

**Détection de rayonnements
à très basse température**

5e école thématique du 2 au 8 juin 2002

**Les très basses températures sans
fluides cryogéniques externes**

I. Charles

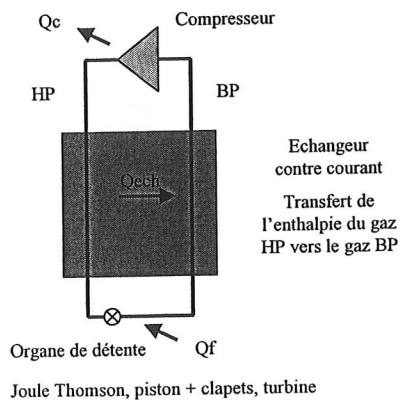
Oléron

Les très basses températures sans fluides cryogéniques externes

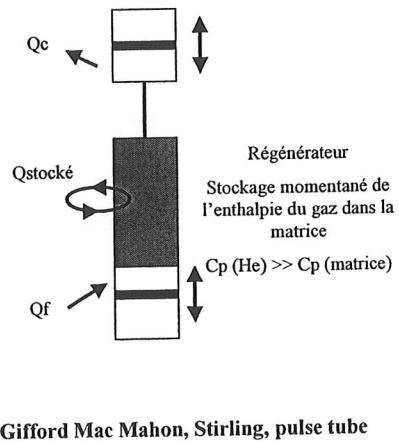
I. Charles
CEA Grenoble / SBT

2 grandes familles de machines cryogéniques

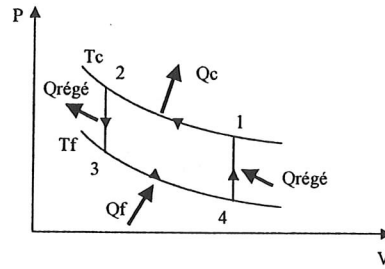
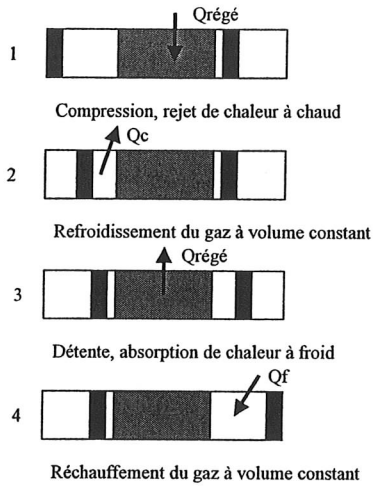
Machine à flux continu



Machine à flux alternatif

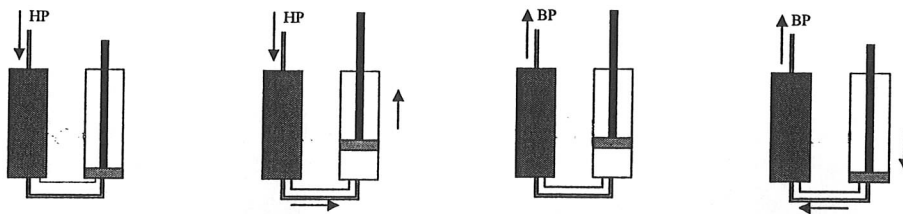


Cycle de Stirling



Cycle de Stirling : isochores, isothermes

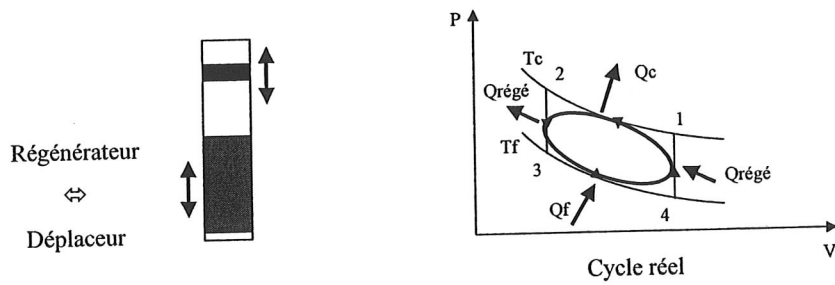
Cycle d'Ericsson (Gifford Mac Mahon)



Même principe mais transformation dans le régénérateur isobare (au lieu d'isochore)

Cas des machines réelles

Le rôle du piston froid est assuré par le régénérateur



Piston et déplaceur oscille avec un déphasage de $\pi/2$

Machine Stirling

La compression est assurée par un oscillateur

Ancienne techno

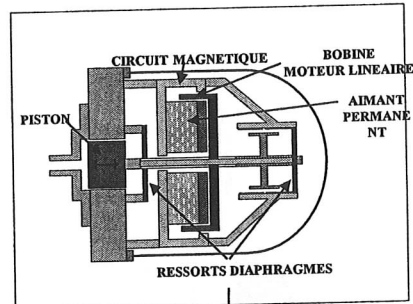
oscillateur rotatif, frottant
durée de vie 3000 h

Nouvelle techno

moteur linéaire, palier flexible
durée de vie > 30 000 h

=> fiabilité accrue

Piston résonant sur ressort gaz \Leftrightarrow 20 à 60 Hz



Machine Gifford Mac Mahon

Compresseur (piston, scroll)

Sortie haute pression et basse pression

=> vanne de distribution (vanne rotative, clapets)

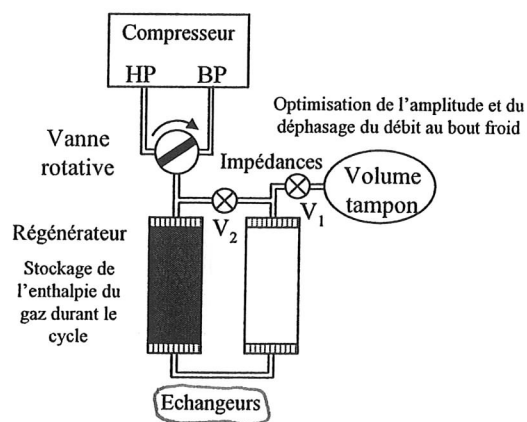
=> fonctionnement entre 1 et 3 Hz

Huile dans le gaz de cycle pour lubrification et absorption de la chaleur de compression (fort taux de compression)

=> système de déshuilage (coalesceur, adsorbeur (pot à charbon))

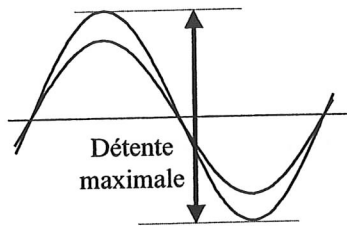
Maintenance 1 à 3 ans (adsorbeur, vanne de distribution + déplaceur)

Tube à gaz pulsé

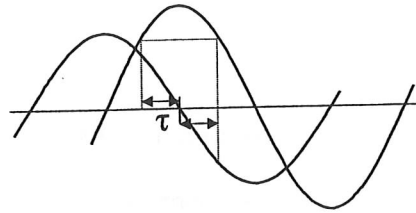


Tube à gaz pulsé
=
Machine Stirling ou GM
avec un contrôle pneumatique
du débit au bout froid
=>
pas de pièce mobile
dans la partie froide
=>
Vibration
Tenue mécanique
Coût
Fiabilité

Tube à gaz pulsé



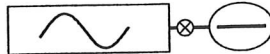
-Débit
-Pression



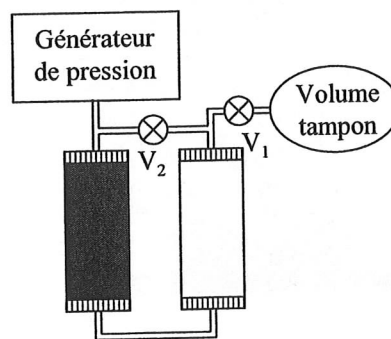
Déphasage nul
⇒ effet frigorifique maximum

Déphasage $\pi/2$ (tube borgne)
⇒ pas d'effet frigorifique

V_1 et volume tampon (Mikulin (1984)) ⇒ améliore le déphasage



Tube à gaz pulsé



Proposé par Zhu (1990)
Soulager le régénérateur
Rôle sur le déphasage



2 familles de pulse tube

Type Gifford Mac Mahon

Fréquence 1 à 3 Hz

Compresseur
+
vanne de distribution

Forte puissance
Basse température

Type Stirling

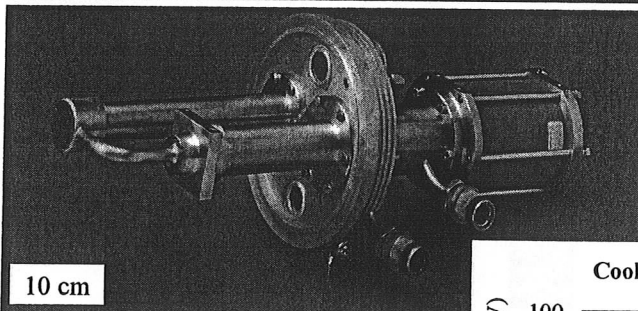
Fréquence 20 à 60 Hz

Oscillateur

Faible puissance
T = 80 K



Tube à gaz pulsé, type Gifford



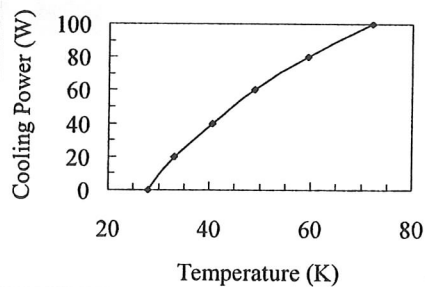
*reparateur
inox ferré*

Compresseur 6 kW

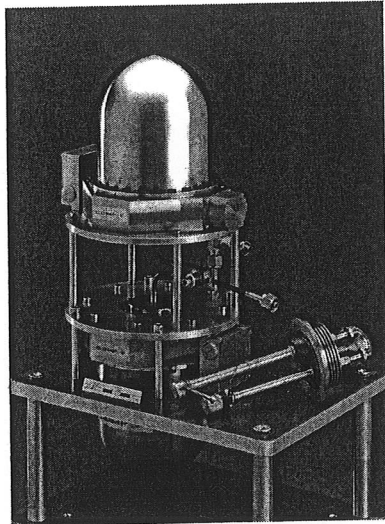
T limite = 25 K

100 W @ 80 K

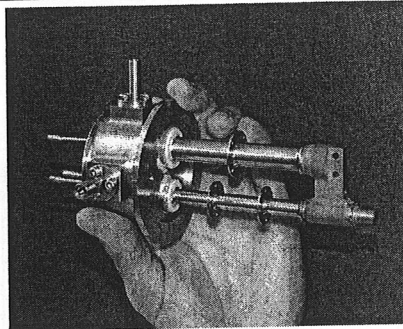
Cooling power at 2 Hz



Tube à gaz pulsé, type Stirling



Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002



Oscillateur 140 W / 45 Hz

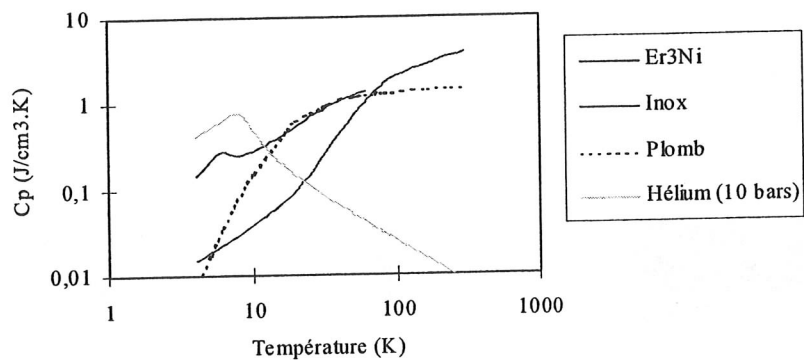
T limite = 50 K / 1.70 @ 80K

Oscillateur 200 W

T limite = 38 K / 7 W @ 80 K

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 13

Efficacité du régénérateur

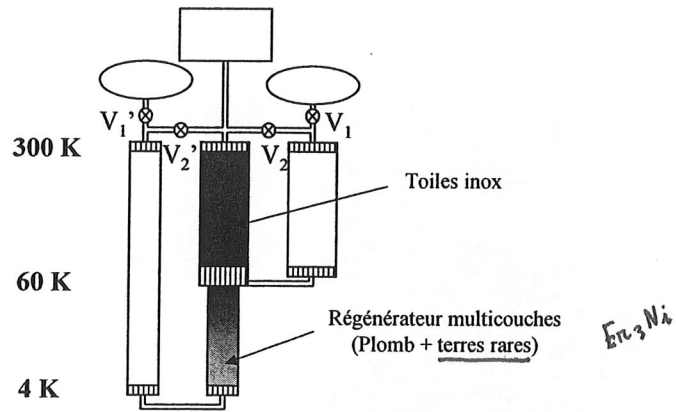


Efficacité régénérateur \searrow quand T \searrow
 \Rightarrow Nouveau matériau régénérateur
 Toile Inox \rightarrow Bille Plomb \rightarrow matériaux avec anomalie de Cp

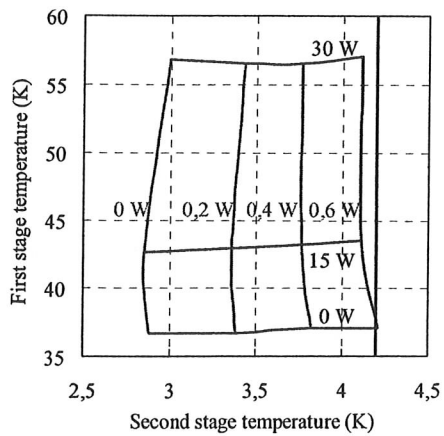
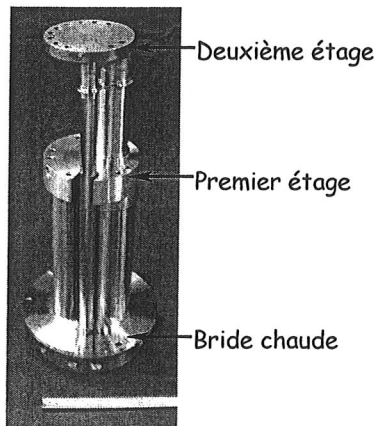
Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 14

Pulse tube biétagé, type GM



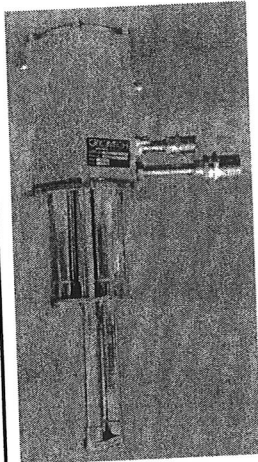
Tube à gaz pulsé 4 K SBT



0.6 W @ 4.2 K



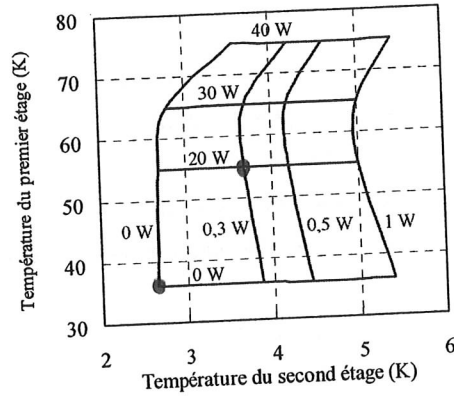
Tube à gaz commercialisé



Cryomech PT 405

Prix : 220 kF

Performances Cryomech PT405



Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 17



Machine Gifford Mac Mahon

Sumitomo (cryophysics)

1,5 W @ 4,2 K

+ 40 W @ 50 K

Prix : 320 kF

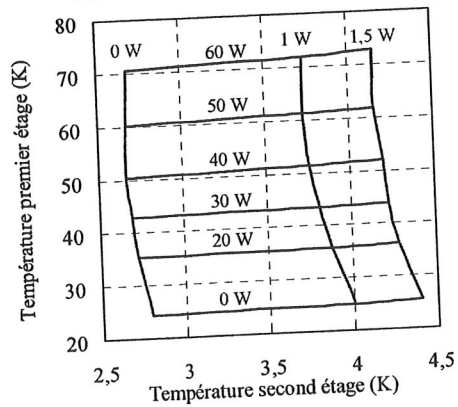
Autre machine :

1 W @ 4,2 K

+ 34 W @ 40 K

Prix : 250 kF

Performances RDK 415 50 Hz



Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 18



Température limite

Machine commerciale => recherche du max de puissance froide à 4.2 K et sur premier étage (application bobine supra)

$T_{limite} = 2.13 \text{ K}$ (Thummes 1996)

avec étage prérefroidi LN2

$T < 2.17 \text{ K}$ car $P_{moy} = 19.5 \text{ bars}$

Impossibilité de franchir T_{lambda}
court-circuit thermique du régénérateur

Prototype avec ^3He (De Waele 1999)

$T_{lim} 1.78 \text{ K}$

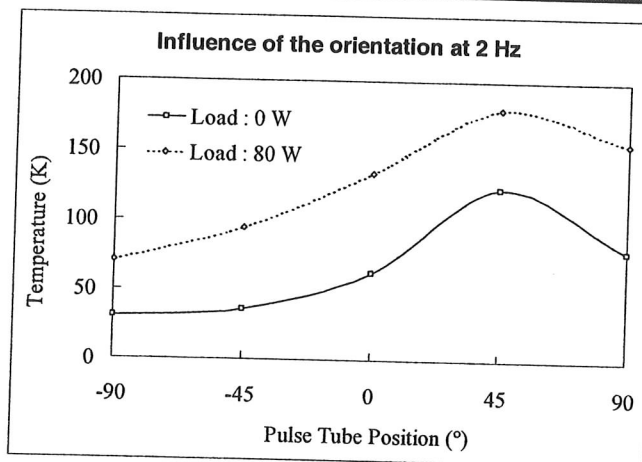
Environ 250 kW d' ^3He

Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 19



Sensibilité à l'orientation

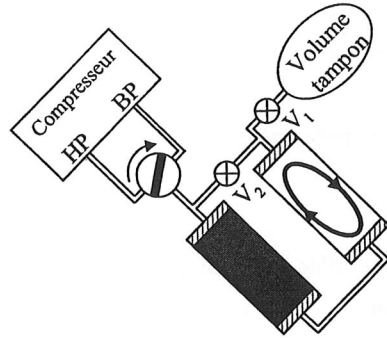


Pulse tube monoétagé

Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 20

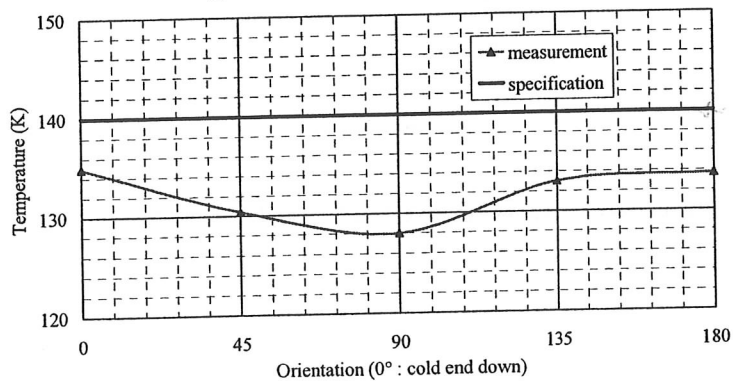
Sensibilité à l'orientation



Convection naturelle dans le tube => charge parasite

Sensibilité à l'orientation

Operating temperature of the Megacam prototype
Applied load : 90 W Frequency : 5 Hz





Sensibilité à l'orientation

**Pas de mesure effectuée sur pulse tube 4 K
mais forte dégradation probable**

Pas d'étude pour contre-carrer ce phénomène

**Machine Gifford Mac Mahon insensible à l'orientation
pas de pb de convection
pb mécanique ?**



Vibrations

Comparaison entre machine GM et pulse tube monoétagé SBT

(Mesures effectués par l'ESRF, capteur sur la bride chaude)

20 fois moins de vibrations pour le pulse tube

→ **mais déplacement 100 μm axial
15 μm radial**

Causes : compresseur, vanne rotative, gonflement dû à la pression

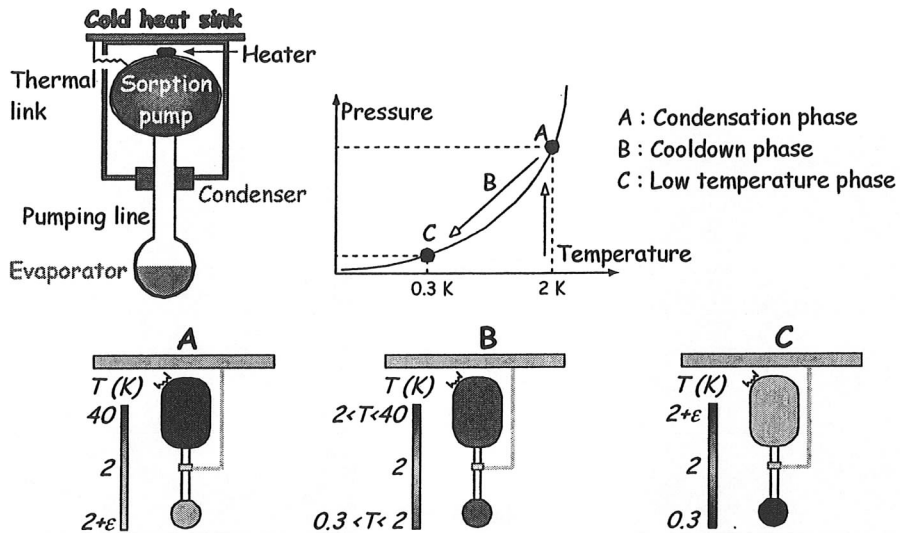
PT monoétagé

calcul du gonflement dû aux variations de pression

déplacement axial du bout froid : 15 μm

→ gonflement du tube 0-20 Bar

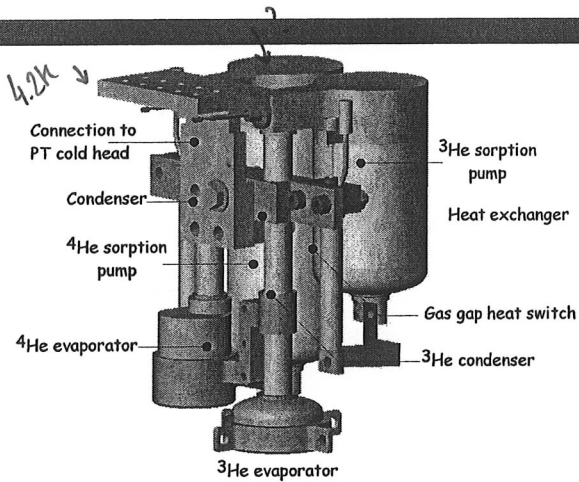
Frigo à adsorption ^3He



Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 25

Frigo à adsorption biétagé $^4\text{He}/^3\text{He}$

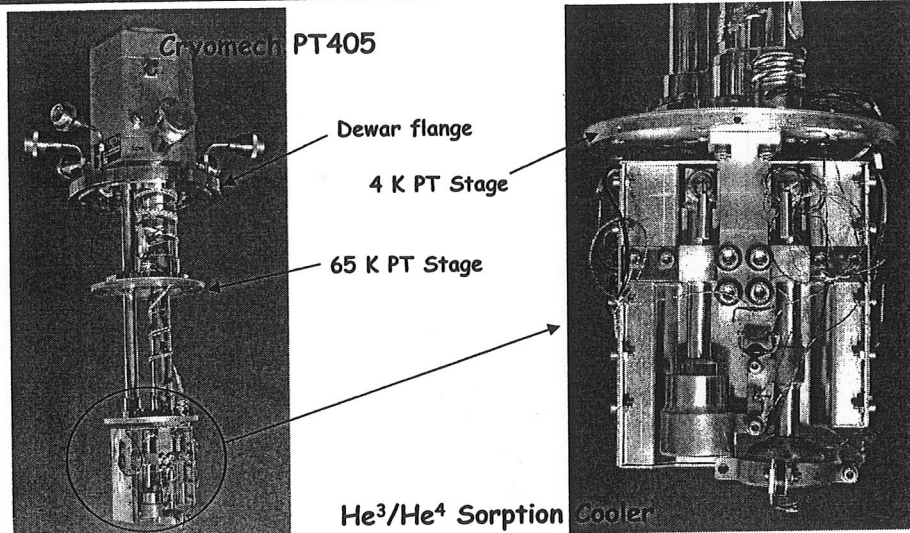


Fonctionne avec source froide à 4.2 K
 (bain d'He non pompé, pulse tube,...)

Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 26

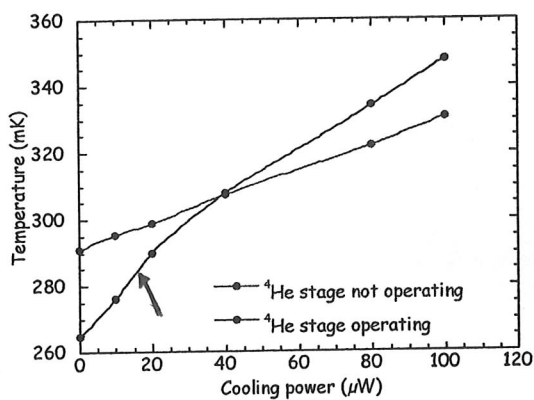
Frigo à adsorption + PT 4 K



Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 27

Performances



Durée du cycle en froid
(sans charge thermique):

26.5 h @ 256 mK
(étage ⁴He en fonctionnement)
+
30 h @ 291 mK
(étage ⁴He sans liquide)

300 K- 300 mK sans fluide cryogénique

Ecole Détection de rayonnements à très basse température 2002

CEA-Grenoble / Service des Basses Températures - I. Charles - page 28