

La cryogénie, ou le froid au cœur des technologies avancées

Ph. Lebrun

CERN, Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
Président de la Section *Cryologie et Traitement des Gaz* de l'IIF

Cryogénie: ensemble des disciplines scientifiques et techniques ayant trait aux températures inférieures à environ 120 K

Dictionnaire International du Froid, IIF (2007)

Cryogène	Point d'ébullition normal [K]	Point critique [K]
Méthane	111.6	190.5
Oxygène	90.2	154.6
Argon	87.3	150.9
Azote	77.3	126.2
Néon	27.1	44.4
Hydrogène	20.4	33.2
Hélium	4.2	5.2

⇒ la science et la technologie des gaz liquéfiés

Valorisation, transport et distribution du gaz naturel: le GNL



Méthanier à double coque
(Gaztransport-Technigaz)

Capacité unitaire jusqu'à 265'000 m³

Cuve en Invar[®] pour GNL à ~110 K



- Une source d'énergie propre et économique
 - Un marché en forte croissance ~7 % par an
- ⇒ *présentation de Ph. Hagyard*

Liquéfaction & séparation des gaz de l'air



Unités cryogéniques de séparation d'air
Capacité jusqu'à 3900 t/jour d'oxygène

La distillation cryogénique, sans égale pour les forts tonnages requis par l'industrie de procédé: sidérurgie, chimie, carburants de synthèse, oxycombustion

⇒ *présentation de J-Y. Thonnelier*



Densification des gaz énergétiques

Ergols cryogéniques pour la propulsion spatiale

Ariane 5

25 t LH2, 130 t LOX



Space Shuttle

100 t LH2, 600 t LOX



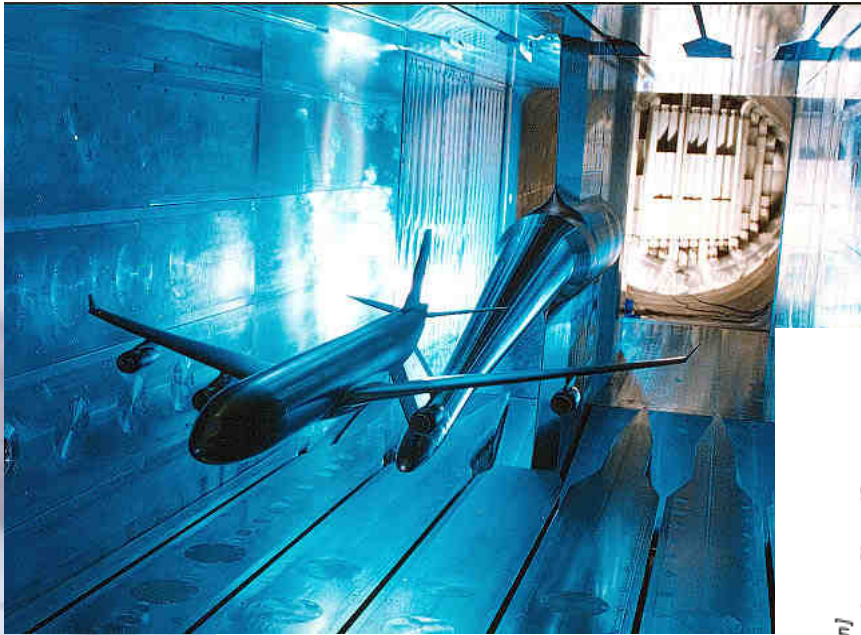
Densification des gaz énergétiques

L'hydrogène, vecteur d'énergie propre



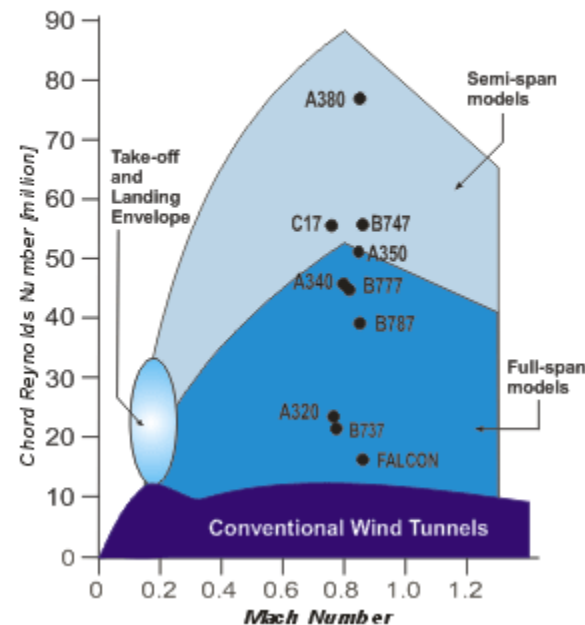
Des fluides aux propriétés particulières

Soufflerie cryogénique trans-sonique permettant de conserver simultanément Re et Ma sur maquette

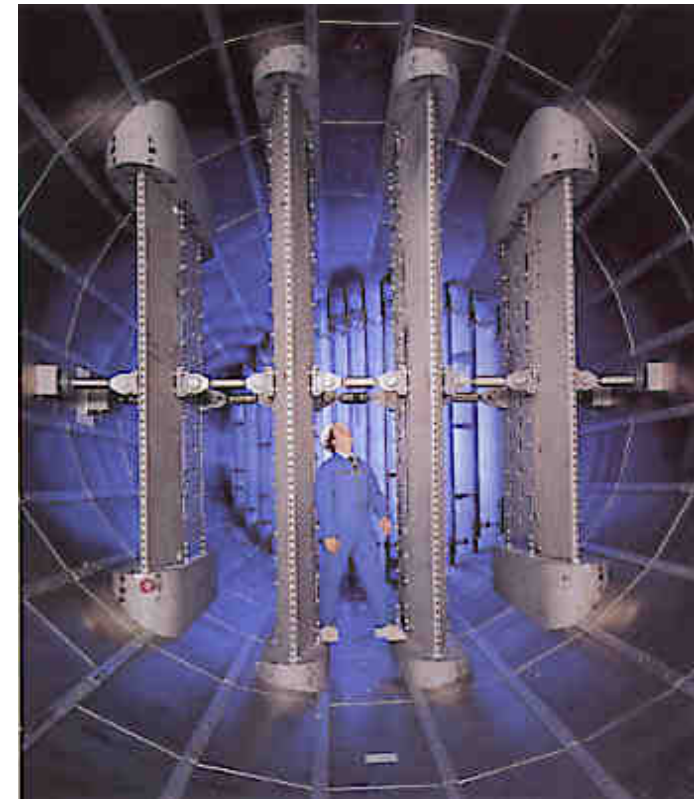


Maquette dans la section de test cryogénique

ETW Performance Envelope
Dots Indicate Cruising Flight Conditions



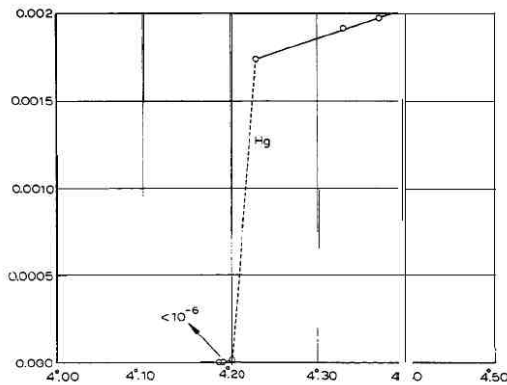
Grille d'injection d'azote liquide



Les basses températures révèlent les phénomènes de basse énergie caractéristique et permettent leur étude et leur exploitation

Phénomène	Température
Supraconductivité haute T_c	~ 100 K
Supraconductivité basse T_c	~ 10 K
Propriétés de transport des métaux	< 10 K
Cryopompage	< 10 K
Rayonnement fossile de l'univers	2.7 K
Superfluidité de l'hélium 4	2.2 K
Bolométrie pour rayonnement cosmique	< 1 K
Condensats atomiques de Bose-Einstein	$\sim \mu\text{K}$

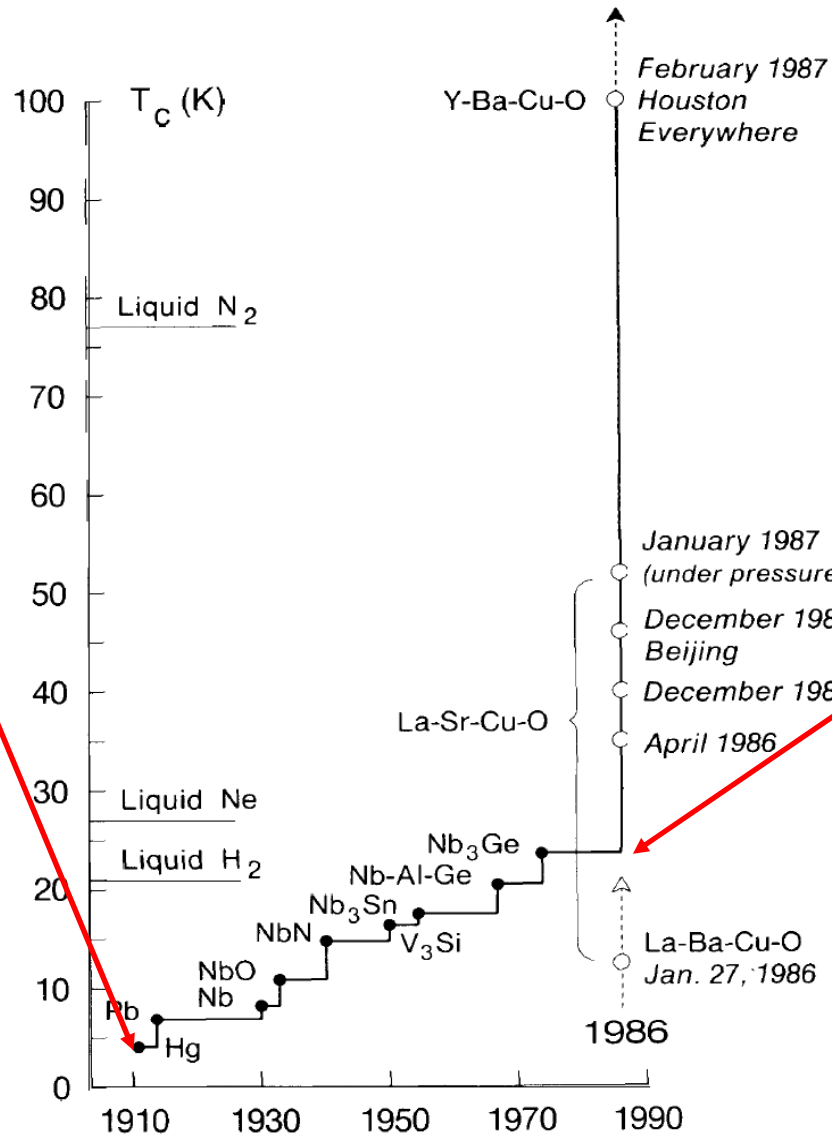
La supraconductivité, phénomène quantique macroscopique



SC du mercure (1911)



H. Kamerlingh Onnes



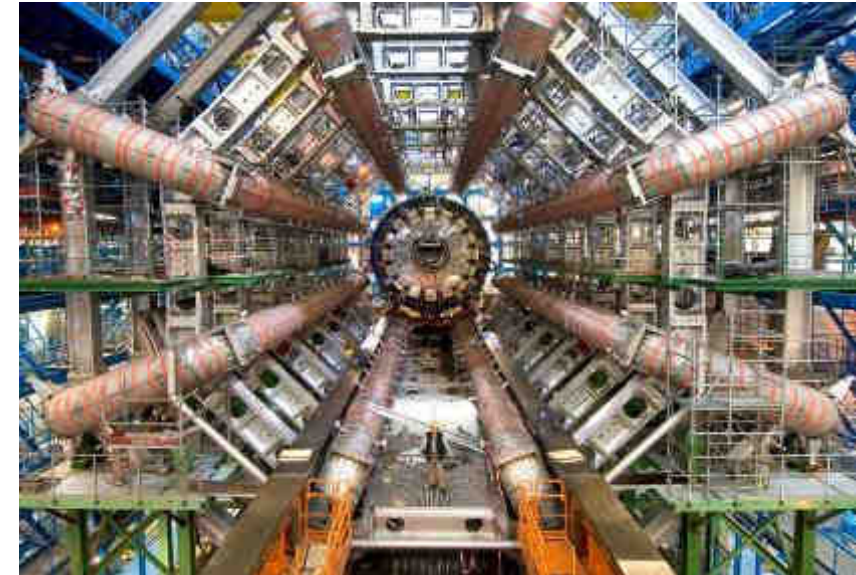
J. Georg Bednorz



K. Alexander Müller

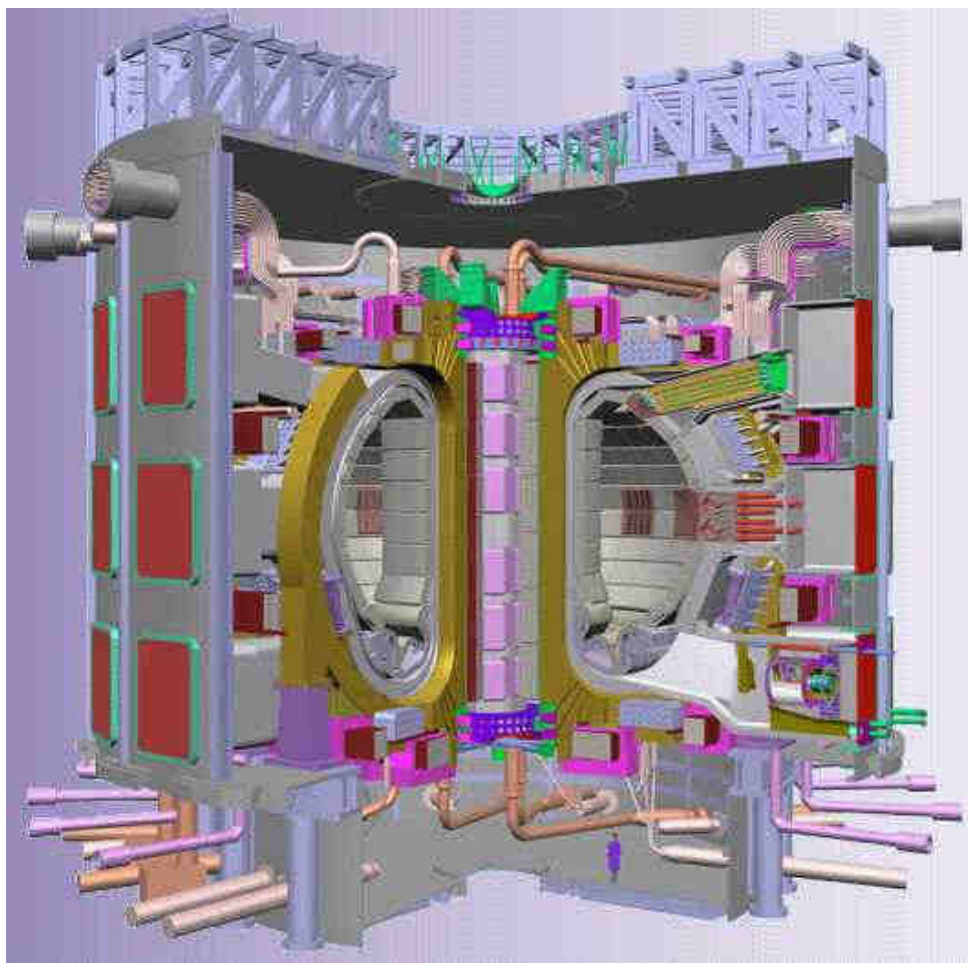
La supraconductivité pour les grands instruments de recherche

Le LHC, accélérateur de particules du CERN, et le détecteur ATLAS utilisent des aimants supraconducteurs



La supraconductivité pour l'énergie

Le réacteur expérimental
de fusion nucléaire ITER

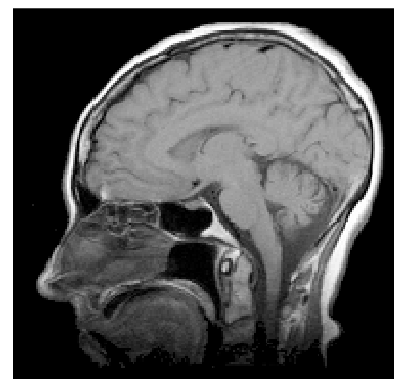
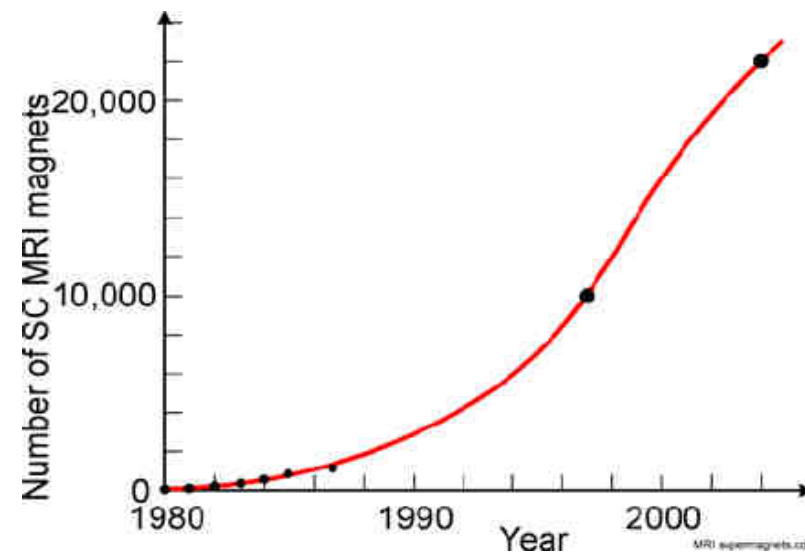


Ligne électrique 138 kV, 574 MVA
utilisant des supraconducteurs à
haute T_c (LIPA)



La supraconductivité pour la santé

L'IRM, technique de diagnostic non invasive et première application industrielle de série de la supraconductivité



Détecteurs cryogéniques pour signaux cosmiques



Atacama
Large
Millimeter /
submillimeter
Array



Mélangeurs RF à SQUID
refroidis à 4 K



Sonde PLANCK



Télescope à < 60 K
Bolomètres refroidis à 0,1 K

Sonde HERSCHEL



Télescope à < 70 K
Bolomètres refroidis à 0,3 K

Des réfrigérateurs cryogéniques puissants et performants



33 kW @ 50 K to 75 K
23 kW @ 4.6 K to 20 K
41 g/s liquéfaction hélium
4 MW puissance compresseurs
C.O.P. 220-230 W/W @ 4.5 K



L'hélium liquide sur catalogue



	HELIAL SL	HELIAL ML	HELIAL LL
Max. Liquefaction capacity without LN2	25 L/h	70 L/h	145 L/h
Max. Liquefaction capacity with LN2	50 L/h	150 L/h	330 L/h
Compressor electrical motor	55 kW	132 kW	250 kW
Specific consumption for liquefaction w/o LN2	645 W/W	552 W/W	505 W/W
% Carnot	10%	12%	13%

Deux entreprises européennes, Air Liquide et Linde, dominent le marché de la liquéfaction d'hélium



	Without LN ₂ precooling	With LN ₂ precooling
L70	20 - 35 l/h	40 - 70 l/h
L140	45 - 70 l/h	90 - 140 l/h
L280	100 - 145 l/h	200 - 290 l/h
LR70	100 - 145 Watt	130 - 190 Watt
LR140	210 - 290 Watt	255 - 400 Watt
LR280	445 - 640 Watt	560 - 900 Watt

Cryoréfrigérateurs

Les basses températures sans manipulation de fluides



CRYOMECH PT407
0.7 W @ 4.2 K & 25 W @ 55 K

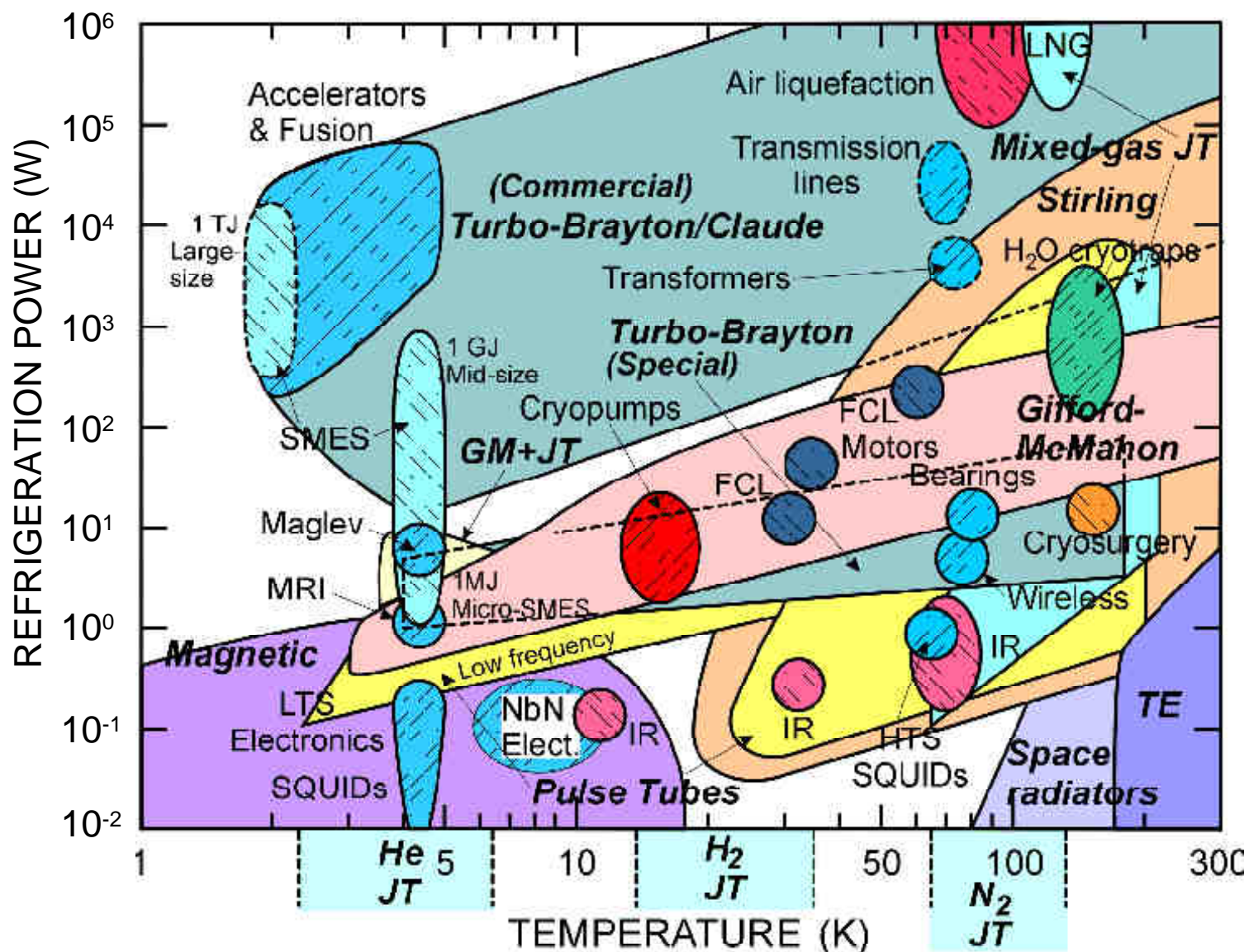


ESA MPTC
1W @ 77K



CEA/SBT coaxial PTC
6W @ 80K

Une machine pour chaque application



Evolution et perspectives

- Science des basses températures et des gaz liquéfiés, la cryogénie s'est développée depuis un siècle en une activité industrielle irriguant la plupart des technologies avancées
- La difficulté thermodynamique d'accéder aux basses températures a conduit les cryogénistes à développer des techniques d'isolation thermique et des procédés efficaces, clés de l'utilisation rationnelle de l'énergie
- La cryogénie reste présente pour répondre aux grands défis des sociétés post-industrielles
 - "peak oil" (GNL et carburants de synthèse),
 - séquestration du CO₂ (oxycombustion),
 - production et transport d'électricité (fusion nucléaire, supraconductivité)
 - santé pour tous (diagnostic et traitement)
 - biodiversité (préservation des espèces)