



THERMOCOAX  
DEVELOPMENT



# Thermocouples

Perspective de mesures à haute température sous irradiation  
à l'aide de thermocouples type N et MoNb

J.F. Villard (CEA Cadarache DEN/CAD/DER),

M. Laurie (European Commission Joint research center),

S. Fourrez / E. Tapin / C. Navarro / N. Godbille (THERMOCOAX),



cea



JRC  
EUROPEAN COMMISSION

THERMOCOAX



## Nouveaux programmes :

- \* Futurs Réacteurs à Haute Température (HTR),
- \* Fusion nucléaire (ITER),

**Besoins** : mesure sous irradiation à hautes températures (entre 1000 et 1500 °C).

La température : paramètre-clé des expériences d'irradiation des combustibles et matériaux en réacteur de recherche.

## Problématique :

L'effet des neutrons sur les matériaux qui composent les couples thermoélectriques.

**Phénomènes** : transmutation induisant des changements de composition chimique et de structure des éléments thermoélectriques des thermocouples soit une modification local ou global du Pouvoir thermoélectrique,

**Effets** : Erreur de mesure, dérive, ...



Principales transmutations dans les thermocouples hautes températures standard:

## Thermocouples type C

W  $\rightarrow$  Re + Os ( $\sigma = 19,2$  barn)

Re  $\rightarrow$  Os ( $\sigma = 86$  barn)

## Thermocouples type S, B et R

Pt ( $\sigma = 8$  barn) faible

Rh  $\rightarrow$  Pd ( $\sigma = 150$  barn)

Type de TC	Dérive mesurée <sup>(1)</sup> sous un flux de neutrons thermiques constant de $2.10^{18}n/m^2.s$
K	Négligeable <sup>(2)</sup>
C (W-Re)	-0,9 °C / jour <sup>(3)</sup>
S (Pt-Rh)	-1,2 °C / jour

(1) CEA OSIRIS, General Atomic, Oak Ridge NL

(2) Jusqu'à  $4,8.10^{25} n/m^2$

(3) Jusqu'à  $2.10^{25} n/m^2$  ; du second ordre ensuite

*Dérive comparée des thermocouples types K, C et S en réacteur*



## Principales transmutations dans les thermocouples hautes températures standard:

**W** → Re + Os                    ( $\sigma = 19,2$  barn)

**Re** → Os                            ( $\sigma = 86$  barn)

**Rh** → Pd                           ( $\sigma = 150$  barn)

**Mo** →                                ( $\sigma = 2.5$  barn)

**Nb** →                                ( $\sigma = 1,1$  barn)

*Dérive des thermocouples types Mo-Nb et alliages Mom-Nbz en principe faible sous irradiation*

*Et en température ?*

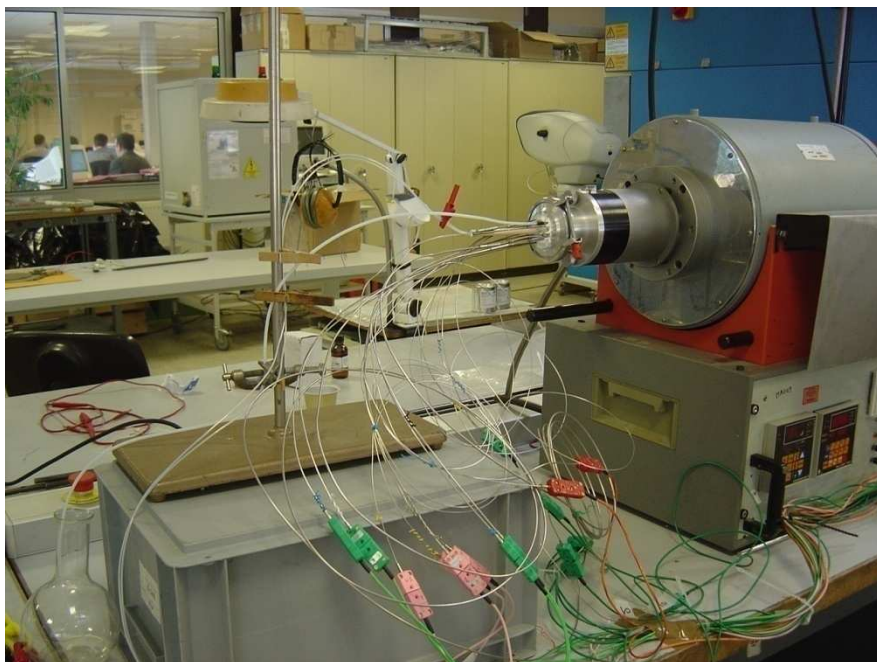
*Essai comparatif à 1100°C sous Hélium sur TC K, N, C et Mo-Nb et Mom-Nbz alliage*



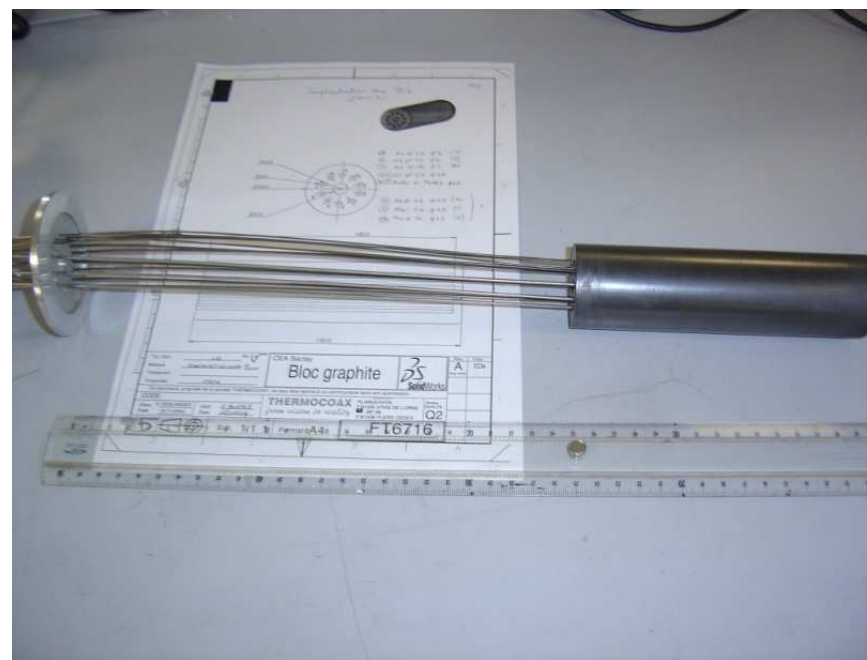
THERMOCOAX  
DEVELOPMENT



## Four d'essai



## Thermocouples dans un bloc en Graphite



Test à 1100°C sous balayage d'Helium (faible pureté + possible entrée d'air)  
Température de référence : type S TC (+/-0.5°C)

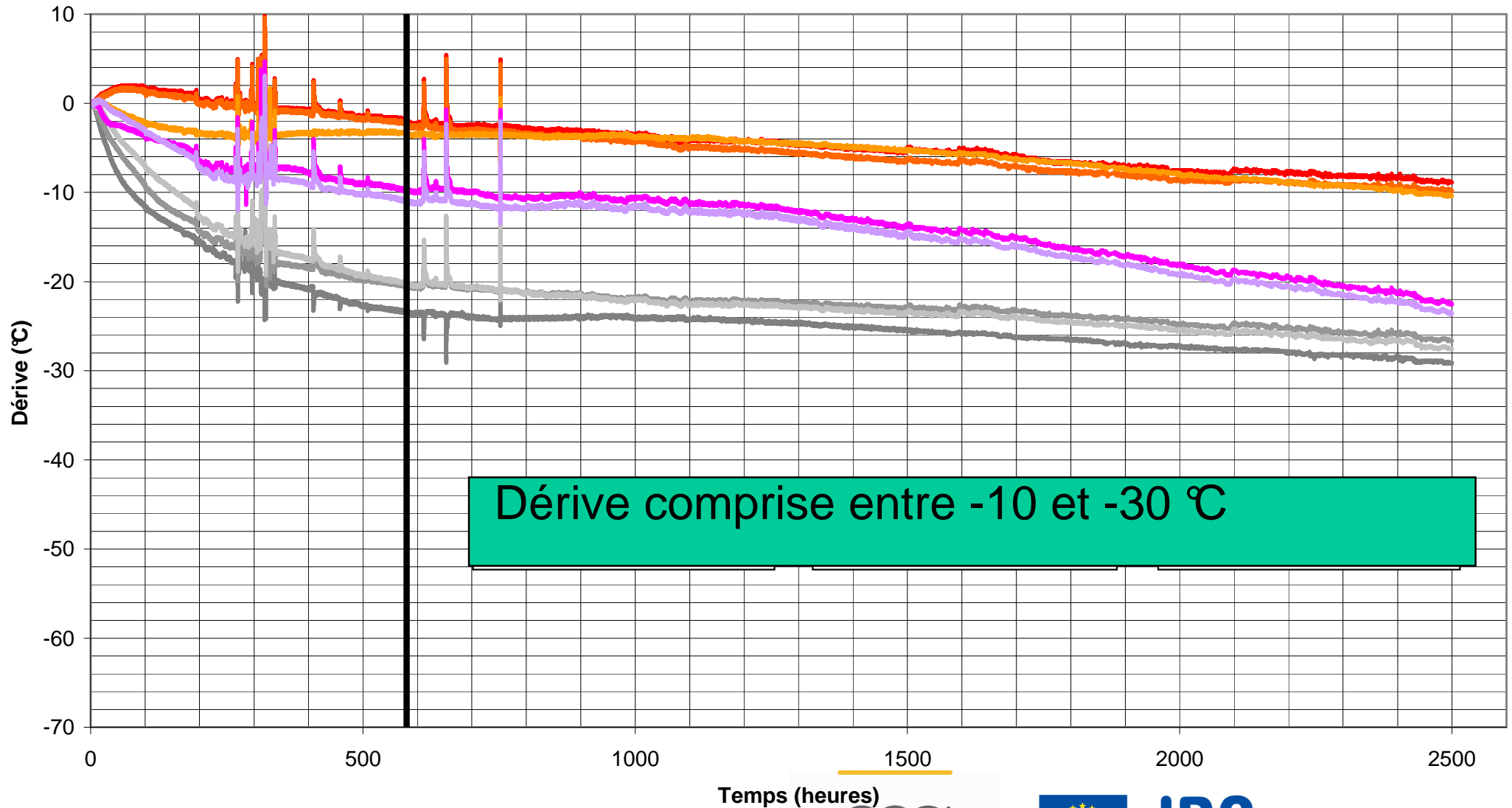
# 1.5 mm OD type K Thermocouple



THERMOCOAX  
DEVELOPMENT



CEA - Essai d'endurance 1100°C  
Dérives des thermocouples K diamètre 1.5 mm



Dérive comprise entre -10 et -30 °C



THERMOCOAX

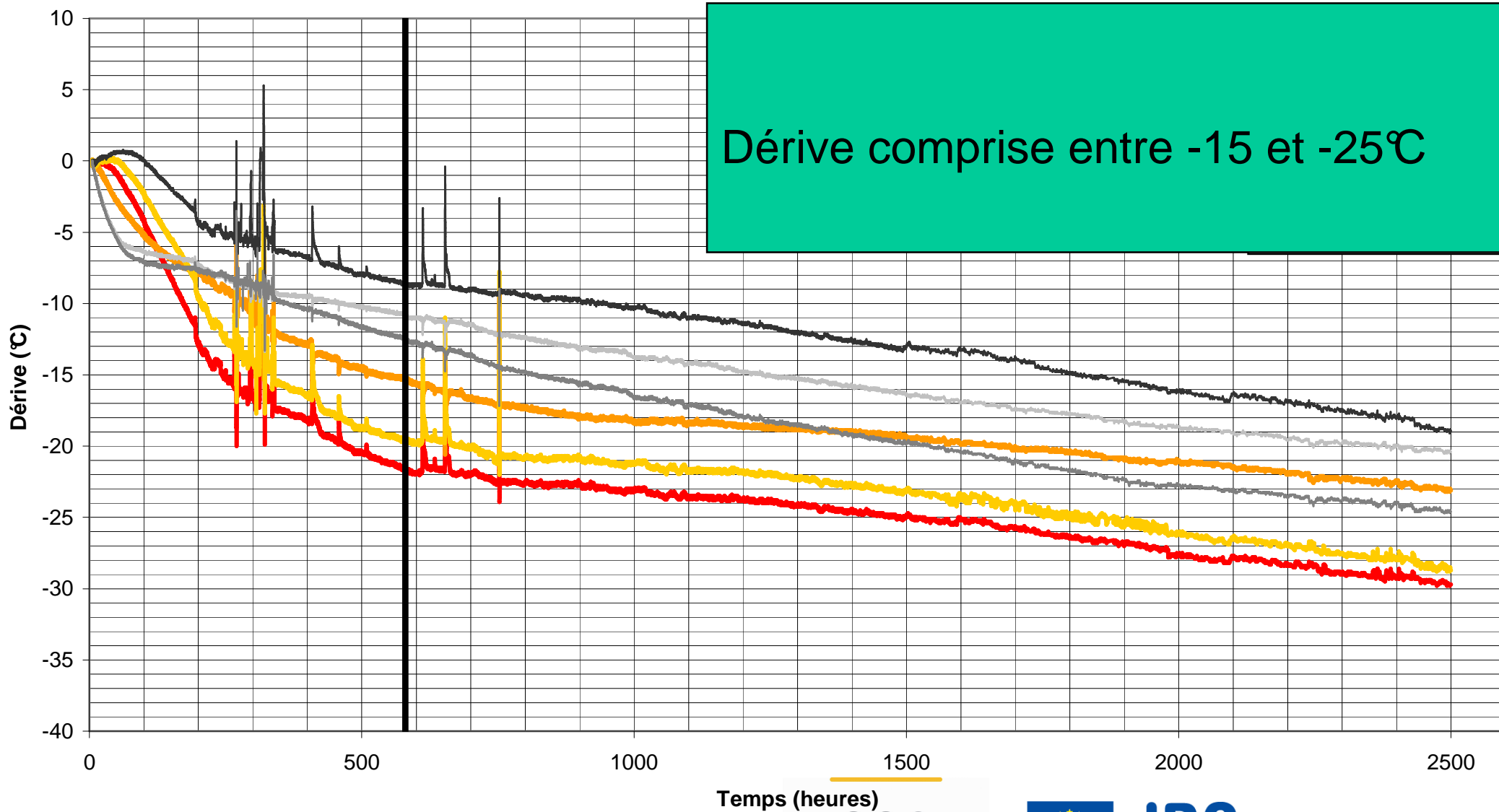
# 1.5 mm OD type N Thermocouple



THERMOCOAX  
DEVELOPMENT



CEA - essai d'endurance 1100°C  
Dérives des thermocouples N 1.5 mm

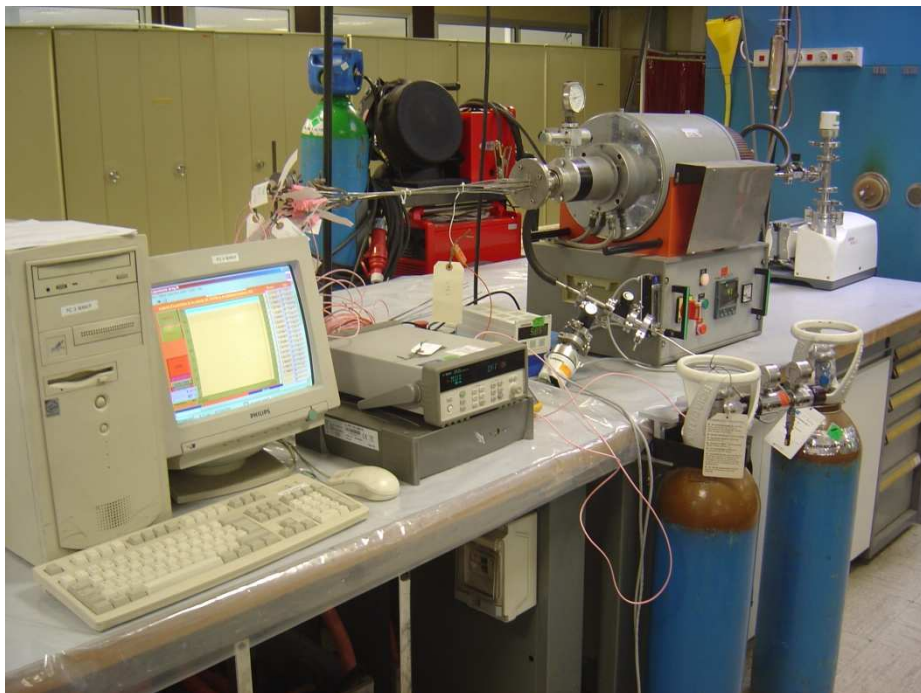




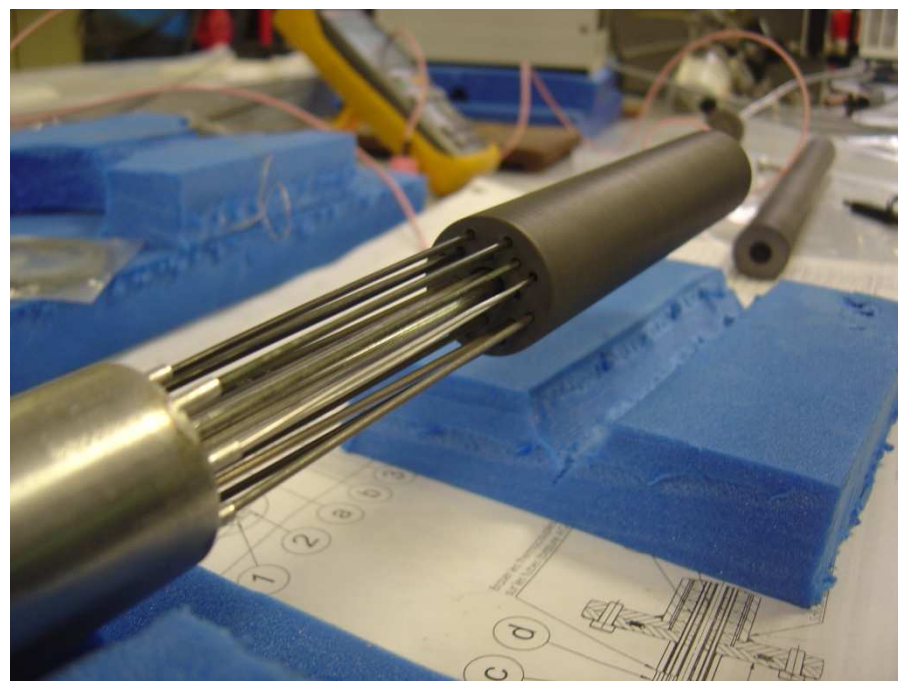
THERMOCOAX  
DEVELOPMENT



## Four d'essai



## Thermocouples dans un bloc en Graphite

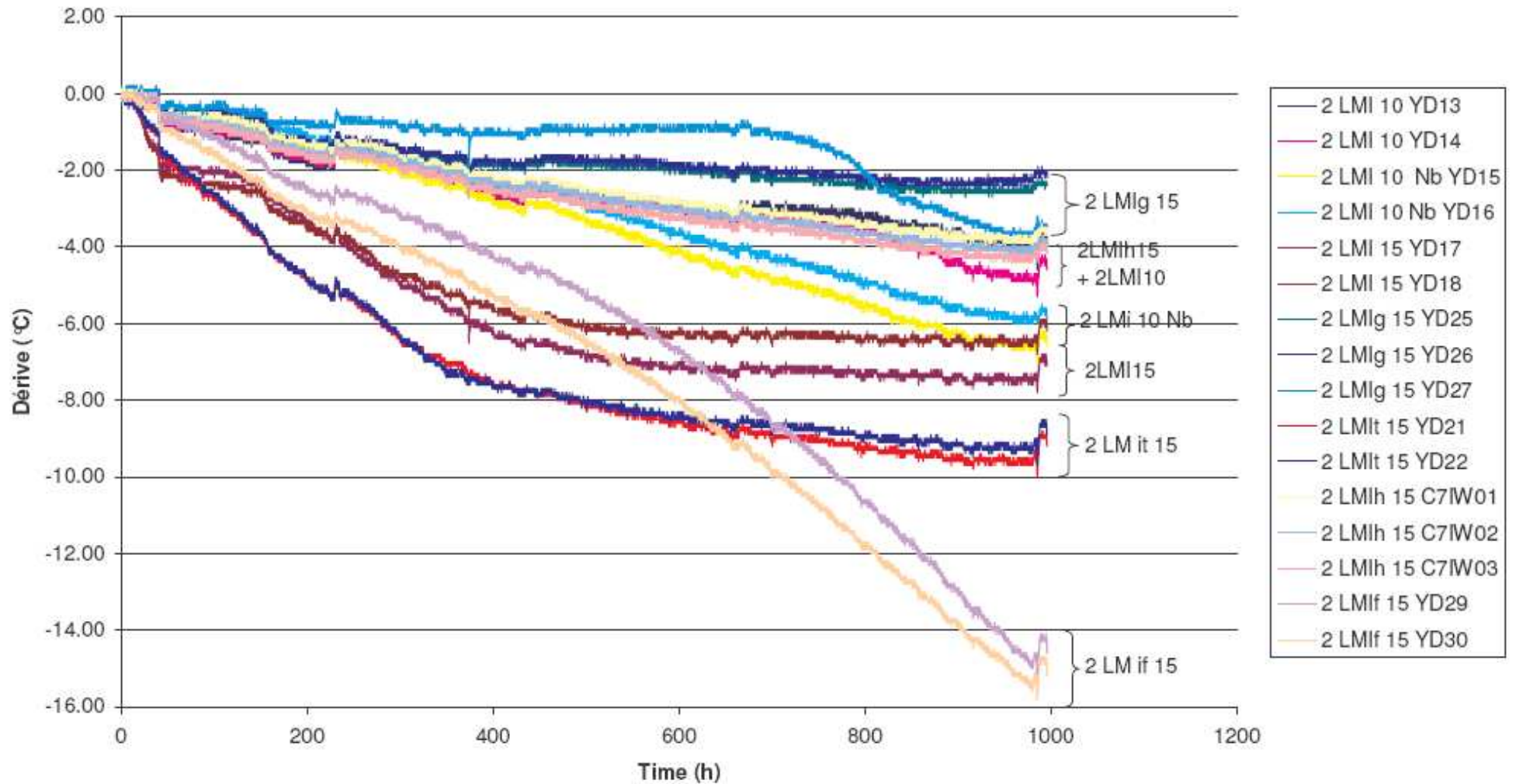


Test à 1100°C sous balayage d'Helium (haute pureté)  
Température de référence : type S TC (+/-0.5°C)



## ESSAI LONGUE DUREE

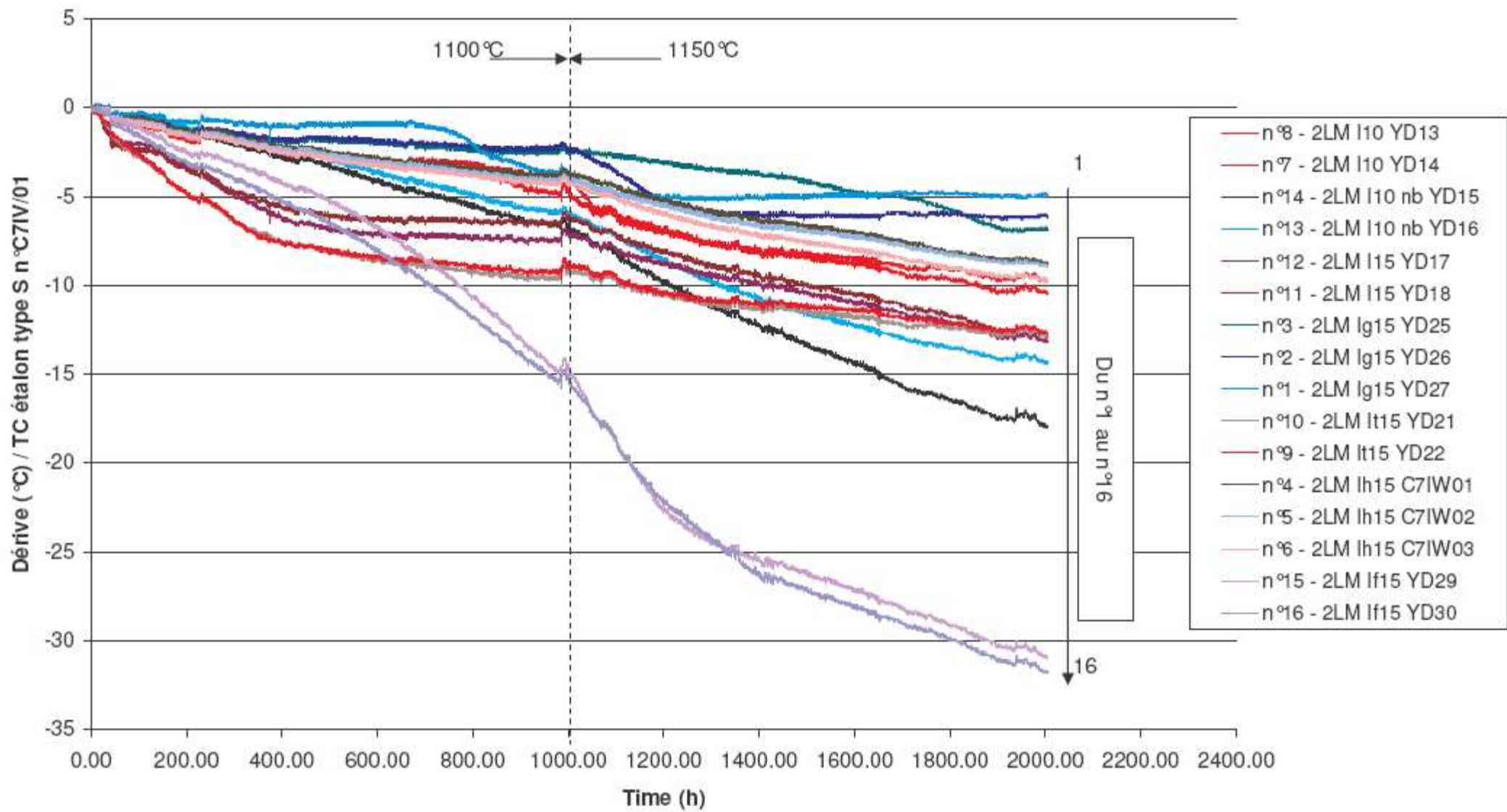
### Dérive des Thermocouples à 1100 °C sous Hélium



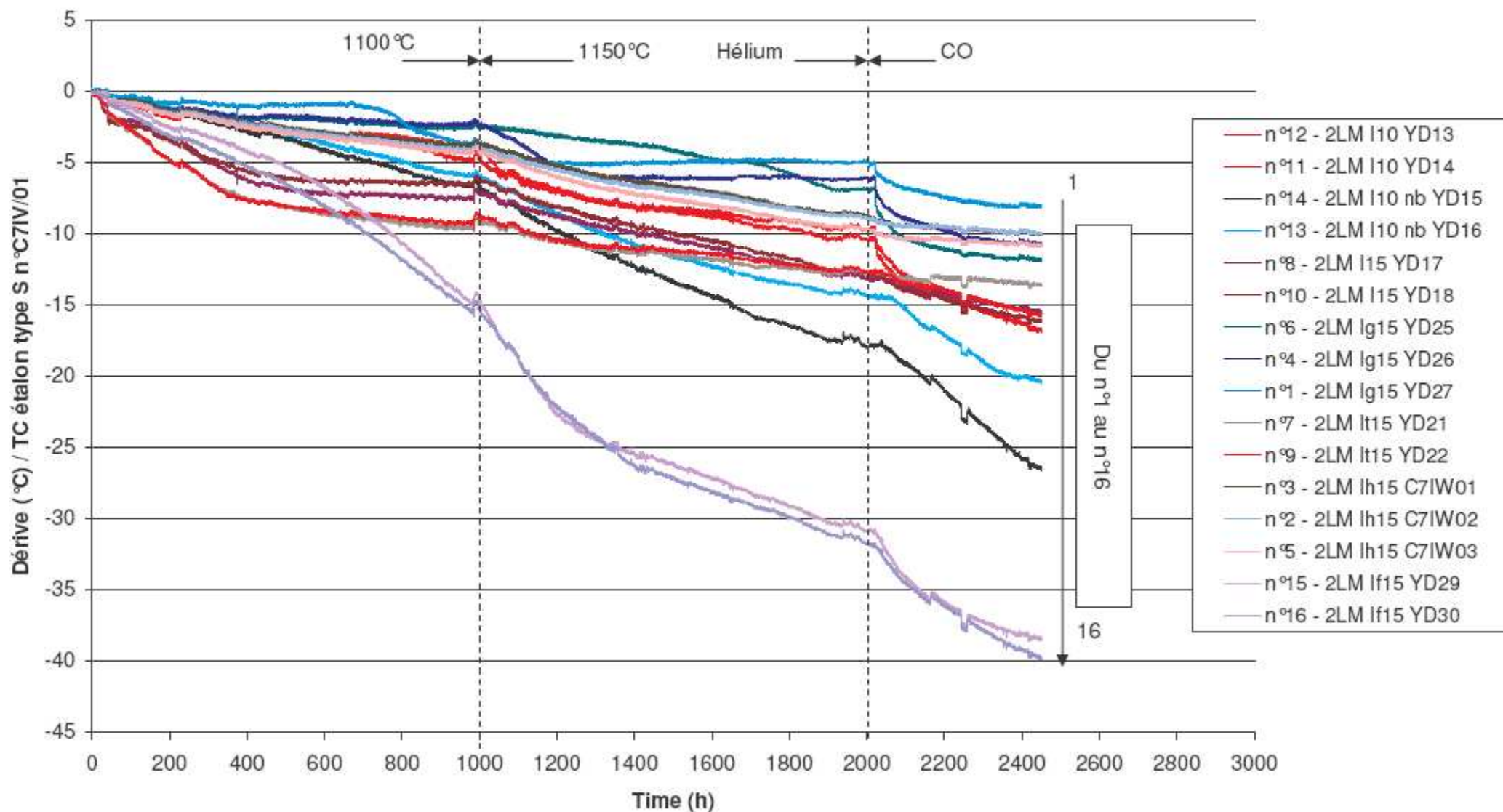
Auteur : ETA

30/07/09

### ESSAI LONGUE DUREE - JRC - Dérive des thermocouples à 1100°C puis à 1150°C sous Hélium

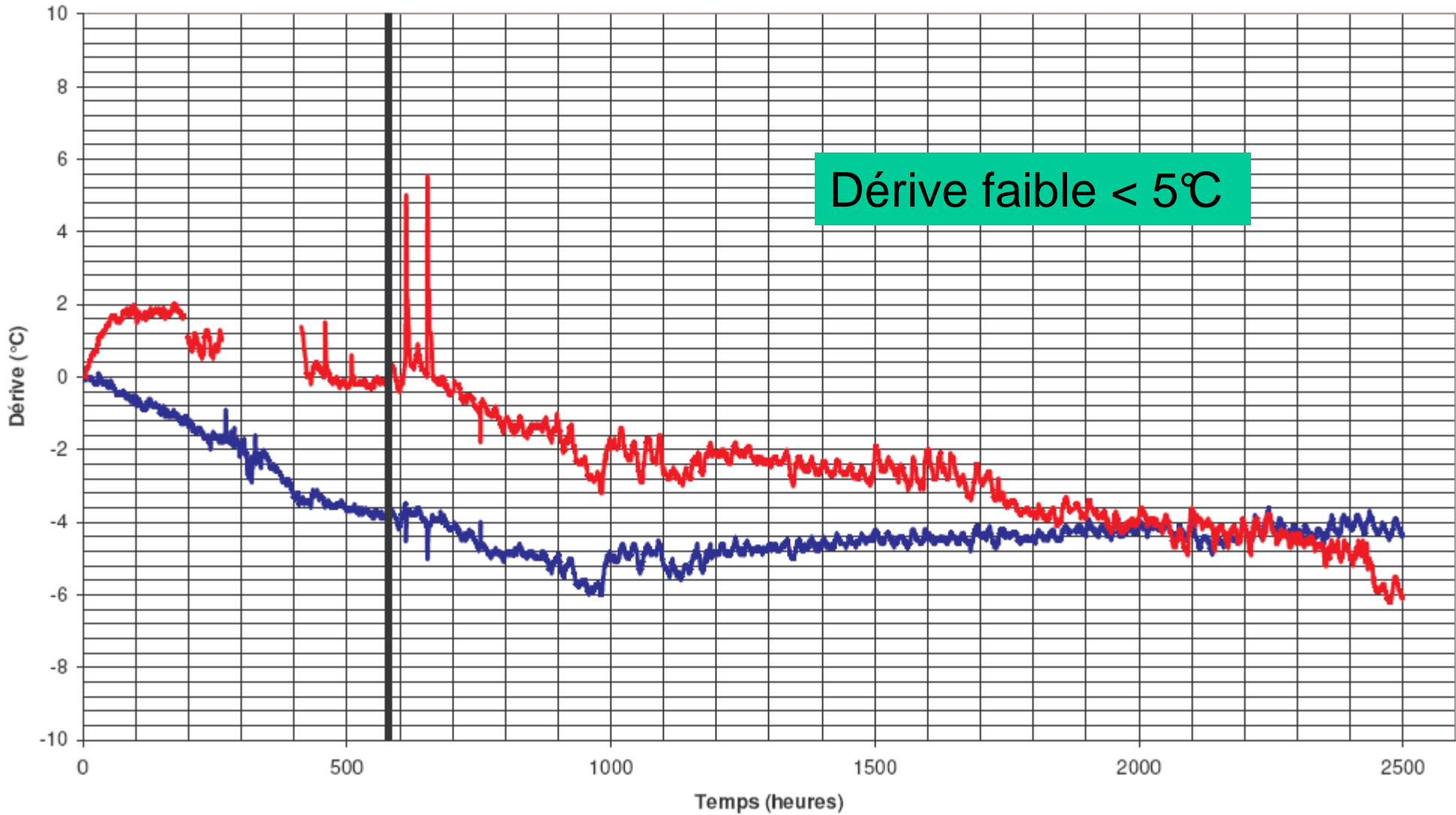


### ESSAI LONGUE DUREE - JRC - Dérive des thermocouples à 1100 °C et 1150 °C sous Hélium puis à 1150 °C sous CO



# CEA - Essai d'endurance 1100°C - dérives des thermocouples C

C1- C2-



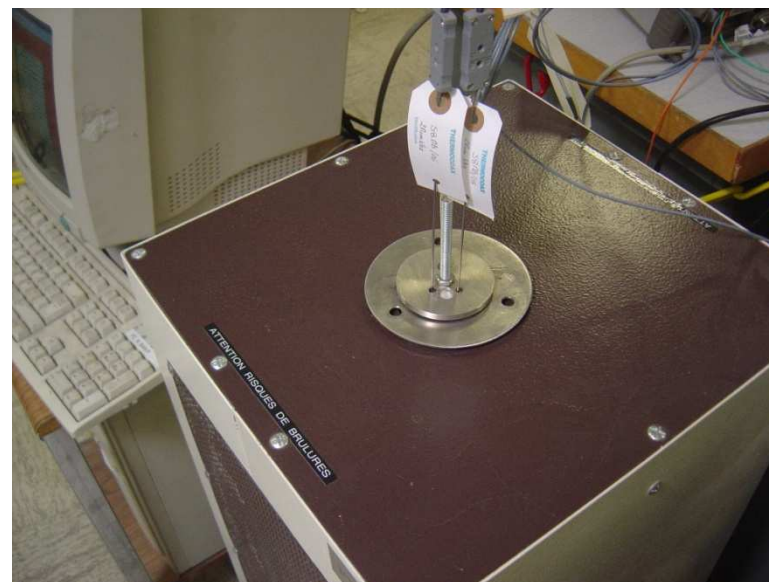
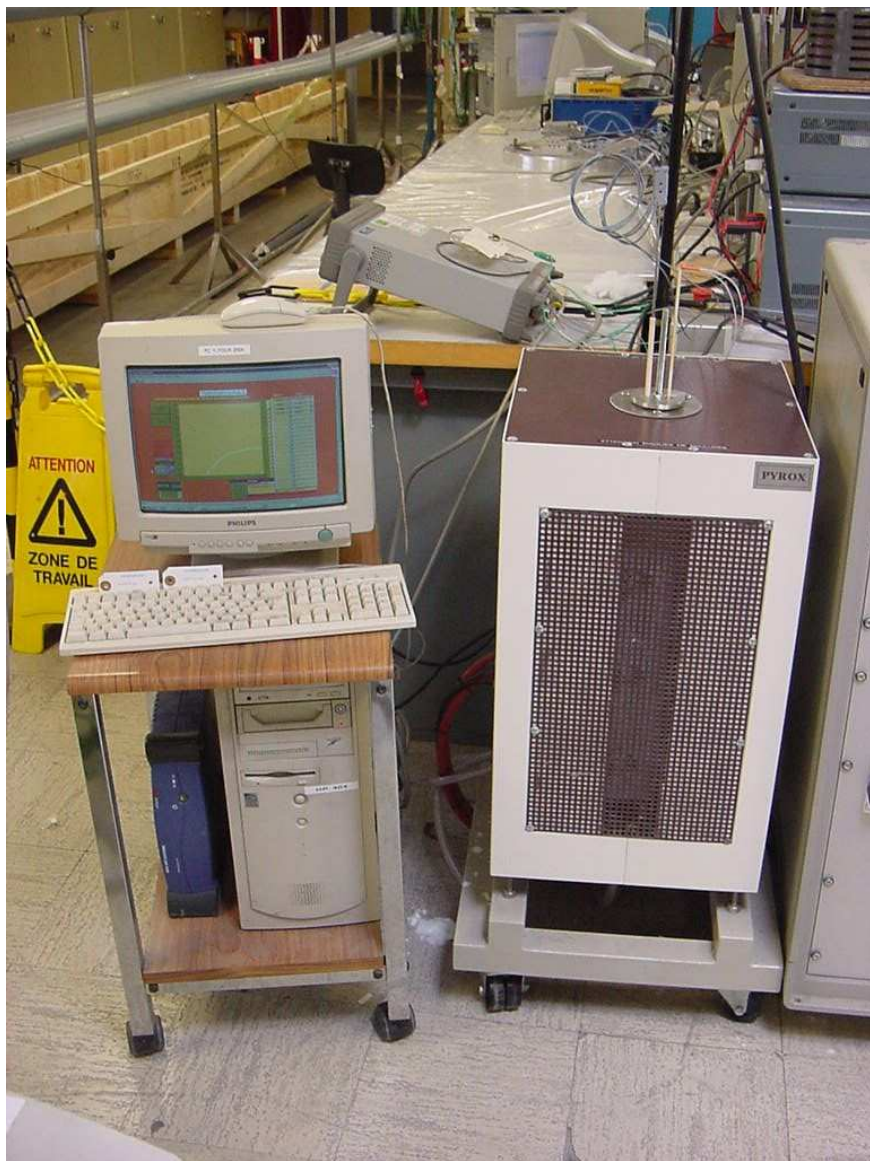


THERMOCOAX  
DEVELOPMENT



# Test à 1100°C sous balayage d'Helium

Température de référence : type S TC ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )



cea

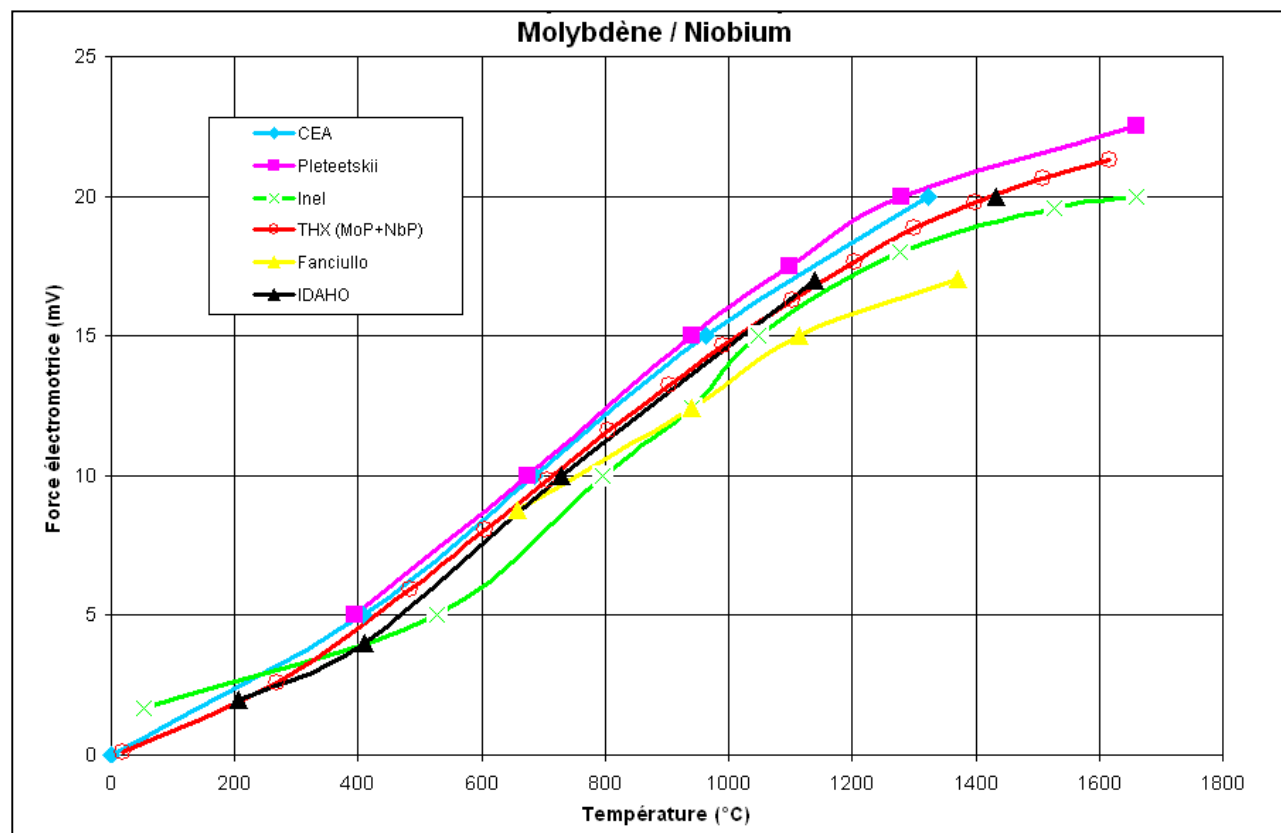
 **JRC**  
EUROPEAN COMMISSION

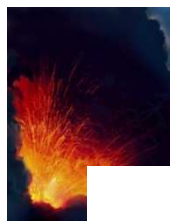
THERMOCOAX



## Sensibilité (entre 200-1200°C)

- Mo-Nb :  $\sim 15.2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Mom-Nbz :  $\sim 16.6 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$



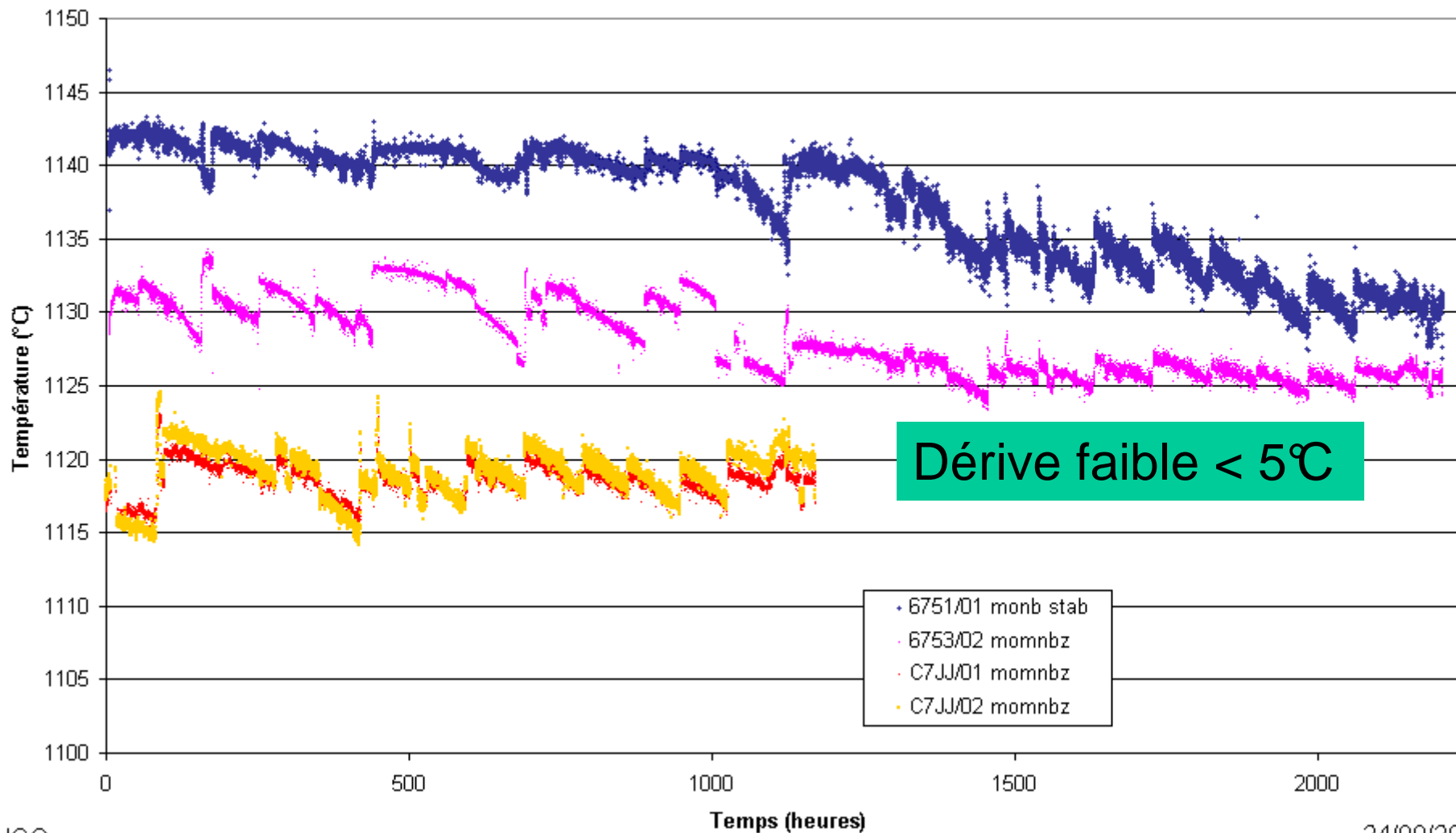


THERMOCOAX



# Thermocouples Mo-Nb et MoNb-Nb

## Endurance sur thermocouples MoNb et MoNbz



NGO

24/09/2009





## Synthèse – Dérive à 1100°

Type	Dérive thermique (après 1500 h)	Dérive neutronique (après 1500 h)	Total	Tmax
K dia 1.5 mm	- 10 à -20 °C	Négligeable	- 10 à -20 °C	1100°C
N dia 1.5 mm	-5 à -10 °C	Négligeable	- 5 à -10 °C	1200°C
S dia 1 mm	< 5 °C	-75 °C (-1.2°C/jour)	-80 °C	1600°C
C dia 1.6 mm	< 5 °C	-56 °C (-0.9°C/jour)	-60 °C	1800°C
Mom-Nbz dia 1.6 mm	< 5°C	Négligeable (hypothèse)	< 5°C	1500°C





THERMOCOAX  
DEVELOPMENT



Prochaine étape

- **Essai d'irradiation sur thermocouples MomNbz THX en cellule (CEA – JRC 2010-2011),**
- **Projet EURAMET : workpackage "température" dans le projet européen Metrofission (CNAM, CEM 2010-2012),**



cea



JRC  
EUROPEAN COMMISSION

THERMOCOAX