

LE CRYOSCOPE

Une boîte froide signée DTA dans le désert qatari



L'équipe de projet DTA devant le liquéfacteur d'hélium dans les ateliers de Sassenage.



TÉLÉGRAMMES
Dernières nouvelles de la DTA **P 2, 3**



TECHNIQUE
20 ans de réfrigération à très basse température **P 6, 7**



PAROLE D'EXPERT
Pierre Crespi **P 8**



Sur tous les fronts dans la cryogénie

En matière de cryogénie, DTA occupe une position unique, en concevant des solutions de refroidissement dans une gamme très étendue de températures, de puissances, de technologies et de domaines d'application.

« C'est pour cela que DTA est présente aux plus importantes conférences dédiées à la cryogénie. Ce, dans différentes spécialités : spatial, hautes énergies et supraconductivité, indique Alain Ravex de DTA. Nous pouvons ainsi présenter à l'ensemble des acteurs du domaine nos technologies existantes et en développement. Ces conférences nous offrent aussi une nouvelle opportunité d'observer les évolutions et d'identifier les besoins des

futurs grands projets. » Dernièrement, l'*International Cryocooler Conference* ou ICC s'est déroulée à Annapolis (États-Unis). « Nos refroidisseurs pour le spatial, fondés sur la technologie des tubes à gaz pulsé, ont récolté un beau succès lors de cette manifestation axée sur la cryogénie des détecteurs pour l'observation de la Terre et l'astrophysique ».

L'*International Cryogenic Engineering Conference* ou ICEC, à Prague (République tchèque), présentait les projets de hautes énergies, notamment les futurs accélérateurs linéaires et réacteurs de fusion nucléaire, tel ITER : une belle occasion pour DTA d'exposer ses réalisations du projet LHC au CERN.

Enfin, l'*Applied SuperConductivity Conference* ou ASC, à Seattle (États-Unis), a permis de valoriser la participation de DTA au plus ambitieux projet de câble supraconducteur aux États-Unis. « Nous avons pu contacter d'éventuels partenaires pour d'autres projets de supraconductivité dans les réseaux électriques américains, conclut Alain Ravex. L'ASC constituait en outre le cadre idéal pour échanger sur les applications d'avenir de la supraconductivité basse température dédiée à l'électronique rapide. Nos technologies s'intègrent parfaitement dans le cadre de ces projets ! »

Une station hydrogène sous pression

« Nous savions que nous étions capables de concevoir et de faire fonctionner une station service hydrogène 700 bar. Mais nous ne l'avions jamais démontré. Maintenant, c'est fait ! » s'enthousiasme Laurent Allidières, responsable du pôle Hydrogène-Énergie à Sassenage.

L'équipe de DTA a en effet développé un prototype 700 bar pour démonstration au Challenge Bibendum, événement annuel qui expérimente les avancées des constructeurs en matière de véhicules "propres".

L'intérêt d'une station 700 bar ? Les

réservoirs des automobiles à pile à combustible contiennent 2 à 3 kg d'hydrogène à 350 bar, soit 200 à 300 km d'autonomie, pas plus. Or, en augmentant la pression d'hydrogène, il est possible de remplir les réservoirs avec 40% de carburant en plus. D'où un gain d'autonomie pour les véhicules. DTA a présenté en parallèle deux stations au Challenge Bibendum : une bi-pression 350 et 700 bar ; l'autre fonctionnant à 350 bar. Toutes deux sont capables de fournir 70 kg par jour d'hydrogène. La première était exposée au Centre d'Études et de Recherches Automobiles de Mortefontaine ; la seconde... au pied de la Tour Eiffel ! La première a ravitaillé 12 véhicules pour les 4 jours du rallye Challenge Bibendum. La seconde a ravitaillé, entre autres, une Mercedes Class A pilotée par... Benoît Potier, PDG d'Air Liquide ! Les stations ont été conçues pour être facilement démontables et transportables. C'est grâce à cette particularité que la station 700 bar a pu être transportée vers Lyon dans la nuit. Elle a été exposée à la 16^e Conférence Mondiale de l'Hydrogène Énergie (WHEC 16), qui a rassemblé les responsables et les acteurs mondiaux de l'Hydrogène-Énergie.



Benoît Potier et Laurent Allidières à la pompe d'hydrogène.

RAPPEL

Votre avis sur le Cryoscope nous intéresse !

Merci de répondre à notre enquête sur le site www.dta.airliquide.com, ou en renvoyant le coupon joint à D. Lecocq
DTA AIR LIQUIDE
Rue de Clémencière BP 15
38360 Sassenage

L'exploration de Mars, à un capillaire près !

Des traces de vie sur Mars ? Les scientifiques espèrent bien en trouver. C'est dans cet objectif que des robots d'observation mobiles – ou rovers – sont envoyés sur la planète rouge.

Le prochain rover – Mars Sample Laboratory – sera lancé par la NASA en 2009. Il embarquera à son bord un chromatographe phase gazeuse, en partie conçu par le service d'aéronomie du CNRS, pour analyser l'atmosphère et le sol martiens. Or cet appareil nécessite des capillaires dont le diamètre dépasse à peine celui d'un cheveu. Personne en Europe ne sait fabriquer des tuyaux aussi fins. Personne ? Si... « À DTA, Dominique Chazot l'a réalisé pour la mise au point du réfrigérateur à dilution dédié à



Les experts : niveau supérieur atteint à DTA

Sassenage vient de fêter ses experts. Alain Ravex, Gérard Marot, Jean-Michel Cazenave, Michel Bonneton (DTA) et Éric Claude (Axane) sont les cinq nouveaux spécialistes désignés par Air Liquide, dans le cadre de son programme Technical Career Ladder. « Par le biais de ce programme né en 2002, le groupe apporte une vraie reconnaissance aux contributions techniques de ses spécialistes, explique Marie-Pierre Merel, Directeur des Ressources Humaines à DTA. En identifiant clairement ses experts, Air Liquide donne à toutes ses entités mondiales la possibilité de disposer de compétences spécifiques qui n'existent pas sur leur site. La carte d'identité et les coordonnées des experts Air Liquide sont aisément consultables sur un portail Intranet dédié au Technical Career Ladder. »

Aucours de l'année qui précède leur nomination, les spécialistes sont minutieusement sélectionnés, non seulement pour leurs compétences

techniques mais également pour leur capacité à transmettre leur savoir-faire et leur expérience. Plusieurs niveaux d'expertise – fellow, senior, groupe et local – sont accessibles dans divers domaines, comme la R&D ou l'ingénierie...

À noter : le Groupe compte 19 "fellow Expert" dans le monde, dont un à Sassenage, Alain Ravex : « Je suis très honoré par cette nomination. Au-delà d'une reconnaissance personnelle, elle récompense aussi le travail et



Michel Bonneton, Didier Magnet, Alain Ravex et Gérard Marot.

l'observatoire spatial Planck, rapporte Pierre Crespi, responsable de l'activité Systèmes Orbitaux. Il sait souder ces capillaires entre eux, par laser, sous microscope. » C'est cette expertise que le CNRS est venu chercher à DTA. La qualification des procédés a été réalisée en juillet. Reste à fabriquer les modèles de vol, prévus pour être livrés en décembre.

Mais ce n'est pas tout ! L'Europe aura son rover en 2012 : ExoMars. Là encore DTA devrait participer à l'aventure. « Non seulement nous pourrions fabriquer des capillaires, conclut Pierre Crespi, mais aussi des petits réservoirs sous pression pour le chromatographe embarqué. »

Mars sous l'objectif du rover d'exploration "Opportunity" (2004).



les compétences des équipes avec lesquelles j'ai le plaisir de travailler à DTA. Il me semble très important qu'Air Liquide montre à ses "technologues", par leur reconnaissance au sein de cette Technical Career Ladder, toute l'importance qu'il accorde à leur contribution, essentielle pour le développement du Groupe. »

Nouveau succès de DTA en Chine

Après une expérience réussie avec le leader chinois de la fonderie électronique ASMC (Advanced Semiconductor Manufacturing Corp.), DTA vient d'être choisie par la récente Joint Venture STMicroelectronics-Hynix Semiconductor Inc., basée à Wuxi près de Shanghai, pour lui fournir trois baies d'analyse de gaz en continu (CQC™). Celles-ci vont contrôler l'ultra-haute pureté des gaz vecteurs nécessaires à la fabrication de semi-conducteurs (mémoires vives et mémoires flash).



Le premier CQC™ a été livré, démarré et qualifié au premier trimestre 2006. « Nous avons formé sur place les équipes chinoises à l'utilisation du CQC™, souligne Régis Zils, Chef de projet Ingénierie des gaz. Notre client a apprécié notre disponibilité et nos compétences, qui nous ont permis de répondre à chacune de ses sollicitations, quelquefois en nous rendant directement à Wuxi. »

Le second CQC™ est attendu fin 2006. « Encore une fois, le challenge est réel, poursuit Régis Zils, car les délais sont très serrés pour une technologie aussi sophistiquée. » DTA dispose de cinq petits mois pour honorer son contrat. Pas un de plus !



Le site pétrochimique de Ras Laffan.

L'usine de purification et de liquéfaction d'hélium est opérationnelle sur le site de Ras Laffan depuis août 2005. Retour sur les contributions de DTA dans

Liquéfacteur hélium

Une boîte froide signée DTA dans

Après la découverte de l'immense gisement du North Field au début des années 70 et la mise en service d'une unité de production de gaz naturel liquéfié sur le site de Ras Laffan dans les années 90, les autorités qatari ont décidé d'y installer une usine ayant pour objectif de récupérer l'hélium contenu dans les gaz incondensables extraits des unités de liquéfaction du gaz naturel. En effet, même présent à un taux de 0,04 %, l'hélium offre un réel intérêt économique au regard de la taille du gisement du North Field. Suite à l'appel d'offres de l'été 2002 et à la sélection d'Air Liquide pour réaliser ce projet en mai 2003, un double contrat fut signé entre les deux parties. Le premier portait sur la conception et l'installation d'une usine de purification et de liquéfaction d'hélium, le second sur le rachat de 50% de l'hélium produit en vue de le commercialiser sur le marché mondial.

RLH = ALE + DTA

Ce projet baptisé RLH – Ras Laffan Hélium – a permis de rapprocher les équipes et le savoir-faire de deux entités du Groupe Air Liquide. Basé à Champigny-sur-Marne et rodé aux projets industriels, Air Liquide Engineering (ALE) a pris en charge la conception et la réalisation de la partie "purification" alors que, depuis Sassenage, DTA a assuré les mêmes missions pour la partie "liquéfaction". Le montage des équipements sur site a ensuite été géré par ALE, avec le support

technique de l'équipe DTA. L'ensemble du projet a été réalisé en un temps record. En effet, après livraison des équipements à l'automne 2004, le montage initié début 2005 pour les travaux de génie civil était terminé au début du second semestre. Après les premières gouttes d'hélium liquide obtenues fin août, le remplissage du premier conteneur d'hélium liquide a même fait l'objet d'un article enthousiaste dans la presse qatari mi-septembre.

Pour DTA, le projet est tout aussi honorifique. En effet, il constitue sa première référence au cœur de l'un des plus gros sites de production d'hélium liquide (il n'en existe que quatorze dans le monde). Techniquement, il s'agit même de l'un des plus gros liquéfacteurs d'hélium jamais conçus et réalisés en termes de capacité

de production. À la différence des réfrigérateurs habituellement conçus par DTA – une source de froid ultime pour des installations de recherche fondamentale ou appliquée – l'usine RLH permet de purifier et produire de l'hélium liquide à partir d'une source de gaz naturel, à destination d'applications industrielles et domestiques.

Un liquéfacteur autonome

Dans ce qui constitue la plus grosse "boîte froide" jamais construite dans les ateliers de DTA, le refroidissement du fluide hélium est assuré par plusieurs sections d'échangeurs de chaleur à plaques brasées en aluminium, et six turbines DTA à palier gaz dont deux constituent les machines les plus puissantes jamais réalisées pour l'hélium. Grâce à leurs capacités uniques et une intégration thermique optimisée, le liquéfacteur RLH est entièrement autonome. Il ne comporte pas d'étage de pré-refroidissement à l'azote liquide habituellement mis en œuvre sur les usines d'hélium. En cela, il répond au cahier des charges du client qui ne réclamait pas de production significative d'azote liquide. Chef de projet pour RLH à DTA, Frédéric Andrieu évoque la synergie qu'il a fallu bâtir entre les deux entités d'Air Liquide afin de relever ce challenge technique et industriel. « L'une



Sur le site de Ras Laffan, en novembre 2004, l'installation d'un skid de déshuilage de la station de compression hélium. Longueur : 15 m, largeur : 4 m, hauteur : 5,5 m.

ce projet industriel où Air Liquide signe sa première référence globale d'une unité de production d'hélium sur une source de gaz naturel.

Section de la boîte froide avant fermeture, la plus imposante jamais construite dans les ateliers de DTA (diamètre : 3,4 m – longueur : 13 m).



le désert qatari

a des industriels comme clients, l'autre des centres de recherche. Cela nous a conduits à développer une approche et des méthodes de travail spécifiques mais, grâce à ce projet commun, nous avons appris à les partager, précise-t-il. Pour DTA, RLH s'est traduit, par exemple, par la prise en compte de spécifications techniques et documentaires propres au secteur de la pétrochimie et de contraintes environnementales liées aux conditions d'exploitation rencontrées au Qatar. Grâce à cette réalisation, le pôle high-tech de Sassenage a démontré que sa maîtrise des technologies de pointe sur des produits comme les liquéfacteurs et les turbines est complémentaire de celle des autres entités d'Air Liquide, et qu'elle permet de satisfaire aujourd'hui des besoins industriels complexes. »

Retour vers le futur

En attendant d'autres projets de même envergure et fort de cette première expérience, le pôle Cryo de DTA espère l'engagement du projet RLH 2. En effet, l'usine d'hélium actuelle est connectée à sept trains de liquéfaction de gaz naturel. Mais sur le site de Ras Laffan, qui s'avère être une des plus grandes réserves de gaz naturel au monde, la construction et le démarrage de nouvelles unités de production de gaz naturel liquéfié sont en cours. En fonction de l'évolution des besoins en hélium du marché mondial, il

est prévu d'ici quelques années la construction d'une usine jumelle à celle livrée l'an dernier. Un équipement qui permettrait ainsi au Qatar de doubler sa capacité de production d'hélium liquide, passant de 10 à près de 20% des capacités mondiales. À Ras Laffan, que ce soit au niveau de l'emplacement, des utilités ou de la salle de contrôle, tout est déjà prêt pour cette deuxième usine. À Sassenage, la trentaine de personnes qui assureront la conception et la fabrication du liquéfacteur le sont aussi.



Un échangeur au cœur de la boîte froide.

Contact :
frederic.andrieu@airliquide.com



L'équipe d'opération qatari photographiée le 20 septembre 2005, jour du remplissage du premier conteneur d'hélium liquide. Actuellement en phase de montée en charge, l'installation est prévue pour produire à terme plus de 3200 litres d'hélium liquide par heure.

Rendement de récupération d'hélium : 98 %
Production d'hélium liquide : 660 Mscf/y (environ 3 200 litres/h)
Pureté de l'hélium : supérieure à 99,999 %
Puissance électrique installée : 7 MW



Suite à la pré-série livrée en 2003, DTA achève fin 2006 l'installation au CERN de trois trains de trois compresseurs cryogéniques. En 20 ans, une

Compresseurs cryogéniques

20 ans de réfrigération à très basse

Rappelons tout d'abord que les compresseurs cryogéniques permettent d'obtenir de la puissance de réfrigération à très basse température (inférieur à 4 K) en abaissant la pression au-dessus d'un bain d'hélium liquide. La diminution de cette pression engendre la réduction de la température d'ébullition du bain et donc une baisse de la température de l'hélium liquide (jusqu'à 1,8 K). Les compresseurs cryogéniques sont composés d'un étage de compression centrifuge (une roue, un diffuseur, une volute), d'un ensemble palier-butée magnétique, d'un système de refroidissement des ensembles électromagnétiques, d'une motorisation électrique et d'un système de contrôle-commande ⁽¹⁾.

À chacun son compresseur

Cette technologie développée à partir de 1985 a permis aux équipes de DTA d'acquérir une expérience qui se traduit aujourd'hui par des performances accrues et une conception optimisée des compresseurs cryogéniques. D'autant que les demandes se sont multipliées et que, l'usage client étant variable, il faut à chaque fois concevoir un équipement adapté à une application et des spécifications précises (voir tableau).

Ainsi, la puissance de ces compresseurs n'est que de quelques centaines de watts pour le CEA alors qu'elle atteint plusieurs dizaines de kilowatts au CERN. Le niveau de température requis, le taux de compression et le débit en sortie du compresseur varient

De mieux en mieux

Le partenariat mis en place avec la société S2M basée à Vernon (Eure) se traduit aujourd'hui par la fourniture de moteurs et de paliers magnétiques plus compacts et plus performants. À Sassenage – et pour la section cryogénique des compresseurs – en passant d'un design 2D à 3D les performances de l'ensemble roue-diffuseur-volute ont été nettement améliorées. La limitation des entrées de chaleur s'est aussi traduite par une régulation optimisée de la pression du bain d'hélium et donc un meilleur rendement du compresseur cryogénique. Ces évolutions techniques ont permis, en quelques années, de passer d'un rendement isentropique moyen de 65% à 75%.

L'optimisation du design thermique et la maîtrise des contractions différentielles des composants sont le domaine où les changements ont été les plus grands. «Les moteurs et pivoteries magnétiques fonctionnent aujourd'hui à température ambiante, explique Franck Delcayre, responsable produit turbomachine à DTA. Le gradient thermique entre la partie chaude et la partie froide du compresseur est plus conséquent : environ 300 K alors qu'il se situait plutôt aux alentours de 80 K pour les machines de l'ancienne génération, ajoute-t-il. Les contractions thermiques différentielles des pièces résultant de ce gradient thermique impactent directement le jeu possible entre les pièces. Pour assurer la fiabilité du compresseur cryogénique tournant à 40000 trs/min, il a

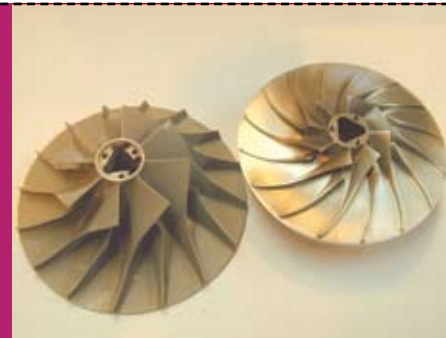


Au CERN, dernières vérifications avant intégration d'un compresseur froid, en septembre 2006.

Genève le refroidissement se fait par simple circulation d'eau dans le carter du moteur.



quarantaine de machines auront été réalisées. Avec, au fil des ans, des performances accrues et une conception adaptée à chaque application.



température

donc fallu garantir qu'aucun contact n'est possible entre les pièces mobiles et les pièces fixes.»

Vingt ans : la maturité !

Au CERN (Genève), en ce dernier trimestre 2006, DTA achève l'installation de ce qui sera sa plus belle référence en matière de compresseurs cryogéniques. Au final, après la pré-série de trois unités livrées en 2003, ce sont au total douze turbomachines qui seront bientôt à l'œuvre pour assurer le fonctionnement à 1,8 K des aimants supraconducteurs de l'accélérateur de particules. Afin de satisfaire le besoin

de systèmes de réfrigération de haute puissance et la volonté du client de disposer d'une certaine flexibilité dans leur usage (notamment au niveau des débits d'hélium), les compresseurs sont disposés en série : quatre trains de trois unités (plus trois compresseurs de rechange). Afin de maintenir la stabilité de la pression de pompage (de l'ordre du millibar), mais aussi de sécuriser chaque compresseur dans sa plage de fonctionnement, un programme de pilotage spécifique a été développé par l'équipe de projet DTA.

Les douze compresseurs livrés cet été ont tous été testés dans la boîte froide de pré-série. «On a pu observer une excellente reproduction des résultats selon les machines, note Jean-Christophe Courty, responsable



du projet. Avec une précision de 1% sur le rendement et de 2% sur les taux de compression, précise-t-il. Ce niveau d'excellence prouve que nous sommes en mesure de reproduire de manière industrielle des équipements très performants.

(1) Sur le fonctionnement d'un compresseur cryogénique, lire l'article paru dans le Cryoscope n° 20, pages 6 et 7.

Contact :
franck.delcayre@airliquide.com



En 2004, pour le Spallation Neutron Source à Oakridge (États-Unis), intégration d'un compresseur cryogénique dans sa boîte froide.

D'une application à l'autre

	Nombre de compresseurs	Pression bain Hélium (mbar)	Température de l'hélium aspiré (K)	Débit d'hélium en sortie de compresseur (g/s)
1985 Euratom (France)	2	11,4	4,5	14
1988 CEA (France)	1	12	4	6
1991 CEBAF (USA)	4	28	3,32	237
1995 CERN (Suisse)	1	10	4,5	18
1999-2000 CEBAF (USA)	5 (+1)	28	3,32	237
2002 CEA (France)	2	14	3,4	20
2002 CERN (Suisse)	3	14	3,98	126
2003 SNS (USA)	4 (+2)	38	3,98	120
2006 CERN (Suisse)	4 x 3	14	3,98	126

Les puissances des compresseurs réalisés vont de quelques centaines de watts à plusieurs dizaines de kilowatts.



Depuis juillet 2006, Melfi⁽¹⁾ est opérationnel à bord de la Station Spatiale Internationale. Situé au cœur de ce laboratoire réfrigéré, DTA a conçu un équipement basé sur la technologie Turbo Brayton. Entretien avec Pierre Crespi, responsable de l'activité Lanceurs & systèmes orbitaux.

À ce jour, DTA a réalisé cinq turbomachines Brayton pour Melfi : quatre modèles de vol et un de qualification.

Cryogénie spatiale Le cycle de Brayton mis en orbite

Quelles sont la vocation de Melfi et la contribution de DTA à cet équipement ?

Construit par l'ESA sous la direction de la NASA, Melfi est un laboratoire réfrigéré qui, à bord du module US Destiny, servira de volume de stockage pour les sciences de la vie. Avant leur analyse sur place ou leur transport au sol, les échantillons biologiques seront conservés à -80°C, une température qui permet de préserver les structures cellulaires. Melfi se présente sous la forme d'une armoire contenant 4 cryostats ; chacun d'eux comporte 4 tiroirs permettant de stocker les éprouvettes. Au cœur de Melfi, une turbomachine à froid alimente les tiroirs de façon régulée. C'est cet équipement que DTA a conçu et réalisé.

Quel est l'historique du projet pour DTA ?

Les premiers contacts pris par Jean-Claude Villard et Serge Réale datent de 1989. Il a fallu attendre 2006 pour qu'ils se concrétisent parce que le projet ISS a beaucoup évolué. À l'origine, les discussions portaient sur la conception d'une source de froid interne et stable, fonctionnant en apesanteur. Sur la base de l'expérience acquise sur les turbines, nous avons recommandé la technologie Turbo Brayton, puis réalisé le prototype en 1995. Afin d'éviter toute usure mécanique, le compresseur rotatif et les turbines centrifuges tournent autour d'un arbre en carbure

de tungstène en sustentation sur un film d'azote gazeux de 10 microns. Les phases de qualification et de certification ont suivi et DTA a livré sa première turbomachine en 2001.

Quelle est l'actualité de Melfi depuis son installation à bord de l'ISS ?

Quatre jours après le lancement de Discovery le 4 juillet, Melfi a été installé par les astronautes. La mise en froid de l'équipement est opérationnelle depuis le 19 juillet et la première phase d'essais est terminée. Afin de vérifier la couverture de tous les besoins, trois températures ont été testées : -80°C, -26°C, +4°C. Une mise en froid jusqu'à -98°C a également été effectuée, mais le fonctionnement est aujourd'hui stabilisé à -85°C. Lorsque le rapport d'essais rédigé par EADS sera entériné, la propriété de Melfi sera officiellement transférée de l'ESA à la NASA.

Que représente cette réussite pour DTA ?

Air Liquide fait partie du club très fermé des entreprises qui fournissent des équipements fonctionnant de façon continue en orbite. Jusqu'à



Pierre Crespi, tenant en mains l'arbre en carbure de tungstène et une roue du compresseur de la turbomachine Brayton conçue par DTA.

présent, nous étions reconnus pour la fourniture des fluides et des réservoirs cryogéniques d'Ariane. Désormais, nous le sommes aussi pour les systèmes orbitaux. Notre prochain rendez-vous est prévu en 2008 avec la mise en orbite du télescope spatial Herschel et de l'observatoire scientifique Planck. Melfi concrétise notre volonté de diversification mise en œuvre il y a plus de 10 ans. Elle se traduit aujourd'hui par une expertise dans la maîtrise de systèmes complexes et de procédures très rigoureuses.

(1) MELFI : Minus Eighty degrees Laboratory Freezer for the ISS.

Contact : Jérôme Guichard, chef de projet Melfi - 04 76 43 62 35

Caractéristiques techniques

Masse totale de Melfi : 800 kg
Volume froid utilisable : 300 litres
Masse de la turbomachine Brayton : 8,5 kg
Alimentation électrique : 800 W
Fréquence de rotation de l'arbre : entre 85 000 et 100 000 tours/min
Durée de vie : 7 ans en orbite