

Le réfrigérateur à dilution, un appareil permettant d'atteindre les ultra-basses températures, du prototype à la boîte noire

Gérard Chouteau, chargé de mission PSTC en région Rhône-Alpes sud

Xavier Hiron, chargé des collections, ACONIT

Journée d'étude PATSTEC du 25 novembre 2021, Dijon

Quelques remarques avant de commencer

La température est une mesure d'énergie, à condition de l'exprimer en kelvins et de choisir l'échelle absolue des températures ($0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$) et non l'échelle Celsius, et encore moins l'échelle Fahrenheit !

1 K ~ l'énergie acquise par une masse de 1 nanogramme, tombant d'une hauteur de ...0,014 nanomètre (ce n'est pas beaucoup !)

Observation et étude de phénomènes très fins (magnétisme, supraconductivité, astrophysique, etc.)

Un (tout petit) peu d'histoire

1933 : Giauque atteint 0,25 K puis 4 mK

1951 : De Klerk atteint 1,4 mK

Ils utilisent un champ magnétique de quelques teslas

Inconvénient : procédé « one shot », non continu

1964 : construction du premier réfrigérateur He3-He4 à
Leyden (Pays-Bas)

Avantages : pas de champ magnétique, fonctionnement en continu

Comment ça marche

C'est un frigo : un fluide subit des transformations thermodynamiques (compression, détente, évaporation, condensation) en circuit fermé.

Absorption de chaleur au cours de l'une des transformations
= production de froid

Le fluide est un mélange d'He4 et de son isotope He3

1. Refroidissement par pompage, jusqu'au point tricritique (870 mK)
2. Séparation de phase (analogue au mélange huile-eau), une phase riche en He3 (légère), une phase pauvre (lourde)
3. Pompage sur la phase pauvre : aussi près que l'on veut de 0 K

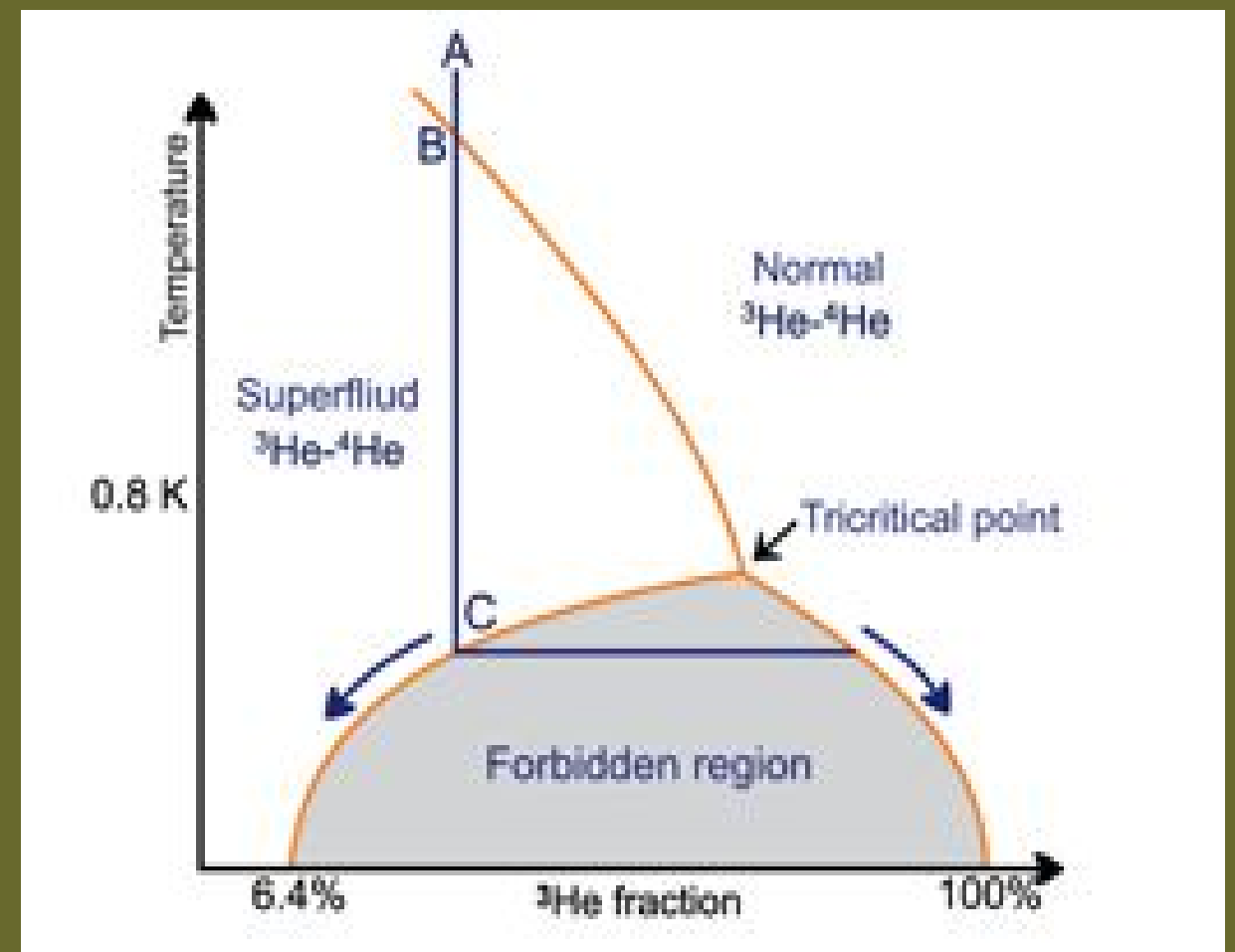
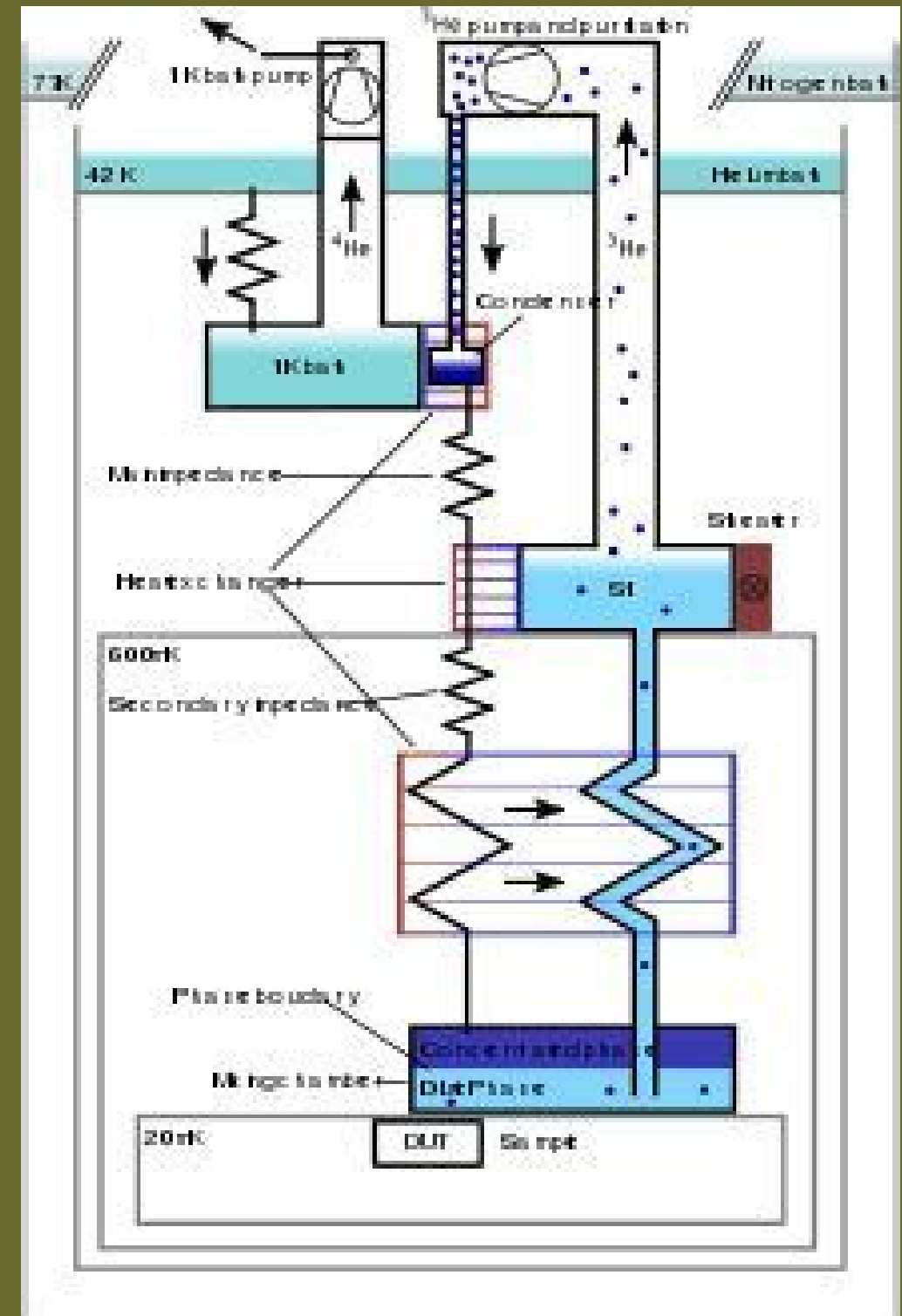


Schéma de principe :
C'est plutôt compliqué !



En marche vers la boîte noire 1/3

Les défis :

Les vibrations mécaniques (de l'ordre du nanomètre)

Les pertes thermiques : conduction, rayonnement

Les compétences nécessaires :

Cryogénie, thermique, thermodynamique, matériaux,
ultravide, ultrabasses températures, mécanique des fluides

Très peu de laboratoires possèdent ces compétences. En
France, un seul ! (CRTBT Grenoble)

En marche vers la boîte noire 2/3

Les conditions et les évolutions :

Intense compétition-collaboration internationale

Durant la décennie 70-80, importantes innovations sur tous les composants (boîte de mélange, boîte à 1K, échangeurs)

Meilleure ergonomie (simplification), robustesse, diversification des modèles, automatisation

C'est désormais une boîte noire 3/3

A la fin de la décennie 80, l'appareil est devenu un objet industriel, disponible sur catalogue (Oxford-Instruments, Air Liquide ...)

Existe-t-il un marché ?

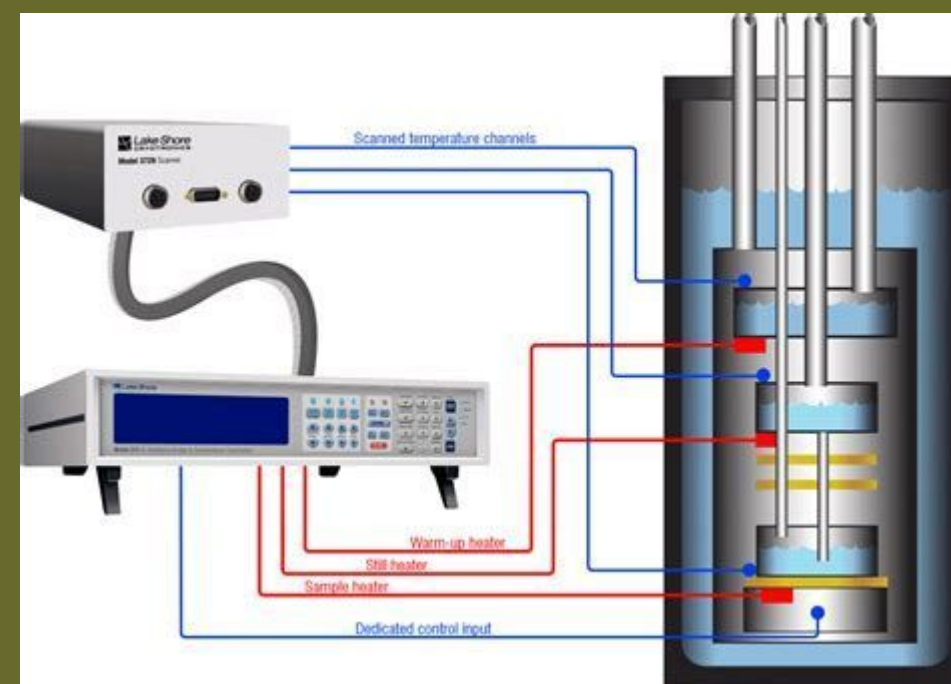
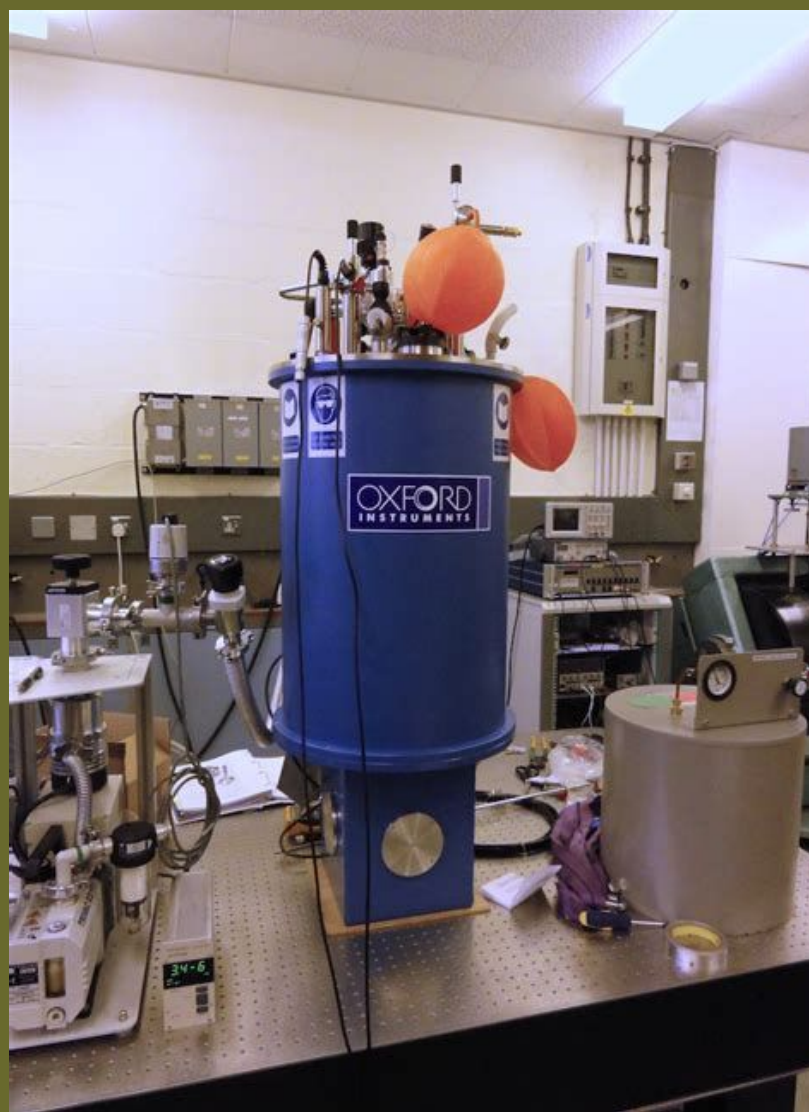
Oui

Les laboratoires

L'astrophysique spatiale : expérience Planck, observation du fond du ciel à 2,7K, six détecteurs embarqués refroidis à 100 mK, fonctionnement de 2009 à 2013 en mode automatique (évidemment !). Tout l'He3 disponible en France fut utilisé !

L'ordinateur quantique (les qbits supraconducteurs fonctionnent dans la gamme 10-30 mK)

Une vue du catalogue





Un prototype produit au CRTBT (CNRS Grenoble),
inventorié dans les bases de données ACONIT et
PATSTEC

Date de fabrication : 1980

Plusieurs innovations obtenues au
CRTBT (échangeurs scellés à poudre
d'argent et boîte froide en résine
époxy) ont permis une amélioration
considérable des performances et la
commercialisation du dispositif.



L'inventaire d'une boîte noire

Définition : dispositif à Entrée.s / Sortie.s (E/S)

sans relation interne pour l'opérateur

Les défis : fonction non directement lisible de l'extérieur

description « à l'aveugle »



Les compétences nécessaires

Rassembler les témoignages sur le contexte de l'objet

Lourd travail sur la documentation, recul « patrimonial »



interview de Pierre Pugnât, projet aimant hybride (LNCMI)



un RA du CRTBT (1977-88)

Les compétences nécessaires

La mise en perspective :

compréhension de l'évolution connaissances / pratiques / matériels

restitution schématique et pédagogique

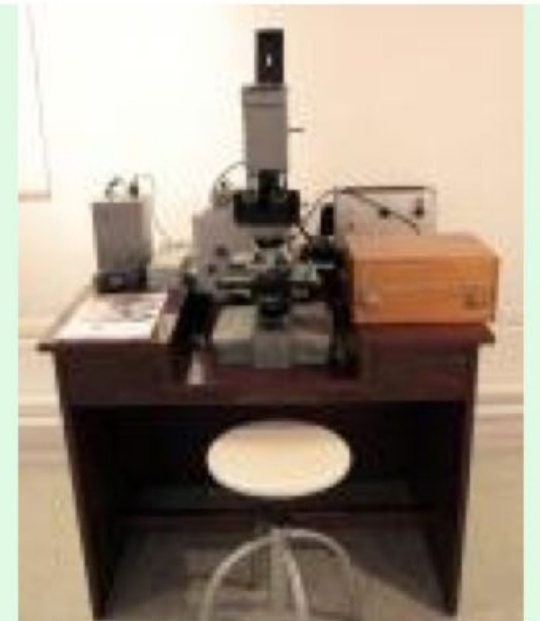
La microscopie, depuis l'introduction de la vision binoculaire au XIXe s., s'est considérablement développée, intégrant peu à peu les technologies modernes, de la micro-fluorescence à l'analyse électronique à balayage de l'échantillon.



Ross, constructeur
d'instruments d'optique,
UK Microscope optique
- 1850-1875



Carl Zeiss
Photomicroscope
- 1950-1975



Leitz Microscope à
fluorescence Orthoplan
- 1950-1975

Il existe des matériaux d'étude :
maquettes, prototypes, articles, synthèses
les acteurs sollicités deviennent « bavards »



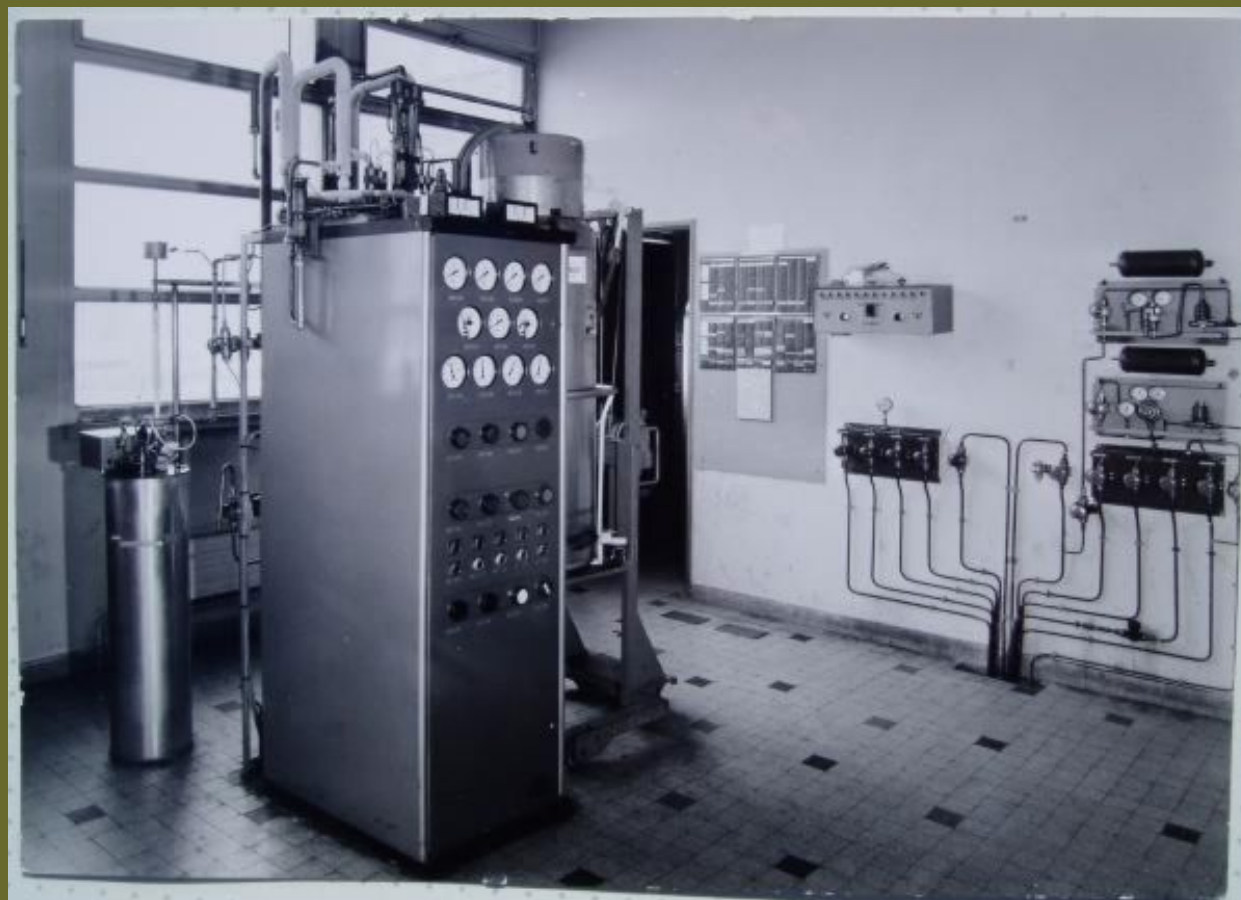
discussion autour de la collection Tedimage38



maquette du CRTBT

Heureusement...

Les « histoires » s'enrichissent avec le temps
(le travail de fond est cumulatif)
= base de la méthodologie PATSTEC



*Le liquéfacteur Lacaze-Weill :
de l'inventaire au classement MH et à l'exposition Prototypes*





Merci pour votre attention ...