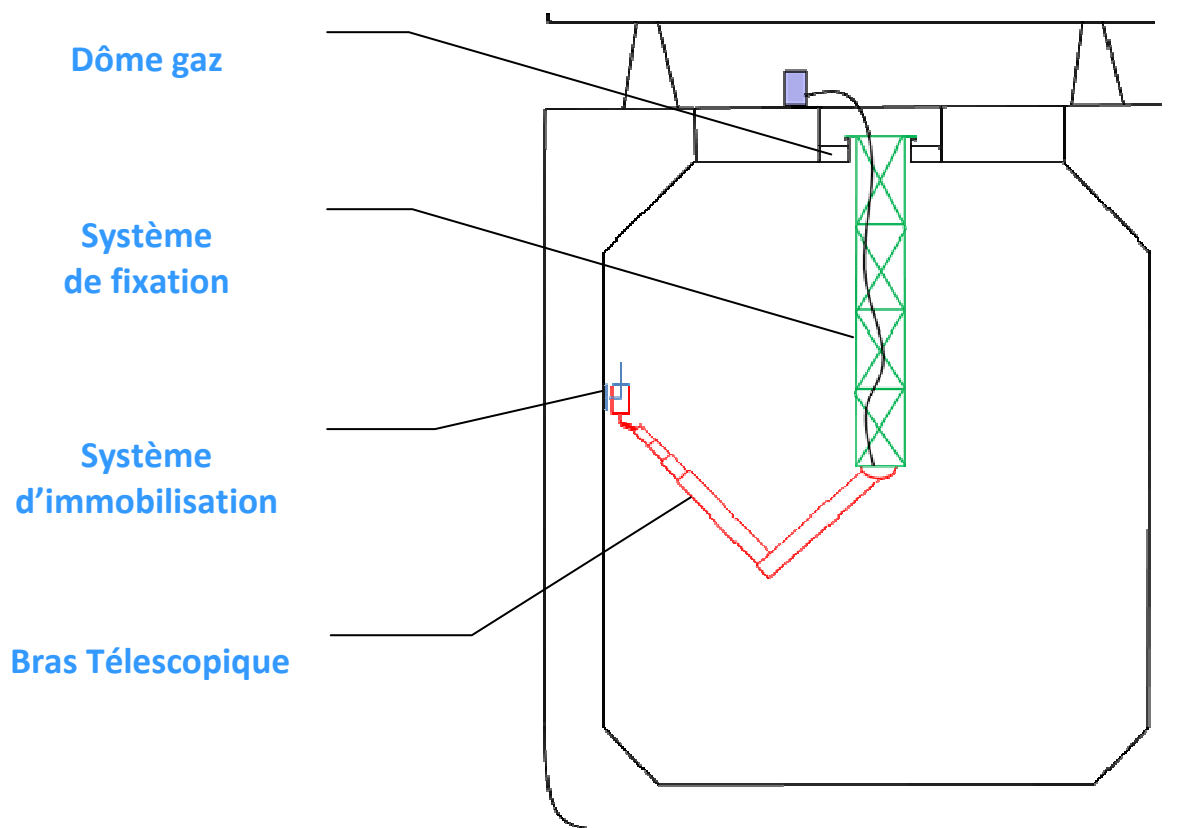


Figure 3: Constitution de la solution

3.4.1. Le dôme Gaz de l'isolation

Afin de pouvoir insérer le bras dans la cuve, à partir d'une position horizontale et sans créer de collision entre le bras et la coque ou le Topside, la conception de la coque au niveau des dômes gaz a été revue.

Une ouverture carrée dans le pont a été réalisée, puis une plaque intermédiaire a été installée au niveau de cette ouverture et positionnée entre la coque intérieure et le pont, puis jointe au pont supérieur par des cloisons verticales.

En ce qui concerne le passage entre la bride d'accès à la cuve et la membrane du plafond de cuve, celui ci étant trop étroit par rapport au diamètre du bras, la structure entre la bride et la coque intérieure a été élargi.

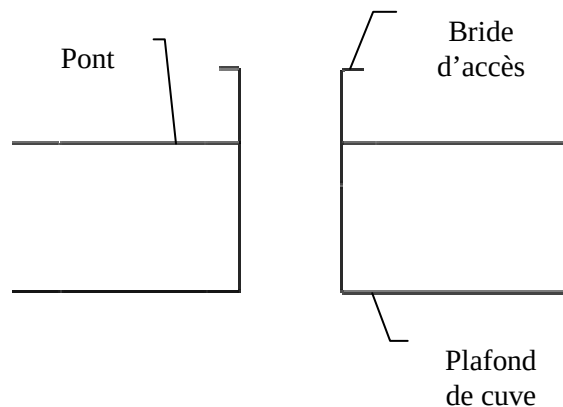


Figure 4 : Structure conventionnelle de la coque autour des dômes gaz

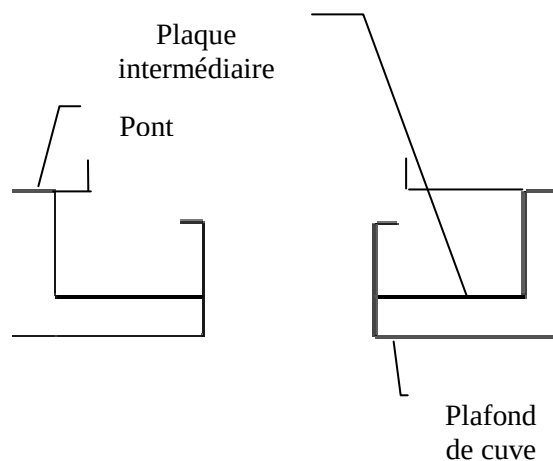


Figure 5 : Structure modifiée de la coque autour des dômes gaz

3.4.1.1. NO96

Le principe d'arrangement de l'isolation NO96, au niveau de cette nouvelle structure, est le même que celui des dômes gaz conventionnels avec un diamètre d'accès élargi.

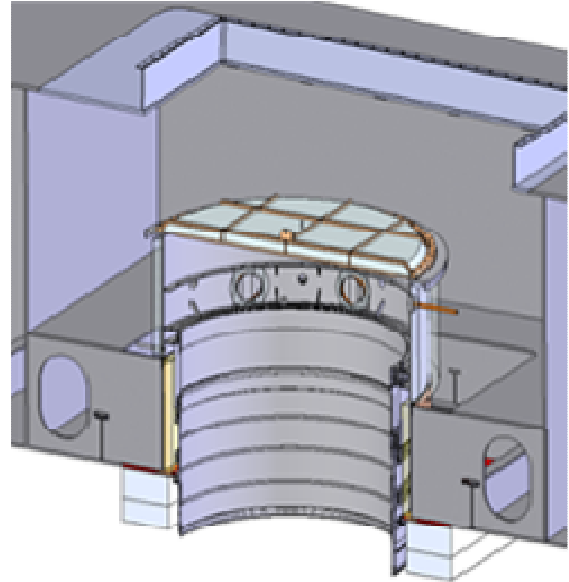


Figure 6 : Vue du dôme gaz NO96

3.4.1.2. MKIII

Le principe d'arrangement de l'isolation MKIII, au niveau de cette nouvelle ouverture, reprend celui utilisé au niveau des dômes liquides. Un nouveau couvercle pour ce dôme a été conçu, afin de contenir entre autre un accès permettant de pouvoir y insérer le bras.

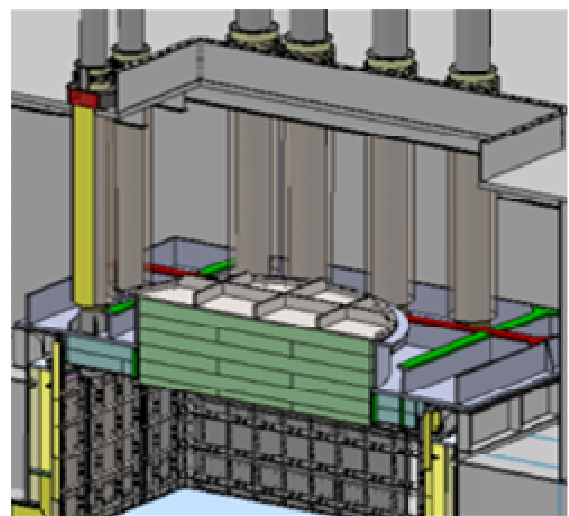


Figure 7 : Vue du dôme gaz MKIII

3.4.2. Le bras d'insertion

Afin de pouvoir insérer le bras télescopique dans la cuve, une cinématique a du être définie afin que le bras puisse passer d'une position horizontale entre le pont du navire et le Topside, à une position verticale dans le trou d'accès du dôme gaz.

Cette étude cinématique, a permis de déterminer 2 trajectoires limites, et un mouvement de repli de la flèche de la nacelle du bras télescopique, afin de pouvoir réaliser l'insertion du bras dans la cuve.

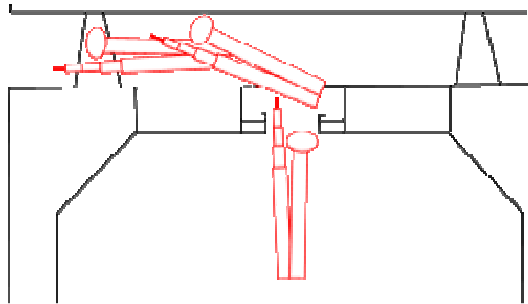


Figure 8 : Trajectoire à donner au bras télescopique pour l'insérer dans la cuve

Afin de pouvoir imposer une cinématique contenue dans les 2 trajectoires limites, il a été décidé de concevoir un système rigide, fixant précisément la position du bras dans le repère du navire malgré ses mouvements. L'utilisation de palans aurait conduit à des mouvements incontrôlés du bras sous son balan, et donc à de trop grands risques de collisions entre le bras et l'environnement.

Le système conçu consiste en un portique doté de 2 points de pivotement, liés par deux bras

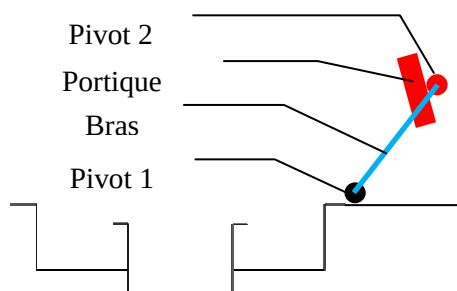


Figure 9 : Schéma du bras d'insertion

Par la suite de l'étude, une glissière ayant le même axe que le bras a été rajoutée à ce système entre ses deux points de pivot. Cet ajout a été nécessaire afin de pouvoir insérer le

bras télescopique dans le châssis de guidage du système de fixation.

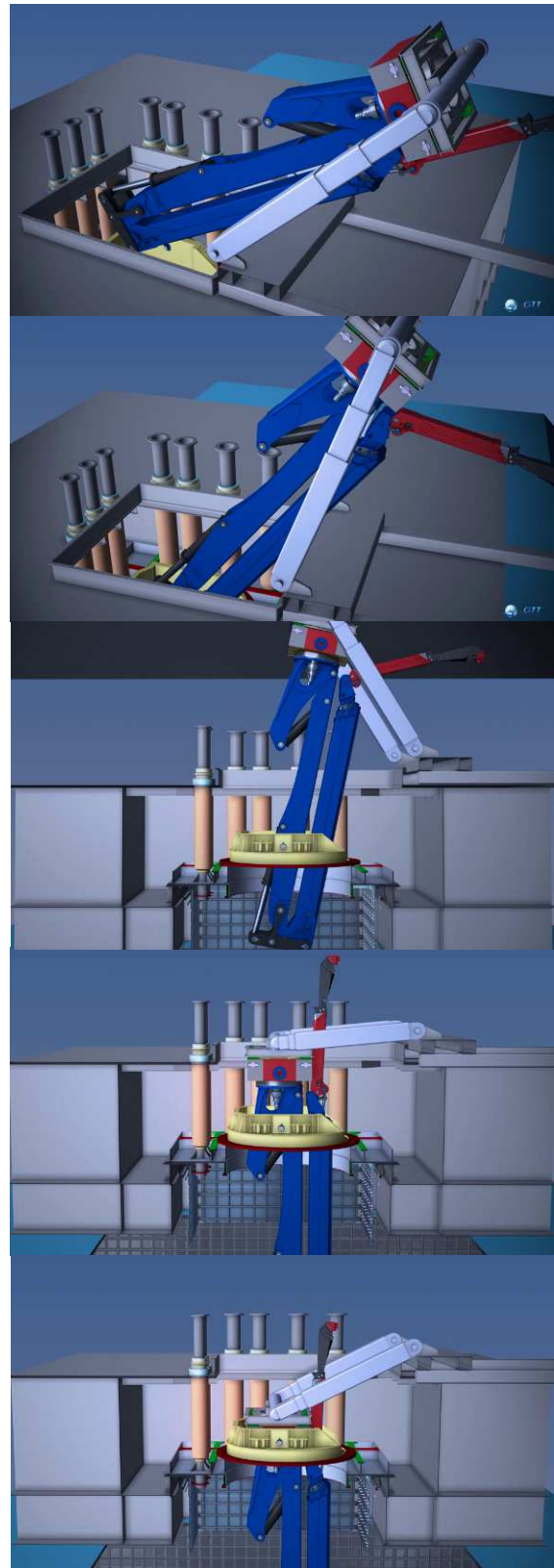


Figure 10 : Fonctionnement du bras d'insertion

3.4.3. L'outil

3.4.3.1. Le système de fixation

Le système conçu est constitué de 3 types d'ensembles.

- Un châssis de guidage, s'installant sur la bride du dôme gaz, et permettant de guider et de fixer temporairement à la bride du dôme gaz lors de leur insertion dans la cuve, les différents éléments constituant le système.

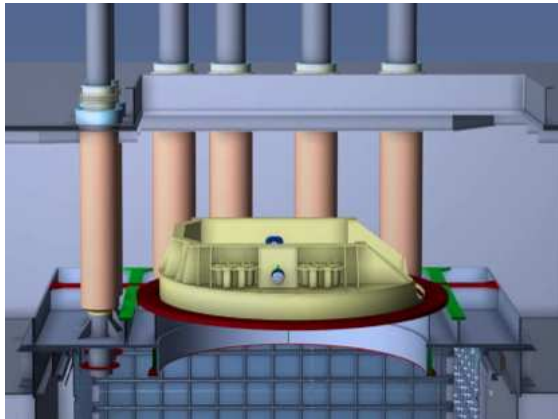


Figure 11 : Vue du châssis de guidage sur la bride du dôme gaz

- Des allonges, s'empilant les unes au dessus des autres pour constituer une colonne maintenant à son extrémité inférieure le bras.

Durant l'installation des différentes allonges, la dernière allonge installée est fixée au châssis de guidage en attente de l'allonge suivante. L'allonge suivante est alors acheminée et fixée sur la partie supérieure de l'allonge fixée au châssis de guidage. Puis, l'ensemble est descendu d'un niveau et la dernière allonge installée est à son tour fixée au châssis de guidage en attente d'installation de l'allonge suivante.

Les allonges sont traversées de haut en bas d'une échelle permettant aux utilisateurs d'accéder à l'allonge inférieure. L'allonge inférieure est dotée en plus d'une ouverture latérale, permettant aux utilisateurs d'accéder à la nacelle du bras lorsque celui-ci est en position repliée.

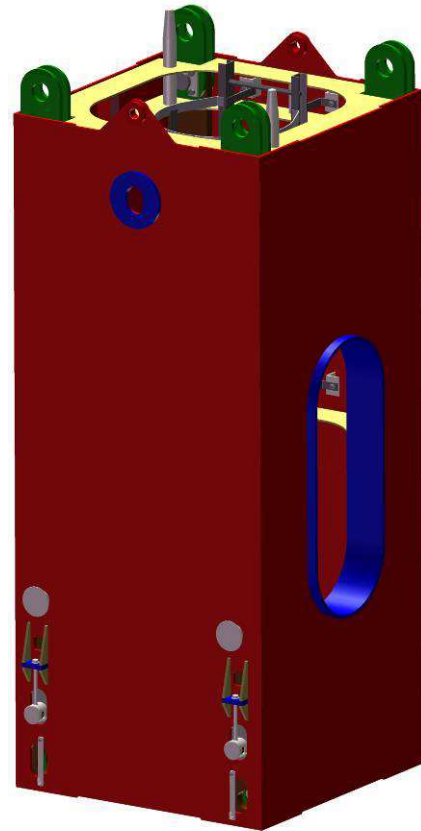


Figure 12 : Vue de l'allonge avec ouverture

- Un châssis du dôme gaz, s'installant sur la dernière allonge de la colonne. Ce châssis permet de maintenir la colonne d'allonges en la fixant à la bride du dôme gaz.

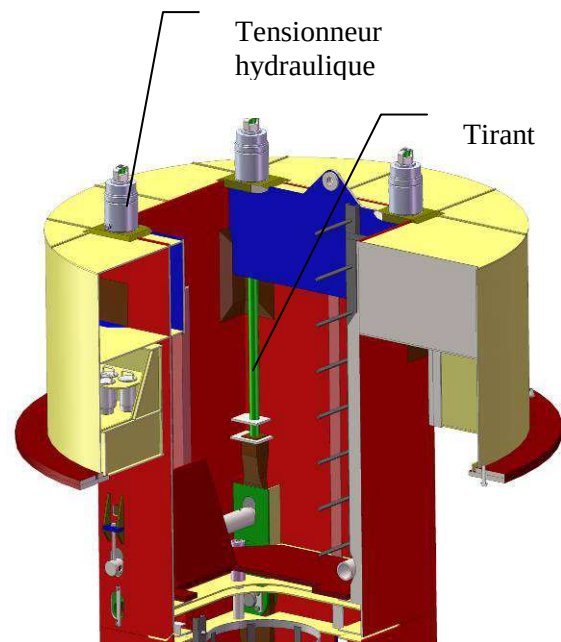


Figure 13 : Vue coupée du châssis du dôme gaz

Le temps d'installation de la solution étant un critère important, il a été choisi de lier toutes les pièces constituant le système par goupillage plutôt que par des boulons. Toutefois, les goupilles étant des éléments nécessitant l'introduction de jeu entre les pièces à lier afin de pouvoir être mis en œuvre, cette solution aurait pu induire des déplacements importants de l'extrémité inférieure de la colonne et donc du bras sous les seuls effets des mouvements de cuves. Afin d'éviter cette situation, les allonges et le châssis du dôme gaz ont été dotés de 4 tirants chacun, positionnés à leurs quatre coins, et les traversant sur toute leur hauteur. Les allonges et le châssis du dôme gaz sont liés les uns aux autres par goupillage de leurs tirants.

Une fois la colonne installée, les tirants sont mis en tension grâce à 4 tensionneurs hydrauliques présents sur le châssis du dôme gaz. La mise en tension supprime tous les jeux entre les allonges et le châssis du dôme gaz et provoque la compression des allonges. Ainsi, malgré les mouvements de cuves, les déplacements de l'extrémité inférieure du système de fixation et donc de la base du bras sont limités à la flexion des pièces et aucun déplacement entre pièces ne vient s'y ajouter.

De plus, la flexion des allonges est diminuée par la pré contrainte des tirants par rapport à un système où les allonges ne seraient pas pré tensionnées.

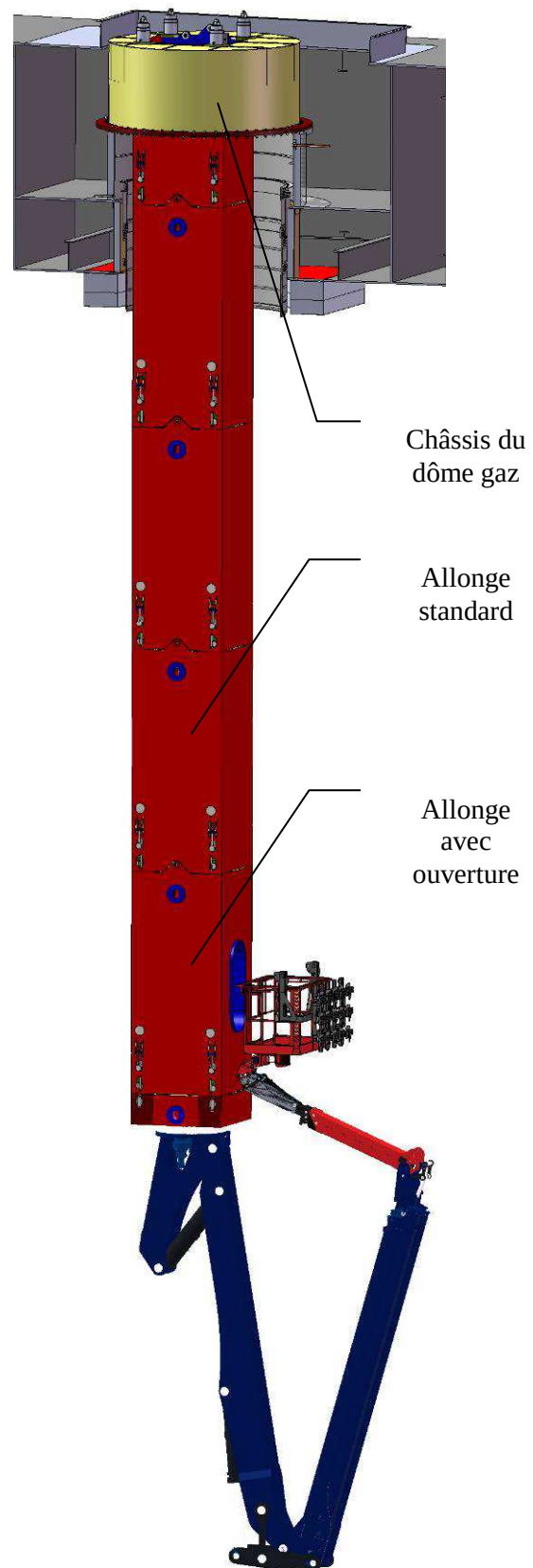


Figure 14 : Vue du système de fixation et du bras en position replié

3.4.3.2. Le système d'immobilisation

De nombreux outils, utilisés pendant la fabrication ou la maintenance des cuves membranes, sont fixés à l'aide de pinces se fermant sur les bords relevés ou les nœuds des membranes. Pour le système d'immobilisation du bras télescopique, la difficulté est de trouver une solution ne nécessitant pas de positionner précisément la nacelle de l'outil par rapport à la membrane pour pouvoir l'immobiliser.

Afin d'y parvenir, le positionnement de la nacelle a été décorrélé de la position des pinces permettant de s'accrocher sur la membrane

Le système développé est constitué de :

- 1 ensemble lié à la nacelle

Cet ensemble est constitué de :

- 1 Bras qui peut être pivoté autour de l'axe horizontal de la nacelle et qui comporte 3 positions de verrouillage.
- 1 Plateau qui peut être pivoté jusqu'à 5° autour de tous les axes du Bras
- 15 Vérins d'appui fixés sur le plateau, ayant leurs pistons perpendiculaires au plateau et uniformément disposés sur un quadrillage de 3 lignes et 5 colonnes
- 15 Electroaimants fixés sur les vérins d'appui, ayant leurs plaques magnétiques parallèles au plateau

- 15 Pinces indépendantes

Ces pinces sont constituées de :

- 1 Pince avec 2 mords adaptés à la géométrie de la membrane (les bords relevés pour NO96 les nœuds pour MKIII)
- Une plaque ferromagnétique liée à la pince et orientée de manière à être parallèle aux parties planes de la membrane, lorsque la pince sera installée sur la membrane

- 1 circuit hydraulique équipé d'une pompe manuelle et d'une servo-vanne permettant d'alimenter les vérins et de bloquer leurs pistons

- 1 boîtier de commande permettant de contrôler la servo-vanne et les électroaimants.

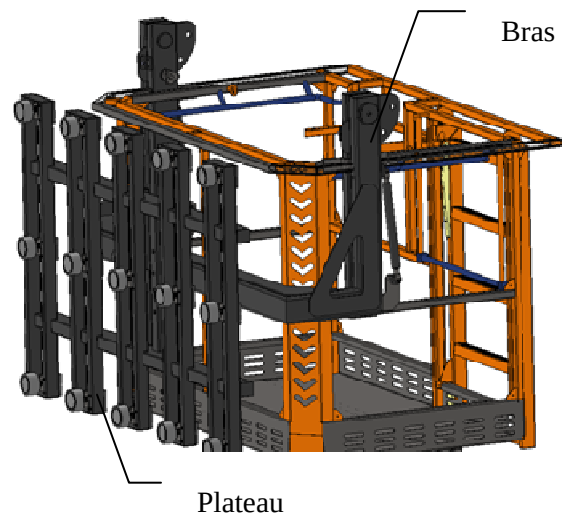


Figure 15 : Vue du plateau du système d'immobilisation sur la nacelle du bras

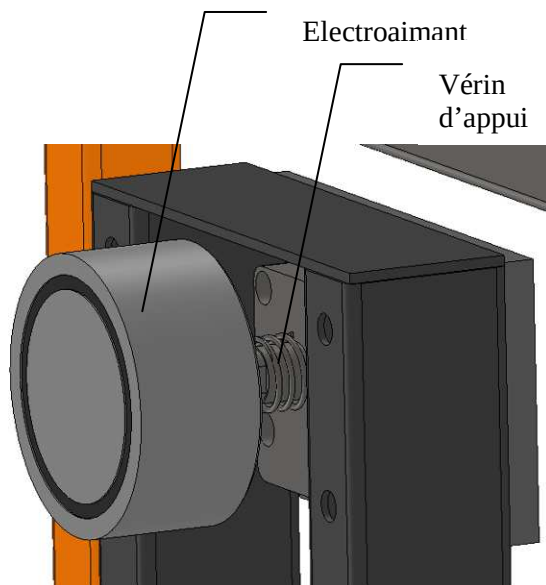
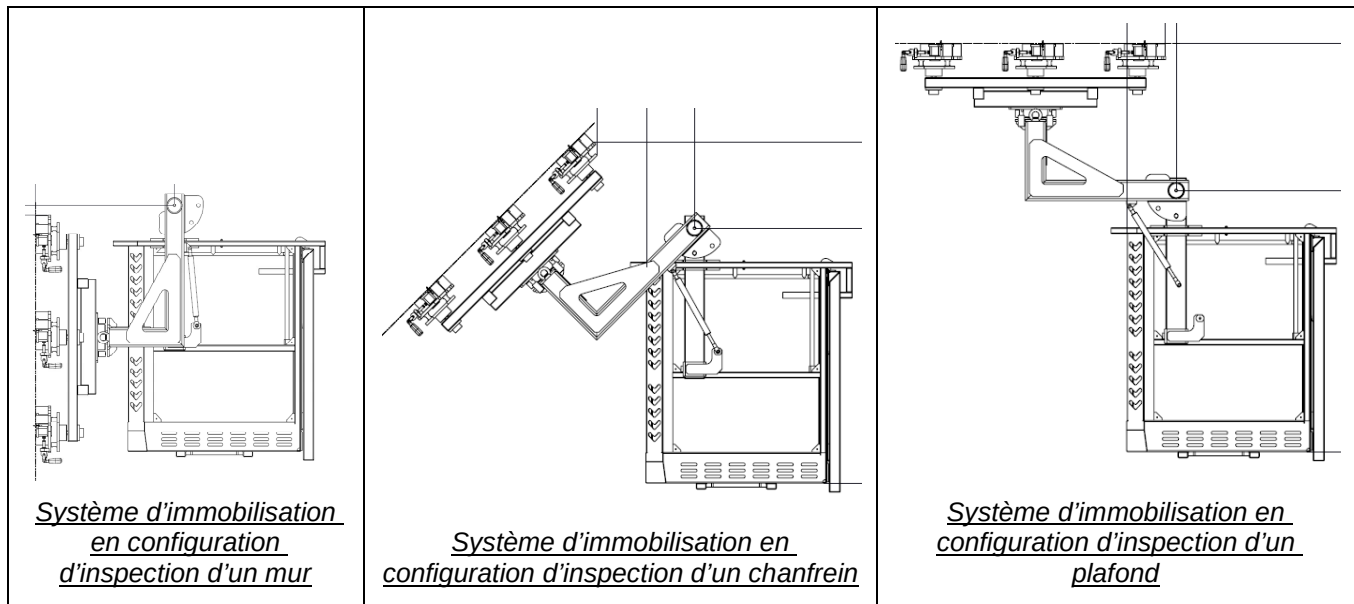


Figure 16 : Vue d'un Electroaimant et d'un vérin d'appui du plateau d'immobilisation

L'utilisation de ce système est décrite ci après :

- En fonction de l'orientation de la membrane où l'utilisateur désire immobiliser la nacelle (mur, chanfrein plafond), le bras du système d'immobilisation, doit être pivoté et verrouillé à 0°, 45° ou 90°.



- La nacelle doit être amenée devant la zone où immobiliser la nacelle et les 15 pinces doivent être installées sur la membrane
- Les électroaimants doivent être mis sous tension
- La nacelle doit être déplacée afin de plaquer les électroaimants sur les plaques des pinces.
- Les pistons des vérins doivent être bloqués en actionnant la pompe manuelle

3.5. Essais réalisés

3.5.1. Sur le système d'immobilisation

Afin de tester la tenue du système, les systèmes d'immobilisation pour NO96 et MKIII ont été installés sur les membranes primaires NO et MKIII. Puis, les charges maximum attendues par la nacelle y ont été appliquées. Les résultats de ces essais n'ont révélés aucun déplacement des systèmes par rapport aux membranes et aucun endommagement.

3.5.2. Sur l'isolation

Afin de tester la tenue de l'isolation NO96 sous les efforts du système d'immobilisation, une maquette à l'échelle 1:1 représentant 11m² d'isolation NO96 complète (coque + isolation secondaire + membrane secondaire + isolation primaire + membrane primaire) en zone courante de cuve a été réalisée. Puis, le système d'immobilisation a été installé sur la

membrane primaire. Un portique installé au dessus du système d'immobilisation a permis d'y appliquer des charges dans toutes les directions souhaitées. Les résultats de ces essais n'ont révélés aucun déplacement du système par rapport à la membrane primaire, aucun endommagement du système d'immobilisation, aucun endommagement de l'isolation, et aucun déplacement de l'isolation ou des pièces la constituant.

3.5.3. Sur le bras télescopique + le système d'immobilisation

Bien que le système d'immobilisation eut été validé en essais statiques, il était important pour valider son fonctionnement de vérifier la possibilité d'installer les pinces à partir de la nacelle du bras télescopique et ce malgré les mouvements de la cuve, puis, de vérifier la possibilité d'accoster les électroaimants du plateau d'immobilisation sur les pinces en pilotant les déplacements du bras, et ce malgré les mouvements de la cuve.

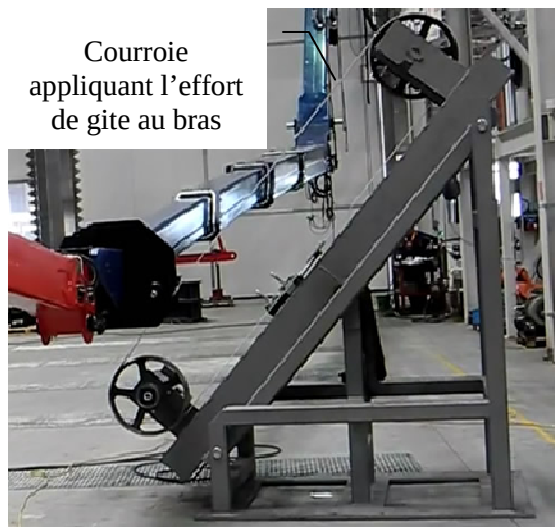
Il a été décidé de réaliser ces vérifications par essais.

Le système d'immobilisation a été installé sur le bras télescopique, et une maquette à l'échelle 1:1 simulant un coin de cuve a été réalisée afin de pouvoir simuler l'accroche du système d'immobilisation sur un mur, un chanfrein et un plafond.



Figure 17: Essai d'immobilisation du bras à l'échelle 1 :1

Pour simuler les mouvements de la nacelle par rapport à la membrane, qui à bord seraient générés par les mouvements de la cuve sur le poids propre du bras, il a été décidé d'appliquer un effort alternatif à proximité de l'extrémité du bras, provoquant les déplacements de la nacelle.



Courroie
appliquant l'effort
de gîte au bras

Figure 18 : Actionneur simulant les déplacements du bras par rapport à la membrane dus aux mouvements de cuve

Afin de déterminer l'effort alternatif à appliquer sur le bras, le bras a été modélisé analytiquement.

Le modèle du bras a ensuite été chargé afin de simuler les efforts d'accélération de la cuve sur le poids propre du bras et sur la masse embarquée dans la nacelle.

Par ailleurs, ce même modèle a été chargé avec un effort ponctuel localisé à l'endroit correspondant où nous souhaitions appliquer l'effort alternatif simulant les déplacements du bras. Puis, cet effort ponctuel a été dimensionné, afin d'obtenir une flèche au niveau de la nacelle, équivalente à la flèche obtenue sur le modèle chargé en conditions réelles.

Les résultats de ces essais ont montré que le système d'immobilisation était viable. Les utilisateurs n'ont pas eu de difficultés à accrocher les pinces sur la membrane, ni à accoster le plateau sur les pinces malgré les mouvements de la nacelle dans laquelle ils étaient embarqués.

4. CONCLUSION

La solution présentée dans ce mémoire, répond aux besoins de maintenance des cuves proposées par GTT pour le marché GNL offshore. Malgré les mouvements d'une cuve offshore, elle permet à 2 travailleurs d'atteindre n'importe quel point de la membrane primaire d'une cuve en moins de 8h après son ouverture. Une fois les travailleurs ayant atteint la zone d'intervention, elle leur garantit une surface de travail immobile par rapport à la membrane, leur permettant ainsi de réaliser un travail de précision sur la membrane.

Toutefois, bien qu'utilisant des technologies éprouvées, les technologies qui ont été utilisées pour développer cet outil sont nouvelles pour le domaine d'application des cuves de GNL. Par conséquent, l'outil nécessitera peut être un temps d'apprentissage, avant d'être adopté par les acteurs du secteur, et de le voir couramment déployé sur les cuves GNL offshore proposées par GTT.