



AIR LIQUIDE ET ITER

QUAND LES EXPERTS DE LA CRYOGÉNIE FUSIONNENT LEURS ENERGIES



ITER, UN PROJET UNIQUE

Vers une énergie plus propre, sûre et sans limite

Maîtriser sur Terre la fusion ouvrirait la voie à des ressources en énergie illimitées. La fusion contrôlée est en effet l'une des pistes les plus prometteuses en matière d'énergie décarbonée. C'est précisément l'objectif du projet ITER¹, afin de démontrer que la fusion est susceptible de devenir une source d'énergie à l'horizon 2050. Une énergie maîtrisable, sûre, durable, inépuisable. Ce projet entend ainsi répondre au challenge de la demande énergétique mondiale : deux fois plus d'énergie d'ici 2050, compte-tenu de la croissance de la population, mais avec deux fois moins d'émission de gaz à effet de serre, afin de limiter les impacts sur l'environnement et le climat.

Le plus grand tokamak au monde

ITER est un équipement de recherche, destiné à démontrer qu'un réacteur de fusion peut produire dix fois plus d'électricité qu'il n'en consomme. Dans cette perspective, l'organisation ITER construit un réacteur expérimental (ou tokamak) à Cadarache, dans le Sud de la France, qui explorera les paramètres de la fusion. Ce sera le plus grand tokamak au monde : une chambre torique de confinement magnétique de 840 m³. Plus un réacteur est grand, plus il est facile d'atteindre les températures supérieures à 100 millions de degrés centigrade auxquelles se produisent les réactions de fusion. C'est un pari fantastique auquel la Chine, la Corée du Sud, les États-Unis, l'Inde, le Japon, la Russie et l'Union européenne participent.

1 : International Thermonuclear Experimental Reactor

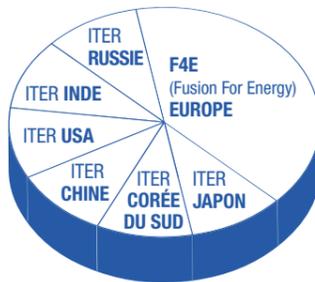
SEPT PARTENAIRES INTERNATIONAUX

L'ampleur du défi scientifique, technique et organisationnel, comme l'importance des moyens déployés dans le cadre d'ITER, ont conduit la communauté scientifique à unir leurs finances, leurs expertises et leurs recherches. Sept pays sont ainsi devenu partenaires dans le cadre d'ITER, en se répartissant les tâches.

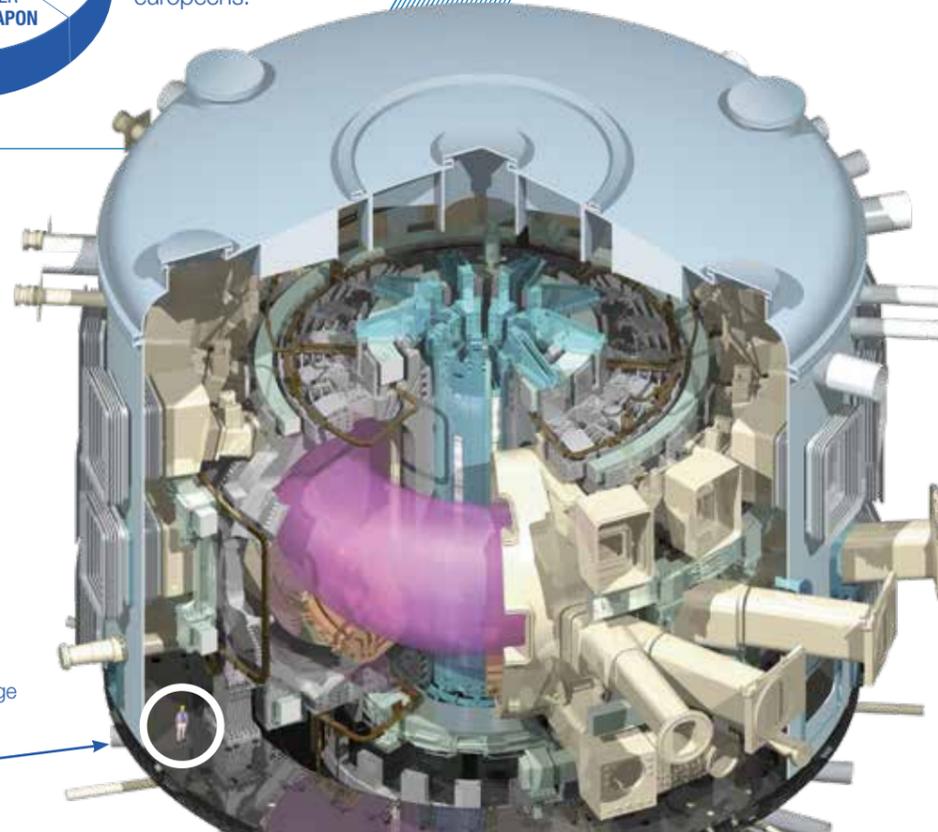


ITER Organization (IO) est une organisation créée à partir d'un traité international, conclu entre les sept membres d'ITER le 21 novembre 2006 à Paris. Elle a conçu le tokamak ITER et en assurera l'installation et l'exploitation. Dirigée par un délégué général et quatre représentants des pays, elle emploie plusieurs centaines de personnes issues d'une trentaine de nationalités.

Chaque nation membre d'ITER pilote par ailleurs une agence nationale, pour la gestion du planning, des budgets, de la fabrication des différents éléments d'ITER... et pour le respect des engagements de chacun. Quant à l'Europe, elle a sa propre agence, F4E, qui fédère les travaux et engagements des pays européens.

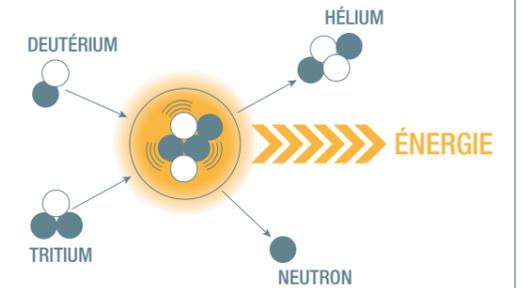


Vue éclatée du tokamak ITER, où l'on voit le plasma en forme d'anneau, à l'intérieur de la chambre à vide. La silhouette du personnage à gauche au pied de la machine donne une idée de sa taille.



LA FUSION, UNE RÉACTION NATURELLE DANS LE SOLEIL ET LES ÉTOILES

La fusion se produit naturellement au cœur du soleil et des étoiles. C'est l'assemblage de noyaux légers à des températures de plusieurs millions de degrés, pour donner naissance à des noyaux plus lourds. Sur Terre, la fusion est réalisée à partir d'isotopes de l'hydrogène - le deutérium et le tritium - qui fusionnent pour former un plasma. Cette réaction produit de l'hélium et libère des neutrons. Elle s'accompagne d'une libération d'énergie considérable et, surtout, elle génère peu de déchets et écarte tout risque d'emballement de la réaction nucléaire.



POURQUOI LA CRYOGÉNIE ?

Sans la cryogénie, les besoins en énergie seraient colossaux

840 M³
DE VOLUME DE
PLASMA
// OU MATIÈRE
D'ÉTOILES //
DANS LE TOKAMAK

500 MW
D'ÉNERGIE
DEVRAIENT ÊTRE
PRODUITS À TERME
PAR ITER

10 FOIS
LA TEMPÉRATURE
AU CŒUR
DU SOLEIL, OU
150 MILLIONS °C,
SERONT ATTEINTS
DANS LE TOKAMAK

Contrôler le confinement du plasma de fusion dans le tokamak est une opération complexe. Pour y parvenir, des bobines d'électroaimants sont utilisées pour créer des champs magnétiques 50 000 fois plus intenses que le champ magnétique terrestre ! Une telle intensité nécessite des quantités d'énergie colossales, à moins d'exploiter les propriétés supraconductrices de certains matériaux, qui n'opposent aucune résistance au courant électrique... à extrêmement basse température.

Les aimants d'ITER seront donc fabriqués avec des matériaux supraconducteurs refroidis par circulation d'hélium supercritique à la température de 4,5 K (-269°C). Ils seront installés dans un immense cryostat*, avec un bouclier thermique refroidi par un flux d'hélium à 80 K (-193°C).

* Un cryostat est un réservoir permettant de stocker un gaz liquéfié à des températures cryogéniques, grâce à une isolation sous-vide.

73 MÈTRES,
C'EST LA
HAUTEUR TOTALE
DU TOKAMAK :
ENCORE PLUS
HAUT QUE L'ARC
DE TRIOMPHE À
PARIS

80 000 KM
DE FILS SUPRA-
CONDUCTEURS
SERONT
NÉCESSAIRES
POUR LES
AIMANTS
DU TORE D'ITER

AIR LIQUIDE, L'EXPERT DE LA CRYOGÉNIE



AIR LIQUIDE DISPOSE D'UNE EXPERTISE UNIQUE AU MONDE DANS LE DOMAINE DES TEMPÉRATURES EXTRÊMES. ITER A CHOISI NOTRE GROUPE POUR SON SAVOIR-FAIRE DANS LA MISE EN ŒUVRE DES SYSTÈMES DE LIQUÉFACTION ET RÉFRIGÉRATION DE GAZ DE GRANDES CAPACITÉS.



Pour ITER, nous fournissons le plus grand système de réfrigération cryogénique centralisé jamais construit, comprenant trois unités de réfrigération d'hélium, deux unités de réfrigération azote et 1,6 kilomètres de lignes cryogéniques. Les missions de conception, de fabrication et de supervision des installations seront assurées par les équipes d'Air Liquide Global Markets & Technologies (GM&T) et d'Engineering & Construction (E&C).

Suzanne Roy,
Vice-Présidente
Programme ITER
chez Air Liquide



Une expertise unique en cryogénie

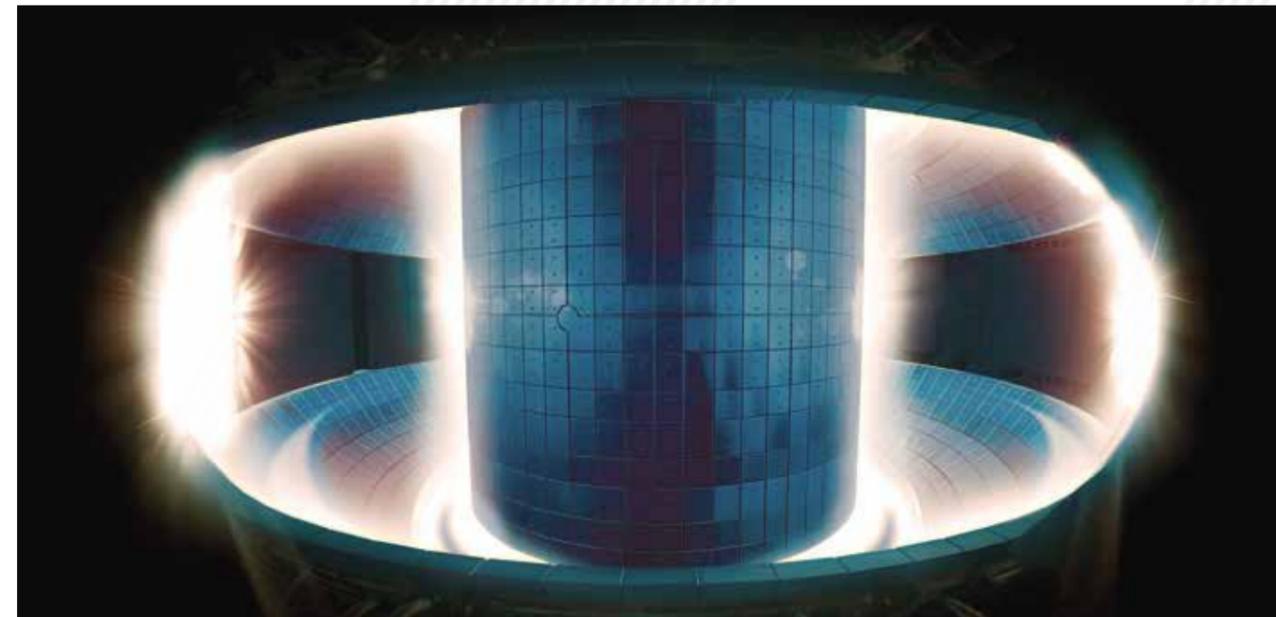
Nombreux sont les grands projets de liquéfaction et de réfrigération auxquels Air Liquide a participé. Quelques exemples suffisent à démontrer la maîtrise des équipes dans le secteur des basses températures.



Le Groupe a contribué aux équipements cryogéniques du **CERN, le plus grand laboratoire de physique des particules au monde**, situé entre la France et la Suisse. Pour maintenir les 1 700 aimants supraconducteurs du gigantesque accélérateur de particules LHC à une température de 1,9 K (- 271 °C), Air Liquide a conçu, fabriqué et testé des systèmes de réfrigération et de distribution d'hélium alors inédits. Ces équipements cryogéniques aux dimensions gigantesques ont été répartis sur 27 km. Un extraordinaire défi pour Air Liquide !



Plus récemment, les équipes d'Air Liquide GM&T et E&C ont collaboré étroitement pour concevoir et construire **la plus grande unité de purification et de liquéfaction d'hélium au monde** à partir d'une source de gaz naturel, sur le site de Ras Laffan, au Qatar. Les turbines fabriquées pour ces équipements sont les machines les plus puissantes jamais réalisées pour liquéfier de l'hélium.



Équiper les plus grands projets de fusion

Depuis 25 ans, Air Liquide a développé un savoir-faire spécifique afin de fournir des équipements cryogéniques sur-mesure destinés aux plus grands projets de fusion nucléaire : Tore Supra en France, JET en Grande-Bretagne, SST-1 en Inde, KSTAR en Corée du Sud et, dans le cadre d'ITER, JT-60SA au Japon.

Tore Supra est l'un des plus grands tokamaks au monde, exploité à Cadarache, pour lequel Air Liquide a réalisé et mis en service un système de liquéfaction et de distribution d'hélium. C'est ici que les premiers plasmas de longue durée ont été obtenus dès 2003.

Pour le projet **KSTAR**, en Corée du Sud, Air Liquide a fabriqué et installé le système de liquéfaction et de distribution d'hélium destiné au refroidissement des aimants supraconducteurs du réacteur, à une température proche du zéro absolu, soit -273°C.

Le réacteur **JT-60SA**, est conçu pour optimiser le mode de génération du plasma pour le démonstrateur ITER et le réacteur industriel DEMO. C'est le fruit d'une collaboration entre l'Europe et le Japon dans le cadre d'un projet annexe d'ITER. Dans ce cadre, Air Liquide fournit une usine cryogénique clé-en-main. Le système destiné à JT-60SA est installé à Naka, au Japon, par les équipes d'Air Liquide GM&T et d'Air Liquide Engineering Japan.



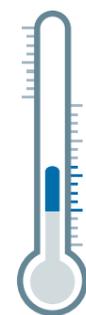
PLUS DE
200
COLLABORATEURS



ASSURÉES PAR AIR LIQUIDE



POIDS TOTAL DES 3 BOÎTES
FROIDES DE L'USINE HÉLIUM



TEMPÉRATURES
DES FLUIDES
PROCESS DISTRIBUÉS :

80 K / -193°C
4,5 K / -269°C



DES FOURNISSEURS
DANS LE MONDE ENTIER



ENVIRON **40 MW**
DE PUISSANCE
ÉLECTRIQUE CUMULÉE



POUR LES 19 LIGNES
CRYOGÉNIQUES DIFFÉRENTES

1,6 KM DE LIGNES CRYOGÉNIQUES

SYSTÈME DE PRODUCTION CRYO GÉNIQUE & DISTRIBUTION

Le système de production cryogénique

Le système de production cryogénique est composé d'unités de réfrigération d'hélium et d'azote, de larges capacités de stockage d'hélium, d'azote, et de lignes cryogéniques fournies majoritairement par Air Liquide. Cette unité permet de refroidir et de distribuer l'hélium à différentes températures cryogéniques (notamment à 4,5 K (- 269°C) et à 80 K (- 193°C), pour refroidir les éléments du tokamak.

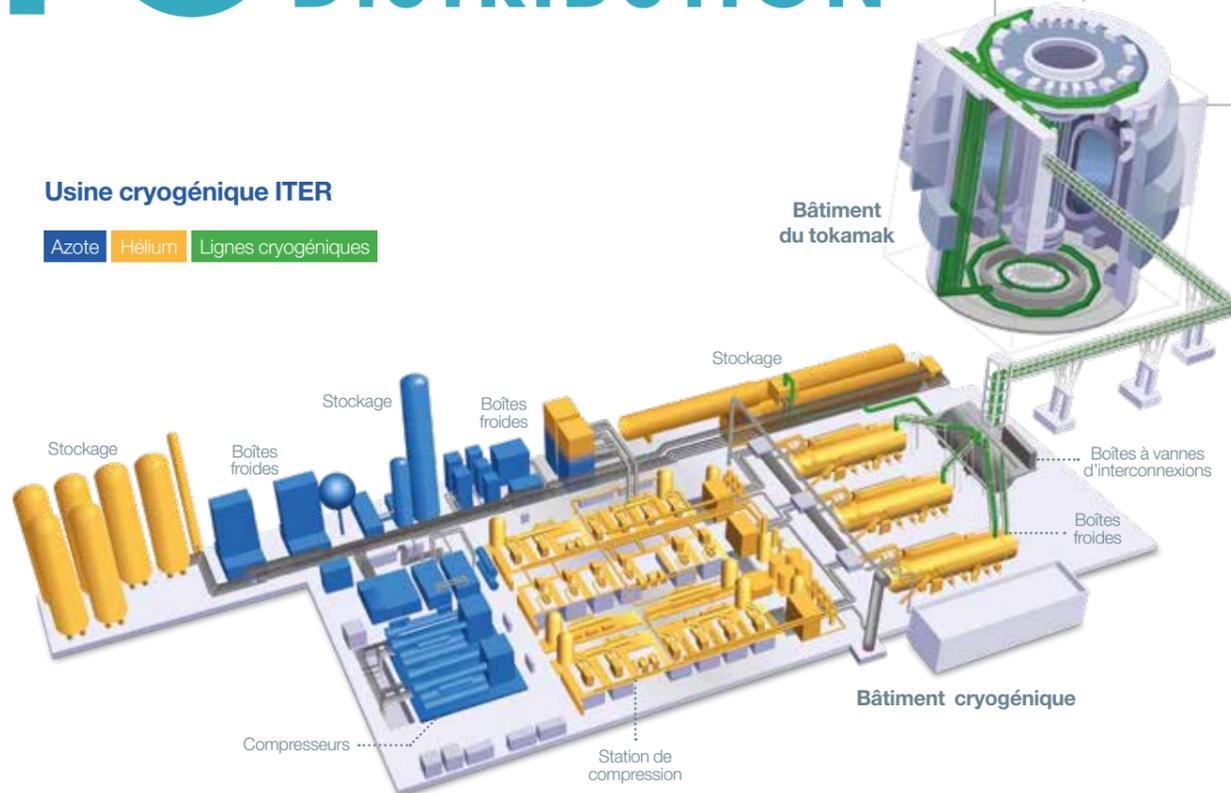
Les unités hélium

// réalisées par Air Liquide / client ITER Organization

Les unités hélium sont constituées de trois réfrigérateurs de 21 mètres de long, 4m20 de diamètre et 135 tonnes chacun, avec une capacité de réfrigération de 75 kW à 4,5 K (- 269°C). Un système de compression et de purification d'hélium complète l'ensemble.

Usine cryogénique ITER

Azote Hélium Lignes cryogéniques



Éric Dupasquier
Chef de projet pour les unités hélium d'ITER chez Air Liquide GM&T (Sassenage, France)

// **AIR LIQUIDE SE PRÉPARE POUR ITER DEPUIS 2006. CE PROJET A GUIDÉ NOS CHOIX STRATÉGIQUES, POUR ÊTRE TOUJOURS PLUS COMPÉTITIFS ET ENCORE PLUS EXPERTS.**

// Notre objectif était d'être au rendez-vous de chaque appel d'offre en lien avec la cryogénie pour ITER et nous avons réussi. ITER est un projet d'ampleur inégalée, qui nous offre l'opportunité de mettre en place des méthodes de gestion de projet inédites, avec une équipe dédiée et des ateliers aménagés pour fabriquer les colossales boîtes froides. En ce sens, ce projet est formateur.



Anaïs Philippon
Chef de projet pour les unités azote et le stockage chez Air Liquide E&C (Champigny-sur-Marne, France)

// **AIR LIQUIDE E&C ET GM&T TRAVAILLENT DE CONCERT SUR LE PROJET ITER. L'EXPÉRIENCE ACQUISE PAR AIR LIQUIDE DANS LE CADRE DE GRANDS PROJETS CRYO GÉNIQUES AU QATAR ET AU CERN, EST FONDATRICE : ELLE A SERVI À DÉFINIR LE SYSTÈME DE PRODUCTION CRYO GÉNIQUE.**

// Nous sommes bien structurés pour exécuter des projets complexes et relever les défis technologiques d'un système innovant. Nos spécialistes sont mobilisés pour concevoir un système performant thermiquement, répondant aux multiples cas de fonctionnement du démonstrateur et optimisant la récupération des gaz industriels (hélium et azote). L'installation à Cadarache de ces unités est également un challenge que nous saurons relever.

Les lignes cryogéniques

// réalisées en majorité par Air Liquide / client Iiter India

Les lignes cryogéniques sont conçues pour véhiculer l'hélium à différentes températures, proches du zéro absolu pour certaines. Leur fabrication fait appel à des procédés de haute technologie et à un design sophistiqué. Destinées à relier l'usine cryogénique au tokamak, elles représentent en cumulé un réseau de 1,6 km de long et distribueront la puissance de refroidissement nécessaire au fonctionnement de différents équipements d'ITER.

La cryodistribution

// Boîte de cryodistribution non fournie par Air Liquide / gérée par Iiter India

La distribution de l'hélium liquide se fait à par l'intermédiaire de boîtes à vannes d'interconnexions qui constitue l'interface entre l'usine de production cryogénique et le tokamak. Les lignes cryogéniques complètent ce dispositif de distribution.



Vincent Billot
Chef de projet pour les cryolignes chez Air Liquide GM&T (Sassenage, France)

// **L'EXPÉRIENCE ACQUISE GRÂCE AUX 27 KM DE LIGNES CRYO GÉNIQUES DU LHC, AU CERN, EST PRÉCIEUSE, EN PARTICULIER SUR LA SUPER-ISOLATION.**

// Les lignes d'ITER sont 10 fois moins longues mais beaucoup plus variées : on compte 19 lignes cryogéniques sous vide véhiculant de l'hélium froid à différentes températures d'alimentation, sous des pressions jusqu'à 20 bar. Sans les lignes cryogéniques, le froid ne va pas jusqu'aux aimants. Pour ITER, ces lignes sont aussi vitales que le système veineux dans le corps humain : depuis l'usine de production cryogénique (le cœur du système), elles transportent l'hélium liquide froid (le sang frais), jusqu'au tokamak (le cerveau) et rapporte l'hélium réchauffé jusqu'à l'usine, pour "boucler la boucle".

Les unités cryogéniques azote et les boucles hélium 80 K

// réalisées par Air Liquide / client Fusion for Energy

Les deux réfrigérateurs azote et les deux boîtes froides hélium 80 K (- 193°C) apportent une puissance frigorifique complémentaire aux réfrigérateurs hélium 4,5 K (- 269°C). Ces boîtes froides verticales perlitées sont une conception maîtrisée par les équipes cryogéniques d'Air Liquide E&C.

Les capacités de stockage azote et hélium

// réalisées par Air Liquide / client Fusion For Energy

D'imposants stockages assurant la récupération optimisée des différents fluides sont fournis par Air Liquide : hélium liquide et gazeux, azote liquide et gazeux. Deux stockages hélium additionnels permettent d'absorber les fluctuations importantes de débits d'hélium dans les phases de quench du tokamak.

VISION & PERSPECTIVES



En parallèle de la fabrication des équipements de l'usine cryogénique et des lignes destinées à ITER, Air Liquide propose ses expertises et solutions dans le domaine de la cryogénie et du vide, de l'ingénierie et de la fourniture des gaz, au service d'ITER et de ses partenaires.



POUR EN SAVOIR +

www.airliquide.com/fr/science/iter
www.advancedtech.airliquide.com

Autre perspective : on parle déjà de la conception de DEMO, qui ouvrira la voie à l'exploitation industrielle de la fusion. ITER, réacteur expérimental qui aura démontré la faisabilité de la fusion comme source d'énergie, sert de modèle pour construire DEMO. Déjà, chaque membre d'ITER Organization a défini les grandes lignes de ce que pourrait être DEMO. Avec l'expérience et l'expertise acquises dans le cadre d'ITER, Air Liquide est déjà prêt à relever ce nouveau challenge.



www.airliquide.com

Air Liquide est un leader mondial des gaz, technologies et services pour l'industrie et la santé. Présent dans 78 pays avec environ 64 500 collaborateurs, le Groupe sert plus de 3,8 millions de clients et de patients. Oxygène, azote et hydrogène sont des petites molécules essentielles à la vie, la matière et l'énergie. Elles incarnent le territoire scientifique d'Air Liquide et sont au cœur du métier du Groupe depuis sa création en 1902.