

LE CRYOSCOPE

MAGAZINE DE LA DIVISION DES TECHNIQUES AVANCÉES

La cryogénie au service du transport de l'électricité



P. 2, 3

BRÈVES
Les nouvelles
d'Air Liquide DTA

P. 4, 5

REPORTAGE
La cryogénie au service du
transport de l'électricité

P. 6, 7

TECHNIQUE
De l'énergie dans
nos déchets

P. 8

PAROLE D'EXPERT
Jean-Michel Cazenave

Des petits liquéfacteurs d'azote pour des sites peu accessibles

Comment fournir de l'azote liquide en continu pour refroidir les capteurs d'un observatoire situé à 3000 m dans la Sierra Nevada, point culminant de l'Espagne? En convoyant régulièrement des bidons d'azote par véhicule 4x4 ou motoneige? Périlleux, difficile, aléatoire, coûteux... Air Liquide Espagne a alors sollicité DTA pour fournir un liquéfacteur d'azote autonome – LNP pour *Liquid Nitrogen Plant* –, qui produit automatiquement, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, de l'azote pur à 98% à partir de l'air ambiant. «Le système filtre l'air, le comprime, l'assèche, lui fait traverser des membranes qui séparent l'azote de l'air, précise Thierry Trollier, responsable du pôle Cryocoolers et Cryostats. L'air enrichi en azote est alors acheminé vers un refroidisseur cryogénique. Ainsi, une fois liquéfié, l'azote est stocké dans un réservoir isolant – un dewar – de 160 L, soit une capacité de trois jours d'utilisation pour refroidir les capteurs de l'observatoire.»

Après cette première expérience, le liquéfacteur autonome de DTA a séduit de nouveaux clients. Un exemple : «Nous venons de livrer à Pointe-à-Pitre en Guadeloupe un LNP d'une capacité de 60 litres par jour pour alimenter en azote liquide les dermatologues et le centre hospitalier de l'île, affirme Thierry Trollier. Les champs d'applications sont extrêmement vastes et les demandes nombreuses.»



Le LNP comporte notamment un refroidisseur cryogénique de technologie Gifford-MacMahon produit par la société CRYOMECH (Syracuse, New York).

Pure-aC™, au service des procédés de semi-conducteurs nouvelle génération



Le Pure-aC™, un épurateur d'acétylène fiable, sûr et breveté.

Le leader mondial des équipementiers électroniques, Applied Materials, vient de lancer une nouvelle génération de machines de dépôt pour semi-conducteurs, fonctionnant avec de l'acétylène. L'acétylène est un composé hautement inflammable et très instable, à moins de le dissoudre dans un solvant comme l'acétone. Or, ce solvant, retrouvé dans la distribution de l'acétylène, est néfaste pour les procédés semi-conducteurs. «Nous avons donc été contactés par Applied Materials, indique Régis Zils, responsable du projet, pour concevoir un épurateur d'acétylène capable d'éliminer l'acétone et de délivrer un gaz suffisamment pur. En nous appuyant sur les compétences du Groupe Air Liquide, nous avons développé un épurateur fiable et sûr, que nous avons breveté : Pure-aC™.»

Le premier épurateur d'acétylène, sorti des ateliers de DTA, a été livré chez Applied Materials, à Santa Clara,

dans la Silicon Valley aux États-Unis. D'ici à 2010, l'équipementier a d'ores et déjà prévu de vendre 30 à 50 machines de dépôt à l'acétylène, dans le monde entier. Et pour chacune de ces machines, Applied Materials préconisera l'utilisation exclusive du Pure-aC™.

Autonomie illimitée en oxygène pour les hôpitaux de campagne

DTA a signé un contrat avec le Service de Santé des Armées (SSA), en vue de développer et de fournir sept modules de production d'oxygène pour les hôpitaux de campagne de l'armée française. L'objectif est de se libérer d'une logistique complexe liée au stockage et au transport de bouteilles d'oxygène classiques.

«Le premier module, prévu pour être livré en août 2009, est un prototype, explique Régis d'Hérouville, responsable du programme.

Il subira toute une série de tests (température, altitude, condition de transport extrême...) pour garantir sa robustesse et sa fiabilité dans tout type d'environnement.»

Ces modules, aujourd'hui en cours de conception à DTA, exploitent la technologie de génération d'oxygène utilisée dans l'aéronautique. Ils sont intégrés en conteneur pour pouvoir s'insérer dans les chaînes logistiques standard du Service de Santé.

En fournissant une autonomie illimitée et une qualité garantie en oxygène, ces modules permettront d'assurer l'alimentation des hôpitaux de campagne.



Exemple de groupement médicochirurgical déployé par le Service de Santé des Armées.

MESMA : 1, 2, 3, testés

«En 2007, nous avons livré à la DCNS* un sous-système d'alimentation en oxygène (SSA-O₂) pour faire tourner le système de propulsion MESMA** d'un sous-marin pakistanais, et apporter l'oxygène nécessaire à la respiration de l'équipage, rappelle Jean-Marie Gaillard, responsable "Produits Marine" (voir *Le Cryoscope* n° 37 p. 2). En 2008, nous avons réalisé les tests de qualification en oxygène d'un deuxième SSA-O₂. Un troisième entre aujourd'hui en essais.»

Les tests du SSA-O₂ N° 2 ont été réalisés au centre d'essais cryogéniques de DTA, en sécurité, considérant les 22 m³ d'oxygène manipulés. Pilotés à distance dans un bunker pour protéger les opérateurs, les essais ont été effectués dans un local réservé, sur un banc d'essai dédié, de manière à simuler les conditions réelles d'utilisation du SSA-O₂ dans le sous-marin.

«La batterie de tests réalisés durant deux mois sur le sous-système d'alimentation en oxygène est complète, détaille Samuel Trompezinski, ingénieur essais. Tests des séquences de remplissage en oxygène liquide, tests de performances des pompes cryogéniques en conditions réelles, vérification des performances thermiques, contrôle des sécurités actives et passives, tests fonctionnels de l'alimentation en air respirable, essais d'épuisement du réservoir...» Les performances attendues ont été au rendez-vous. «Nous avons conclu cette seconde batterie de tests en vidangeant l'ensemble du système de tout son oxygène pour inerte le réservoir avec de l'azote. Ainsi, le système peut rejoindre son port d'attache de la DCNS à Cherbourg, en toute sécurité.»

*DCNS (Direction des constructions navales systèmes) est le constructeur français de systèmes navals de défense.

**Le MESMA est un système de propulsion anaérobie qui produit l'électricité du sous-marin pour plus d'autonomie en plongée.



Au départ de DTA, le 2^e sous-système d'alimentation en oxygène du MESMA.



Catherine Candela, Directeur de DTA et Pascale Dauguet, récompensent la meilleure publication sur l'ICEC.

« DTA cryogenic award »

À l'occasion du 100^e anniversaire de la liquéfaction d'hélium au Congrès ICEC (International Cryogenic Engineering Conference) à Séoul (du 21 au 25 juillet 2008), Alain Ravex, directeur Technologies et Innovations, et Pascale Dauguet, responsable Marché Scientifique, ont sélectionné pour DTA le prix de la meilleure communication présentée lors de l'événement. «Pas moins de 120 publications nous sont parvenues, rapporte Pascale Dauguet, toutes d'excellente qualité. Notre choix s'est finalement porté sur la contribution de l'équipe qui conçoit le système cryogénique d'ITER*. Nous avons en effet voulu récompenser l'innovation et souligner la vision macroscopique qu'offre cette publication.»

*«Conceptual Design of the Cryogenic System for ITER» par Luigi Serio, Michel Chalifour, Vladimir Kalinin, Denis Henry (ITER Cadarache), Manel Sanmarti (Fusion for Energy, Barcelone, Espagne), Biswanath Sarkar (ITER India, Bhat, Gandhinagar).

Démarrage parfait pour le réfrigérateur du SSRF!

Opération réussie : l'HELIAL 2000 fourni par DTA pour l'accélérateur de particules chinois Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) tient ses promesses.

Le réfrigérateur, qui vient d'être démarré, a en effet satisfait les exigences du client de DTA par sa robustesse et sa souplesse d'exploitation, assurant deux fonctions au sein du synchrotron. En refroidissant à 4,5 K avec une puissance froide de 650 W, il permet de «mettre en froid» les cavités résonantes supraconductrices et de fournir la puissance froide nécessaire pour réaliser les expériences scientifiques.

«Avec cet HELIAL 2000, note Simon Crispel, ingénieur projet, nous avons fourni un dewar* de 2000 litres, une ligne de transfert et de distribution cryogénique, trois compresseurs pour alimenter la boîte froide, un système de déshuilage, un analyseur de gaz, etc. Tout a été livré d'un seul tenant! Nous avons aussi assisté le client pour le montage de l'installation et pour assurer son démarrage.»



Pierre Roux et les clients du SSRF.

Afin de travailler pour le synchrotron chinois, la Division des Techniques Avancées a su adapter l'organisation de son travail. Ainsi, en réponse aux réglementations sur les appareils sous pression (AQSIQ), DTA s'est associée à un prestataire, qui possédait la certification chinoise. «Avec ce nouveau fournisseur, raconte Pierre Roux, responsable du projet, tout s'est très bien passé. Et en Chine, la médiation réalisée par Liu Shuang, de Advanced Technologies China, a facilité les négociations et la phase de démarrage.»

*Réservoir de stockage isolant

SUPRACONDUCTIVITÉ

La cryogénie au service du transport de l'électricité

À l'image du projet LIPA, le système de réfrigération et de distribution d'azote liquide développé par Air Liquide DTA intéresse de nombreux industriels du marché du transport de l'énergie électrique par câble supraconducteur.

On dit d'un matériau conducteur électrique qu'il devient supraconducteur quand, au-dessous d'une température critique de transition, sa résistance électrique devient nulle. Il est alors possible de transporter des courants électriques très importants, et ce sans dissipation d'énergie. Évidemment, pour éviter l'échauffement du conducteur, il faut maintenir le câble à une température de l'ordre de 70 à 80 K, soit environ $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Leader mondial de la cryogénie et disposant à Sassenage d'une expertise en très basses températures⁽¹⁾, Air Liquide a été sollicité pour être associé à la construction de ce qui, à ce jour, est le câble supraconducteur le plus long et le plus puissant du monde... En juin 2008, ce dernier a été raccordé au réseau commercial de transport d'électricité d'Holbrook (New York) par LIPA – *Long Island Power Authority* – et American Superconductor.

Première à long Island!

Le projet LIPA avait pour but de faire la démonstration de l'exploitation d'un câble supraconducteur haute tension sur un

En juin 2008, à Long Island (New York), pour la première fois au monde un câble supraconducteur de transport électrique haute tension a été intégré à un réseau de transport électrique. Le réfrigérateur AL DTA est situé près de la station qui permet de raccorder le réseau résistif aérien au réseau supraconducteur.



Le cryostat 20 kVA livré à Budapest est en matériau composite (verre époxy). Un second de 100 kVA sera bientôt réalisé.

CHIFFRES CLÉS

Le câble long de 600 m peut alimenter jusqu'à 300 000 foyers en électricité.

Il transporte jusqu'à 2400 ampères, soit une puissance de 574 millions de volts ampères sous une tension de 138 kV.

Puissance du réfrigérateur Air Liquide : 6 kW à 65K et 17 bar. Air Liquide DTA a également livré et installé six cryostats de terminaison assurant la liaison entre le réseau résistif et le câble supraconducteur.

réseau de transport d'électricité. Pour mesurer l'importance du projet, il faut noter que ce câble véhicule davantage d'énergie que l'ensemble des précédents câbles de démonstration HTS (supraconducteur haute température) réunis. Sur le marché américain, dans les grandes agglomérations où les réseaux arrivent parfois à saturation, cette démonstration ouvre d'heureuses perspectives pour les différents partenaires du projet⁽²⁾. En effet, afin de délester le réseau électrique, les câbles supraconducteurs peuvent être placés en lieu et place des câbles traditionnels ou des lignes aériennes. Quatre fois plus d'énergie pour une même section de câble! Cela permet d'augmenter de façon significative la puissance électrique distribuée par voie souterraine.

Son faible impact en matière de travaux publics rend cette technologie particulièrement adaptée aux zones urbaines. D'ailleurs, satisfaits des résultats obtenus, les partenaires du projet LIPA s'attèlent à concevoir et réaliser une installation plus puissante (lire l'encadré). Du côté européen, un projet similaire est à l'étude en Allemagne. Pour l'heure, des financements ont été accordés pour réaliser un câble supraconducteur prototype, d'une longueur de 30 m, à Bilbao⁽³⁾, mais il ne sera raccordé à aucun réseau de distribution. Pour ce projet nommé Super 3C, DTA a livré en 2007 un réfrigérateur d'une puissance de 1,5 kW.

Sécurité

À Budapest, un autre projet européen – Slimformer – retient l'attention de DTA en matière de supraconductivité⁽⁴⁾. Là, il ne s'agit plus de tenir au froid un câble supraconducteur mais de concevoir et réaliser un limiteur de courant de défaut (Fault Current Limiter) dans un poste de transformation contenant des parties résistives et d'autres supraconductrices. Ainsi, en cas de court-circuit, puisque l'énergie électrique passe dans les bobines supraconductrices, ces dernières perdront leur qualité « supra » et agiront alors comme des interrupteurs de sécurité. DTA doit concevoir et réaliser les cryostats qui auront pour tâche de contenir les bobines mais, compte tenu de leur environnement, elles ne doivent comporter aucune pièce métallique. Un prototype de 20 kVA en matériau composite a donné entière



À Bilbao, Air Liquide DTA a livré un réfrigérateur permettant de refroidir le câble Super 3C, ici visible en atelier avec deux cryostats à ses deux extrémités.

satisfaction. Un second cryostat de 100 kVA doit bientôt être réalisé.

Comme le montrent tous ces projets, la réfrigération cryogénique est essentielle à la mise en œuvre de la supraconductivité. Air Liquide DTA développe des solutions technologiques innovantes qui permettront demain son déploiement à une échelle industrielle.

Contacts :
fabien.durand@airliquide.com

(1) Un exemple : la fourniture d'hélium liquide pour les cavités supraconductrices du LHC au CERN.

(2) Le projet inclut le ministère américain de l'Énergie (DOE), Nexans, leader mondial de l'industrie du câble, et AMSC (American Super Conductor, Boston).

(3) Avec Air Liquide, ce projet rassemble Nexans, EHTS, EON du côté allemand, Labein et ICMAB du côté espagnol.

(4) Avec Air Liquide, ce projet rassemble Nexans, EHTS, Areva UK, Ganz et Budapest University of Technology & Economics.

LIPA 2 : à suivre...

Le câble prévu mesurant 10 km, le projet LIPA 2 sera de plus grande ampleur... À la demande du DOE, il s'agit cette fois d'industrialiser le système de réfrigération conçu jusqu'à présent pour le monde de la recherche.

Les objectifs sont de diminuer le coût, la consommation électrique, la maintenance... également de rendre le système plus simple, plus fiable, mais aussi d'augmenter sa durée de vie. Cela implique un saut technologique.

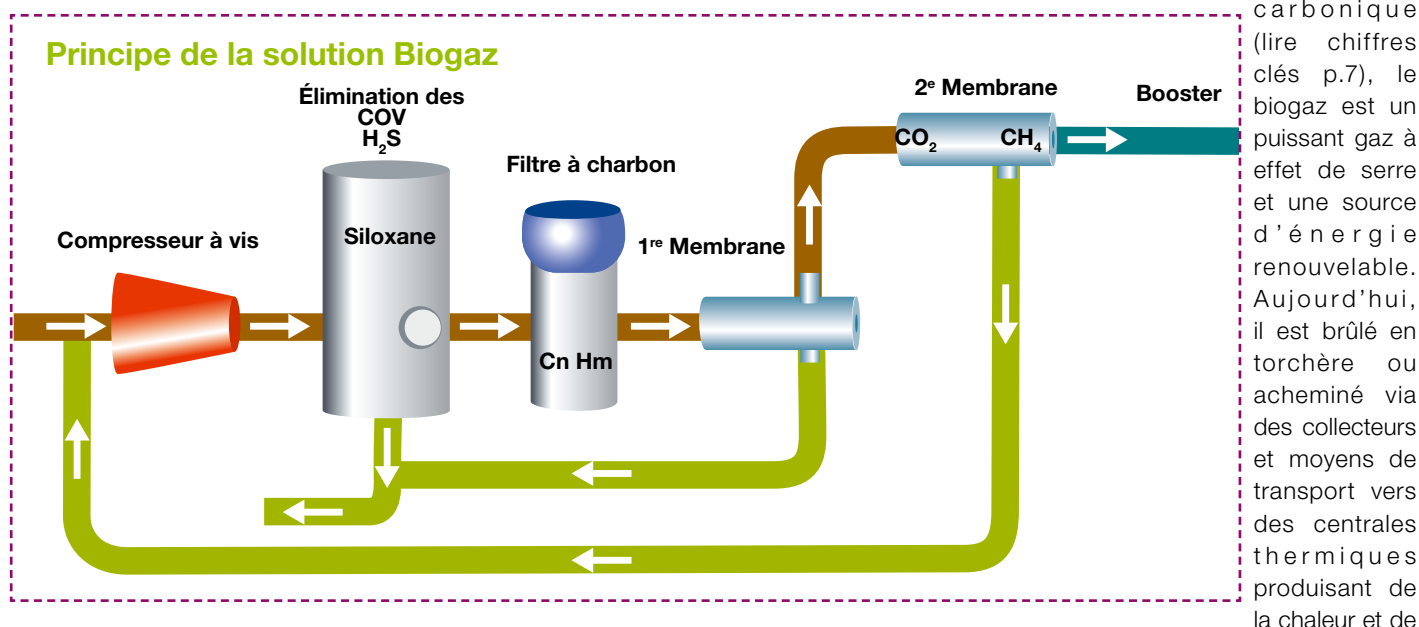
L'idée est de supprimer tout frottement et l'usage d'huile. En lieu et place du compresseur à vis lubrifiée, un compresseur centrifuge sera monté sur paliers magnétiques et entraîné par un moteur électrique haute vitesse. Le gaz comprimé transitera dans la « boîte froide » puis, pour obtenir le froid, sera détendu dans une turbine cryogénique centripète. L'éternel cycle de Brayton en version turbo! « C'est le même principe qu'un réacteur d'avion! » résume en quelques mots Fabien Durand. À suivre, donc.

BIOMÉTHANE

De l'énergie dans nos déchets

Air Liquide DTA développe une solution industrielle visant à épurer le biogaz provenant des centres d'enfouissement technique ou des unités de méthanisation. L'objectif est d'obtenir un méthane enrichi et valorisable dans le respect des critères du développement durable.

Le biogaz provient de la dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène (fermentation anaérobie). Ce phénomène naturel est observé dans les marais ou les décharges d'ordures ménagères. Il peut aussi être contrôlé dans les unités de méthanisation alimentées en déchets organiques. Constitué principalement de méthane et de gaz



Un marché prometteur

Aux États-Unis, grâce au rôle joué par sa filiale Medal* depuis deux ans, Air Liquide dispose sur place de dix installations opérationnelles et de trois autres en cours de construction. Sensible au développement durable, le marché européen ne tardera pas à suivre. D'ores et déjà, en particulier dans les pays du nord, les équipes commerciales de DTA sont en contact avec de nombreux centres d'enfouissement techniques, des digesteurs, des méthaniseurs, et même des collectivités territoriales ou des constructeurs de véhicules utilisant le méthane comme carburant.

Notre démarche vise à leur apporter une solution satisfaisant des critères environnementaux de plus en plus exigeants. Dans un contexte irréversible de hausse du prix de l'énergie, et de dépendance aux importations d'énergies fossiles, ses avantages sont indéniables : une technologie simple et robuste permettant d'obtenir un biométhane enrichi à 99 %, avec des coûts d'exploitation faibles... Et aussi l'assurance de mettre en place un circuit de valorisation des déchets ne générant lui-même aucun sous produit dommageable pour l'environnement.

l'électricité. Dans un contexte de raréfaction des énergies fossiles, sous réserve d'épuration et d'enrichissement, le biogaz voit s'ouvrir à lui de nouveaux horizons. On estime ainsi pour un pays comme la France – importateur de gaz à plus de 90 % – que le biogaz pourrait à terme couvrir 10 % de la consommation nationale.

Du biogaz au biométhane

En associant plusieurs briques technologiques, Air Liquide élabore une solution globale intégrant toutes les étapes à franchir entre la collecte du biogaz et la compression ou la liquéfaction du biométhane. Avant que ne débute l'épuration, la première étape consiste à comprimer le biogaz acheminé à pression atmosphérique. Pour ce faire, Air Liquide propose de mettre en



À gauche : le système de membranes bi-étagé permettant l'élimination du gaz carbonique. Au centre : le module PSA (Pressure Swing Adsorption). À droite, les deux colonnes de charbon actif permettant l'élimination des COV, des siloxanes et des hydrocarbures.

œuvre des compresseurs à vis lubrifiée, une technologie éprouvée. La seconde étape vise à débarrasser le biogaz des composants corrosifs que sont le sulfure d'hydrogène et les composés organiques volatils (COV). Là, les technologies sollicitées sont le PSA (Pressure Swing Adsorption) et le piégeage sur charbon actif. L'étape suivante consiste à séparer les deux principaux composants du biogaz : le méthane et le gaz carbonique. Pour cela, Medal* a mis au point un procédé innovant basé sur l'utilisation de membranes polymères. Air Liquide dispose d'un brevet pour le système « *methane recovery process* » qu'il a conçu.

Si le biogaz est produit par un procédé anaérobie (unité de méthanisation), le biométhane est alors quasiment pur. En revanche – dans le cas des centres d'enfouissement – si le biogaz est aspiré, il contient encore de l'azote et de l'oxygène. Afin de les dissocier du méthane, le fluide passe alors dans une colonne de distillation. Enfin, la dernière étape varie selon le schéma de valorisation spécifié par le client. Un étage de compression peut permettre d'alimenter un réseau de pipelines ou une station de remplissage pour véhicules. La seconde option est la

liquéfaction ayant pour but de stocker le biométhane sous forme de Gaz Naturel Liquide. Pour cela, Air Liquide met en œuvre une technologie couramment utilisée à DTA, notamment pour des applications hydrogène et hélium : le cycle de Brayton.

Une solution industrielle

Développées sur des prototypes et des applications où la masse de gaz à traiter était relativement faible, ces technologies sont aujourd'hui associées à une échelle industrielle. Grâce à un système modulaire et évolutif, DTA couvre des besoins allant de 100 à 10000 m³ de biogaz traités en une heure. Medal a déjà réalisé d'importantes unités industrielles : à Johnstown (Pennsylvanie), l'équipement de Keystone Renewable Energy (32 puits d'extraction) a une capacité de 3600 m³/h, alors que celle d'Energy System Group situé à Johnson City (Tennessee) est de 4100 m³/h. Outre la fiabilité des technologies et le fait qu'aucune intervention manuelle n'est requise – l'interface homme-machine permet un pilotage aisé de l'équipement – le coût opérationnel est avantageux. En effet, grâce à la réduction du nombre de machines tournantes et la limitation d'effluents polluants, la maintenance est minime : elle concerne

CHIFFRES CLÉS

Exemple de composition du biogaz issu d'un CET

42 % de méthane, 38 % de gaz carbonique, 13 % d'azote, 4 % d'eau, 3 % d'oxygène et quelques mg/Nm³ de sulfure d'hydrogène, de Composés Organiques Volatils siloxanes et de COV totaux.

Équivalence puissance

1 m³ de méthane équivaut à 8570 kcal, soit 0,94 m³ de gaz naturel, 1,15 litre essence, 1,7 litre d'alcool à brûler, 1 litre de mazout, 1,3 kg de charbon et 9,7 kW/h d'électricité.

essentiellement le compresseur placé en début de chaîne...

Contact :
yannick.rouaud@airliquide.com

*Medal est une société du Groupe, intégrée à Alatus (Air Liquide Advanced Technologies United States).

A400M : vol autorisé pour l'OBOGS!

Après des mois d'essais, le système de génération autonome d'air enrichi en oxygène (OBOGS*) d'Air Liquide DTA vient d'obtenir un précieux passeport : son autorisation de vol dans le futur avion militaire de transport stratégique européen d'Airbus, l'A400M. Jean-Michel Cazenave, expert Air Liquide, présente les différentes étapes qui ont abouti à cette réussite.

Avant toute chose, parlez-nous de l'A400M. Quelles sont les particularités de ce nouvel avion de transport militaire ?

Conçu à la fin des années 1990 par Airbus Military Company, l'A400M a été présenté officiellement le 26 juin 2008. C'est un avion militaire très polyvalent, destiné à la fois au transport de troupes et aux missions d'évacuation sanitaire, de ravitaillement en vol ou de bases isolées. Il a été le premier d'un carnet de commandes de 192 exemplaires, pour les armées de sept pays membres de l'Union européenne (Allemagne, Angleterre, Espagne, Belgique, France et Luxembourg), de l'OTAN (Turquie) et pour deux nations hors Europe (Afrique du Sud et Malaisie). La livraison doit démarrer à partir de 2010.

Mais avant cela, l'A400M va effectuer son premier vol fin 2008. C'est précisément pour cet essai en conditions réelles que notre OBOGS a reçu son autorisation de vol.

Comment avez-vous intégré le programme A400M ?

C'est à Noël 2004 que notre OBOGS a été choisi par Airbus. Beau cadeau ! Pour ce nouveau développement, nous avons exploité notre expérience acquise dans le cadre des programmes du Rafale et de l'A380. Néanmoins, le générateur d'oxygène de l'A400M est réellement spécifique. En particulier, prévu pour couvrir les besoins en oxygène de cinq à sept membres d'équipage, l'OBOGS est deux fois plus gros que celui des avions de chasse (pour les deux pilotes) et trois

fois plus petit que celui de l'A380 (pour 200 passagers). Mais surtout, il est équipé d'une solution technique très élaborée, avec un contrôle par électronique digitale, des composants programmables, une surveillance en continu... Mieux : le système possède une vanne de régulation de débit en sortie, qui permet de gérer la sélection automatique du mode de fourniture d'oxygène – bouteilles ou OBOGS – sans risquer une rupture d'alimentation. C'est très sécurisant !

Quels types d'essais a subi l'OBOGS, avant de recevoir son « bon de vol » ?

Trois OBOGS ont fait l'objet d'une batterie complète de tests exigés par Airbus pour sécuriser les vols de l'A400M. Nous avons fourni un quatrième OBOGS directement à l'avionneur, pour les essais de qualification réalisés sur ses propres bancs.

À Sassenage et dans des laboratoires spécialisés, nous avons ainsi démontré que nos OBOGS atteignent bien les performances annoncées, aussi bien à basses températures (-15 °C) qu'à températures élevées (+70 °C), qu'ils supportent les sollicitations les plus extrêmes en matière de vibrations (sachant que l'A400M est motorisé par quatre turbopropulseurs et que les générateurs d'oxygène sont installés à proximité des hélices), qu'ils sont compatibles avec le réseau électrique et les autres équipements (radars par exemple) de l'avion et qu'ils ne génèrent pas de perturbations électromagnétiques... Nous sommes allés même plus loin, en réalisant des tests d'accélération et de tenue aux crashes. Également en recherchant les limites de notre matériel. Ainsi, en démontrant que notre OBOGS permet de garantir la sécurité des vols de l'A400M, nous avons acquis la confiance d'Airbus.

*On Board Oxygen Generating System.

Contact :
jean-michel.cazenave@airliquide.com



Jean-Michel Cazenave et son équipe ont passé toutes les épreuves pour obtenir le « bon de vol » de l'OBOGS.