



*Cavités Supraconductrices*

*à Hauts Gradients*

*Collisionneurs Linéaires*

*Bernard  
VISENTIN*

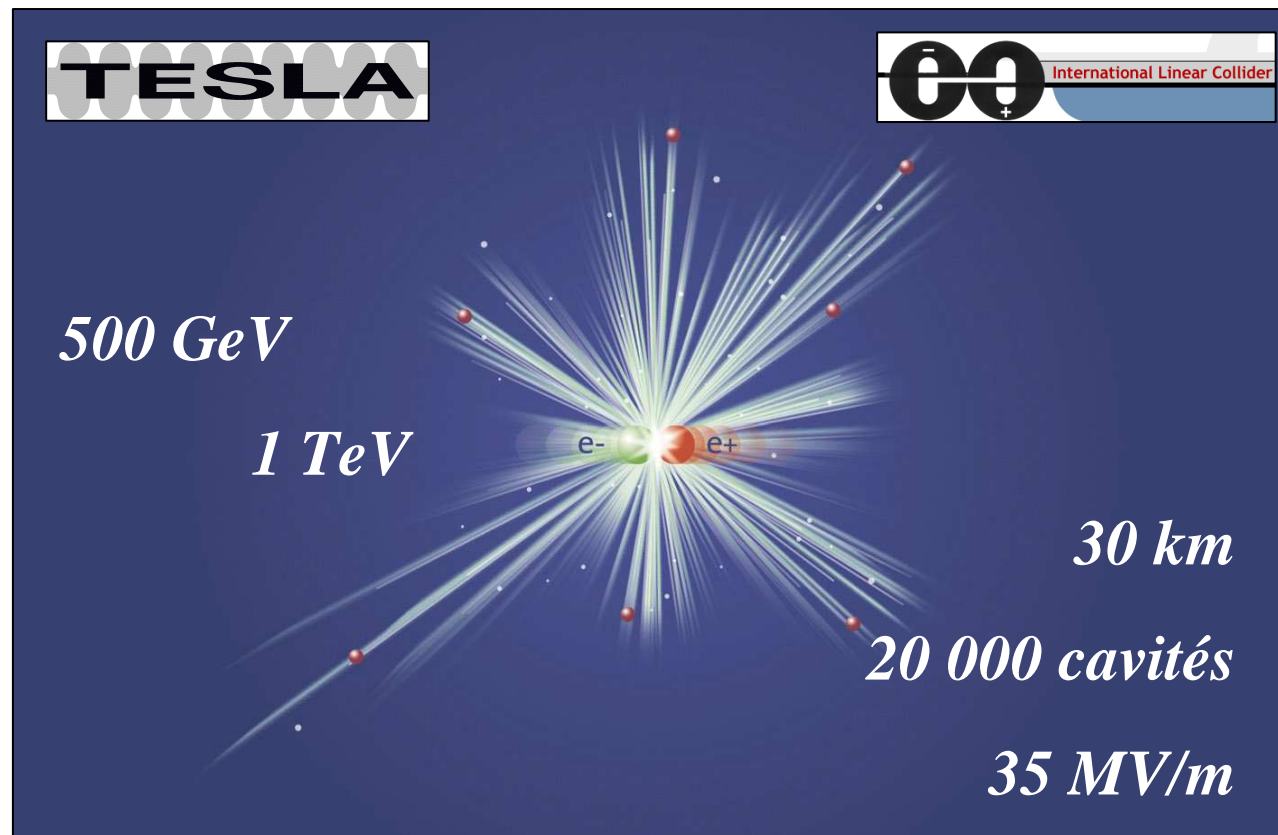


dapnia

cea

saclay

# Accélérateurs Linéaires Supraconducteurs



**XFEL**

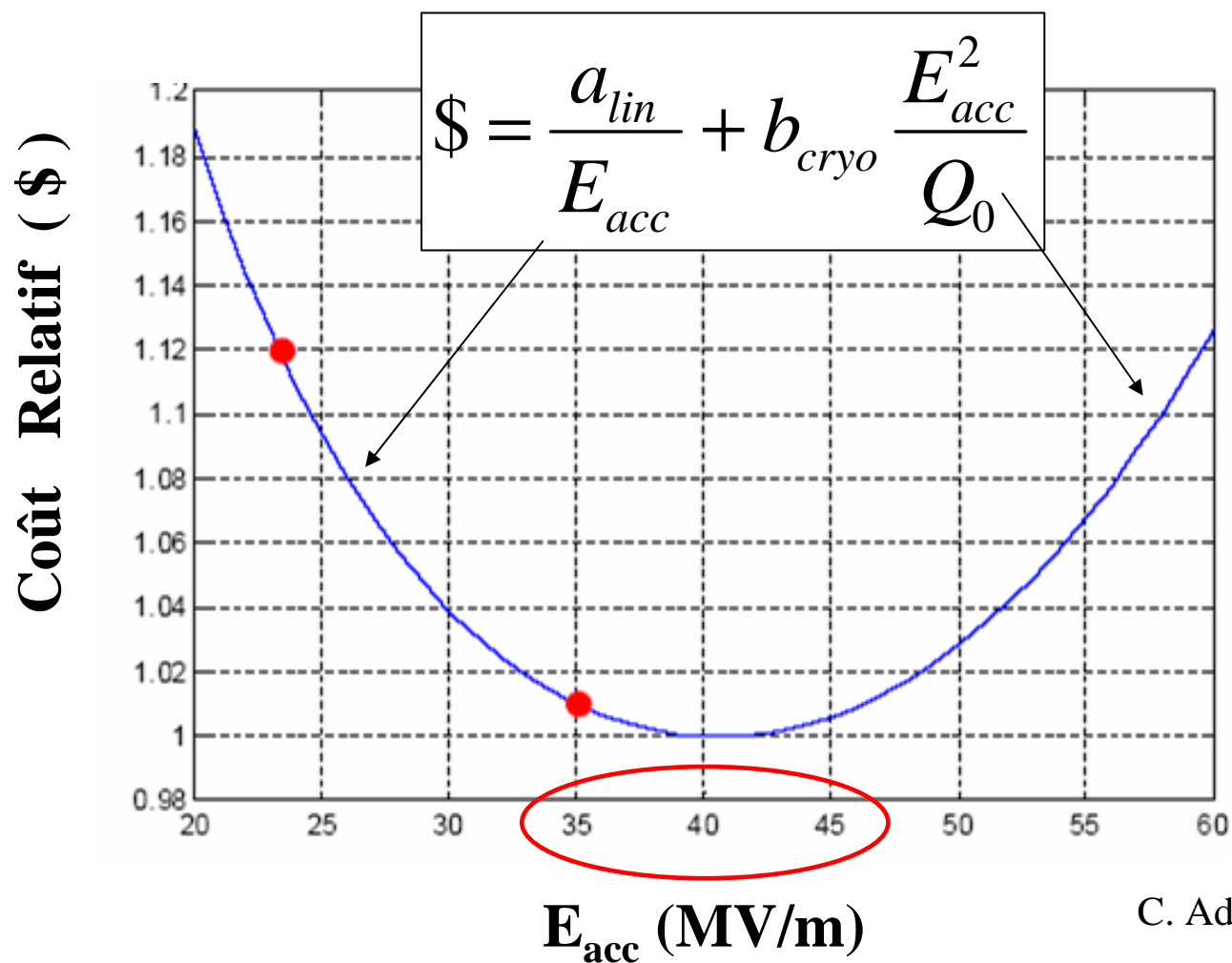
**X-ray Free Electron Laser** : 20 GeV – 2.1 km – 936 cavités – 23.5 MV/m

dapnia



saclay

## Hauts Gradients



C. Adolphsen (SLAC)

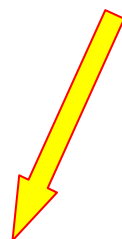
dapnia



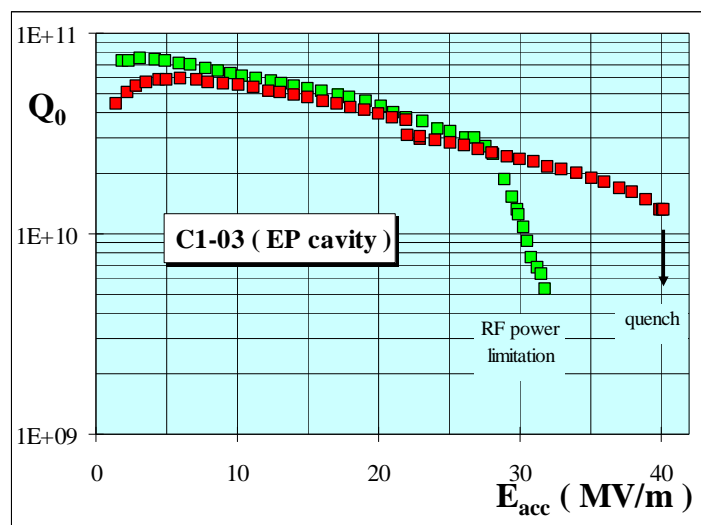
saclay

# LA RECETTE :

## Electrochimie + Etuvage



SRF Workshop'97



EPAC'98



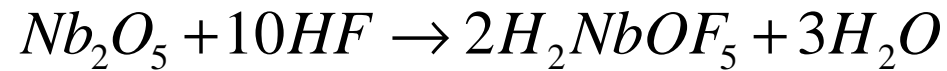
$$E_{acc} = 40 \text{ MV/m}$$

dapnia

cea

saclay

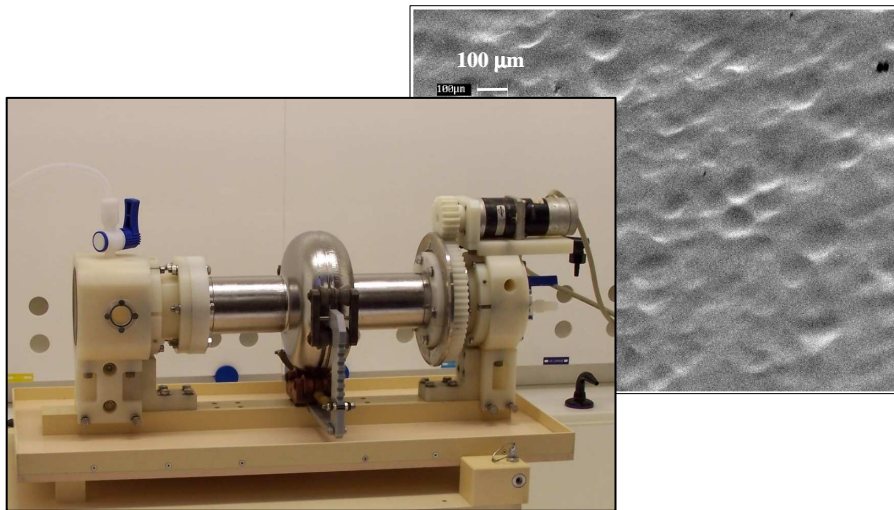
**Electrochimie** ← ? → **Chimie Standard**



Cathode - (Al)

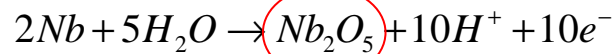
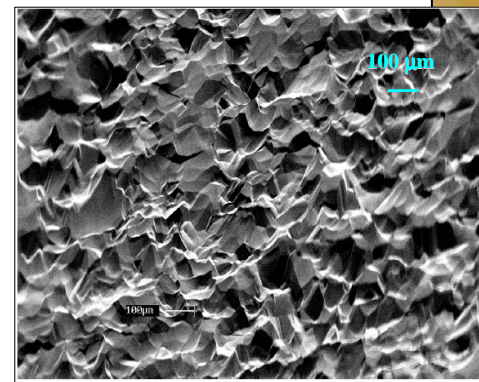
Anode + (Nb)

FS ( 1:9 ) V ( 17 volt ) – J ( 60 mA/cm<sup>2</sup> )

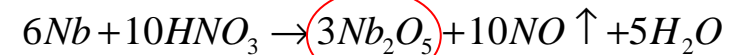


Trempage

FNP ( 1:1:2 )



$H_2SO_4 \rightarrow$  film anodique visqueux h<sup>te</sup> résistivité



$H_3PO_4 \rightarrow$  contrôle réaction

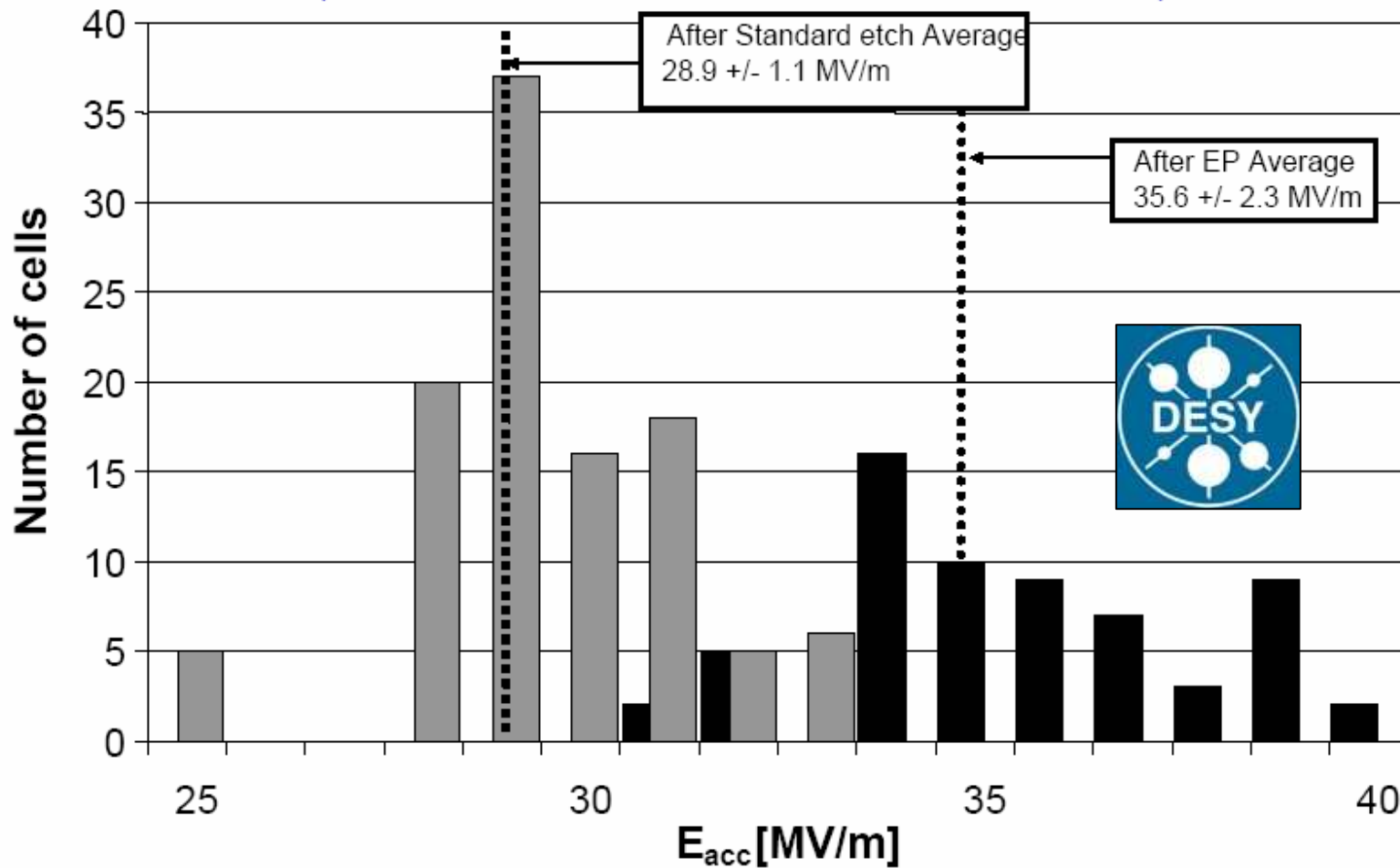
dapnia



saclay

# Electrochimie

## Reproductibilité - Emission de Champ



dapnia

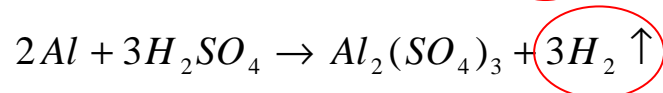
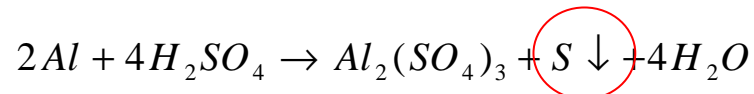
cea

saclay

## Optimisation des Performances

- Impuretés dans le bain EP

émission gaz ( $H_2$ ), dépôt (S) et corrosion à la cathode (Al)



rinçage à l'alcool des cavités

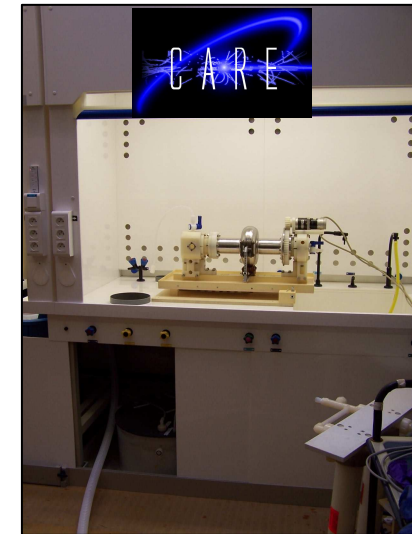
- Durée de vie du bain ( Nb dissout ): HF ↑

FS ( 1:9 ) - 9 g/l → FS ( 4:9 ) - 23 g/l

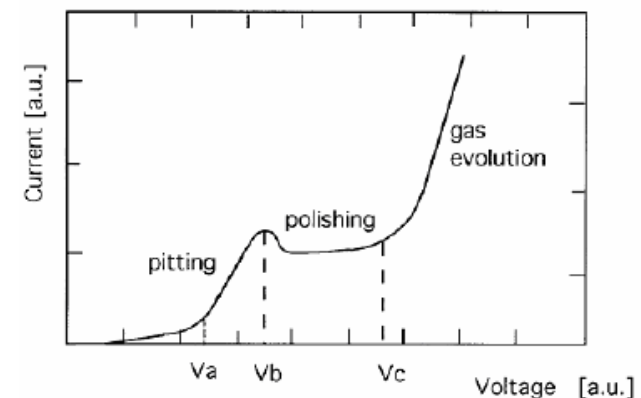
- Optimiser les paramètres EP ( V-I )

choix zone de fonctionnement ( plateau, ...)

F. Eozénou *et al.* (ThP02) – A. Aspart *et al.* (ThP03)  
SRF Workshop'2005

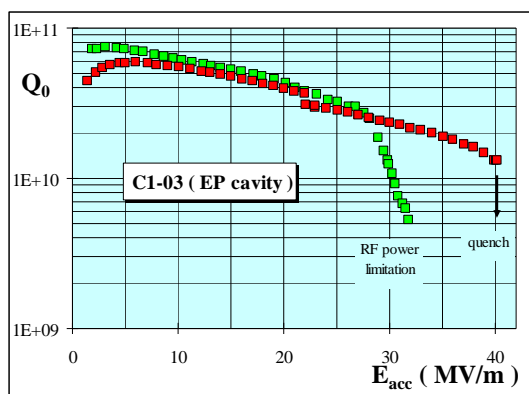


banc EP pour test sur cavité  
mono-cellule ( C. Antoine )

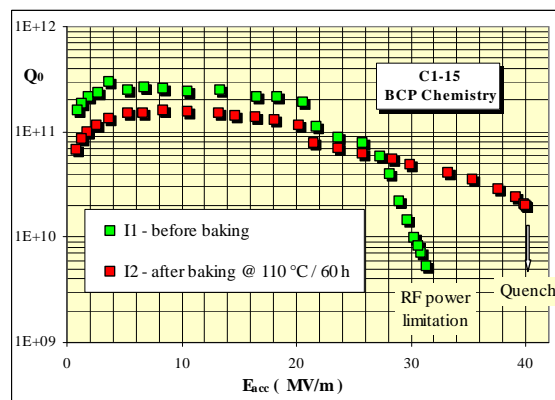


# *Etuvage* $\equiv$ *Phénomène Universel*

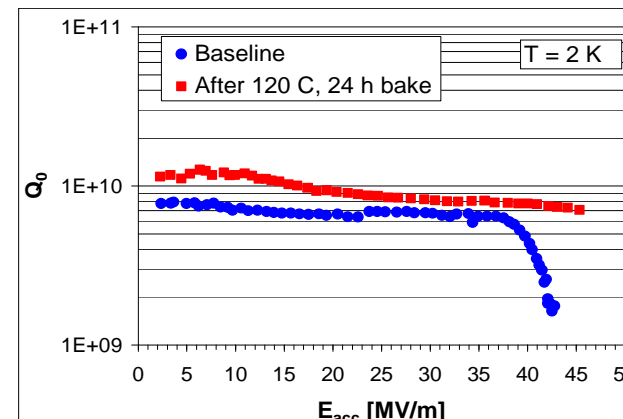
*in-situ (UHV)      T = 110 - 120 °C      t = 1 - 2 jours*



TTF 1.3 GHz - Saclay / KEK  
Poly-cristal  
Sans Traitement Thermique  
Electropolissage



TTF 1.3 GHz - Saclay  
Poly-cristal  
1300°C / Ti  
Chimie Standard 1:1:2



LL 2.2 GHz - JLab  
Mono-cristal  
800°C - 1250°C / Ti  
Chimie Standard 1:1:1

Quelle que soit la structure du niobium ... ( Mono or Poly-cristal,)

∇ la méthode de fabrication ... (Soudure FE or Hydroformage, Nb massif ou Nb/Cu feuilles)

∇ le traitement thermique ... ( sans, 800°C, 1300°C/Ti )

∇ le traitement chimique ... ( Electropolissage ou B C P )



dapnia



saclay

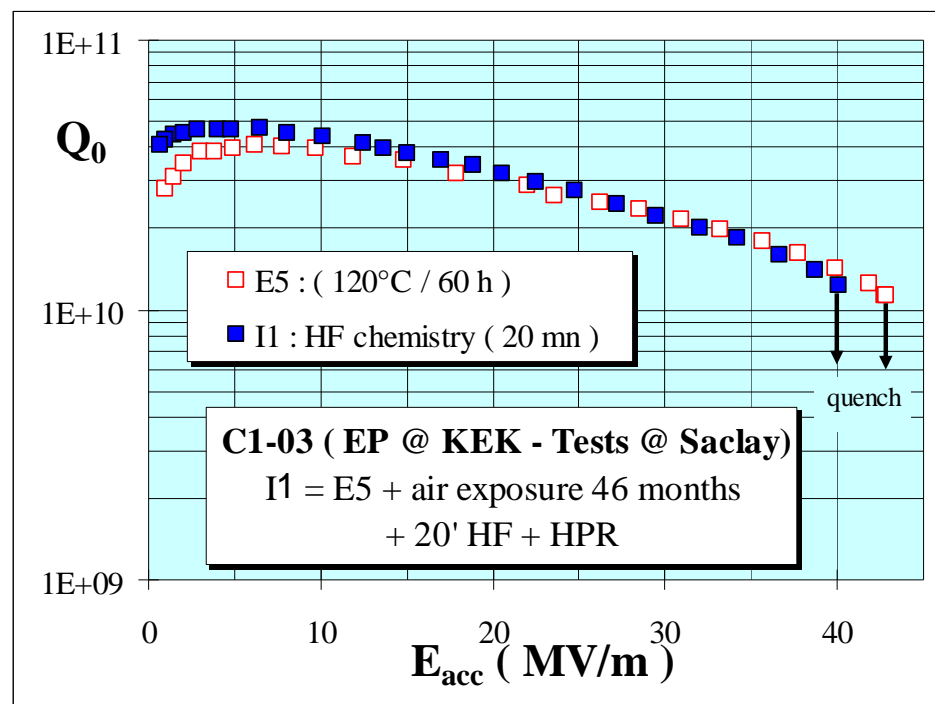
## *Etuvage* $\equiv$ *Traitement Définitif*

$T = 120\text{ }^{\circ}\text{C} / 2\text{ jours}$

+

*Exposition à l'air  
sans précautions  
particulières  
- 4 ans -*

*Traitement HF  
Rinçage Haute Pression*



dapnia

cea

saclay

# Origine du Phénomène ?

Théories (6)

	Q-Slope Fit	Q-Slope before baking (EP = BCP)	Q-Slope Improv <sup>t</sup> after baking	Q-Slope after baking (EP < BCP)	No change after 4 y. air exposure	Exceptional Results (BCP)	Q-Slope unchanged after HF chemistry	TE <sub>011</sub> Q-slope after baking	Q-slope existence on Single Crystal Cav.	Quench EP > BCP	BCP Quench unchanged after baking
Magnetic Field Enhancem <sup>t</sup>	O simulat. code	<del>N</del> $\beta_m \neq B_{C2}^S \neq$	O $B_{C2}^S \uparrow$	O lower $\beta_m$	-	N high $\beta_m$	-	-	<del>N</del> w/o surface roughness	O lower $\beta_m$	N $B_{C2}^S \uparrow$
Interface Tunnel Exchange	O $E^S$	N $\beta^* \neq$	O $Nb_2O_{5-y} \downarrow$	O lower $\beta^*$	N $Nb_2O_{5-y} \uparrow$	N high $\beta^*$	<del>N</del> new $Nb_2O_{5-y}$	<del>N</del> improv <sup>t</sup>	-	-	-
Thermal Feedback	O parabolic	O $\equiv$ thermal properties	O $R_{BCS} \downarrow R_{res} \uparrow$	N $\equiv$ therm. propties	-	-	-	-	-	-	-
Magnetic Field Dependence of $\Delta$	O expon <sup>tial</sup>	N $B_{C2}^S \neq$	O $B_{C2}^S \uparrow$	O higher $B_{C2}^S$	-	-	-	-	-	-	-
Segregation of Impurity at G.B.	?	N segregation $\neq$	N only O diffusion	O surface $\neq$	-	O good cleaning	N chemistry	-	<del>N</del> w/o G.B	-	-
Bad S.C. Layer Interstitial Oxygen Nb <sub>4,6</sub> O	?	O NC layer	O O diffusion	N	N interstitial re-appears	-	<del>N</del> new bad layer	-	-	O higher $B_{C2}^S$	N $B_{C2} \downarrow$

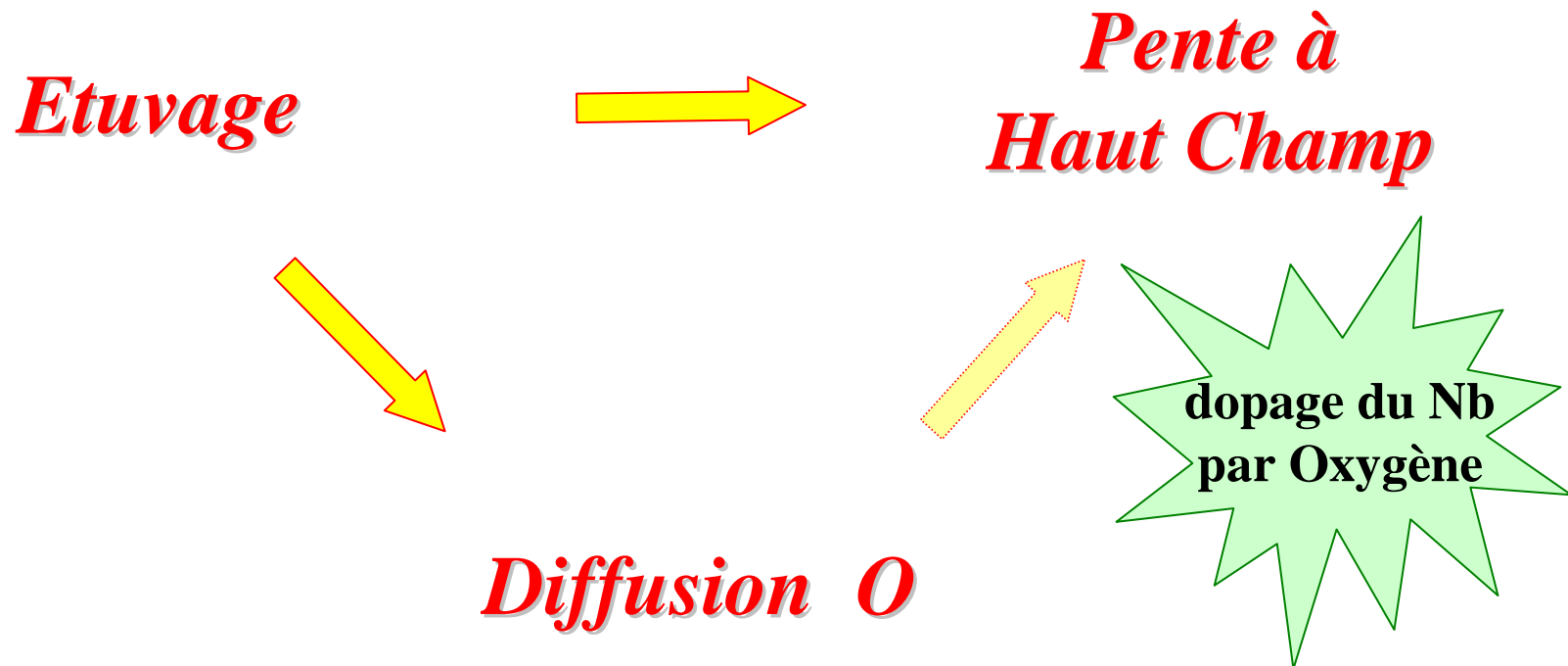
## Observations Expérimentales

dapnia



saclay

*Hypothèse de Travail :*

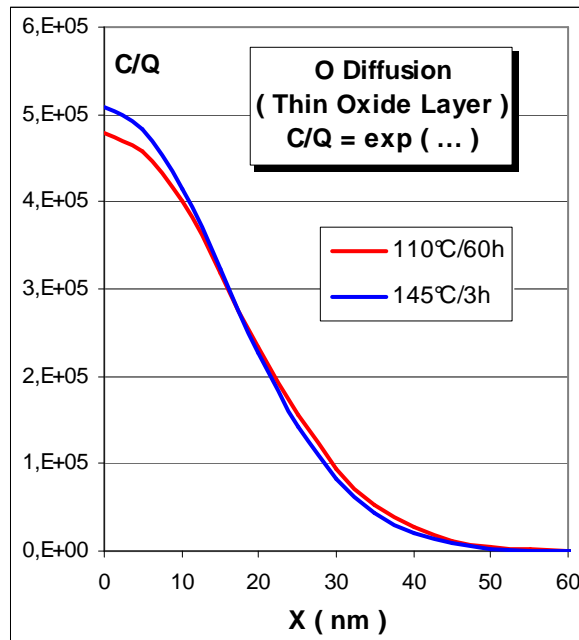


# Paramètres Etuvage ( T , t ) sans changer la Pénétration de l' Oxygène

2<sup>ème</sup> loi de Fick

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_0 e^{E_A/RT} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

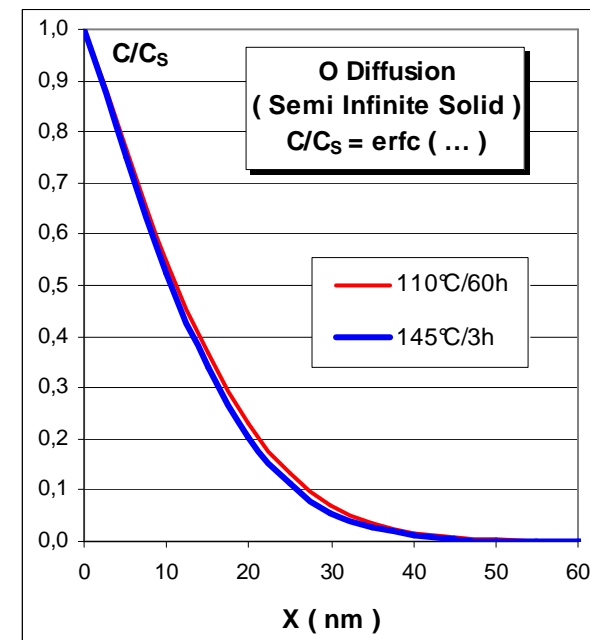
→ solutions analytiques



110 °C / 60 heures

équivalence

145 °C / 3 heures



couche mince oxyde :  $C(x,0) = Q \delta(x)$

solide semi-infini :  $C(0,t) = C_S$

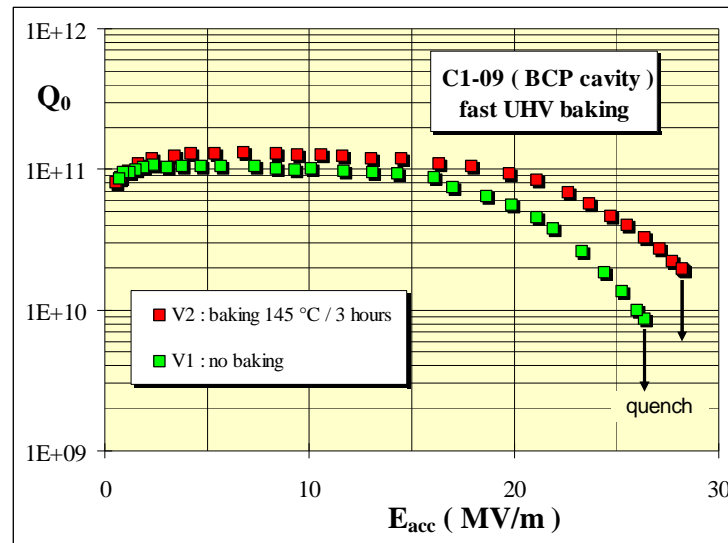
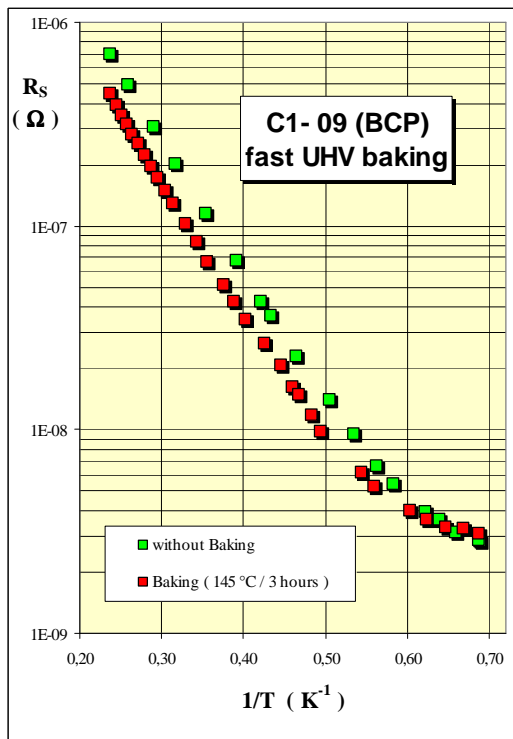
dapnia

cea

saclay

# *Etuvage « Rapide » ( Ultra Vide )*

- lampes Infra Rouges ( montée rapide en T )
- pompage interne de la cavité



145 °C - 3 heures  
Similarités avec Etuvage Standard  
Hypothèse Vérifiée

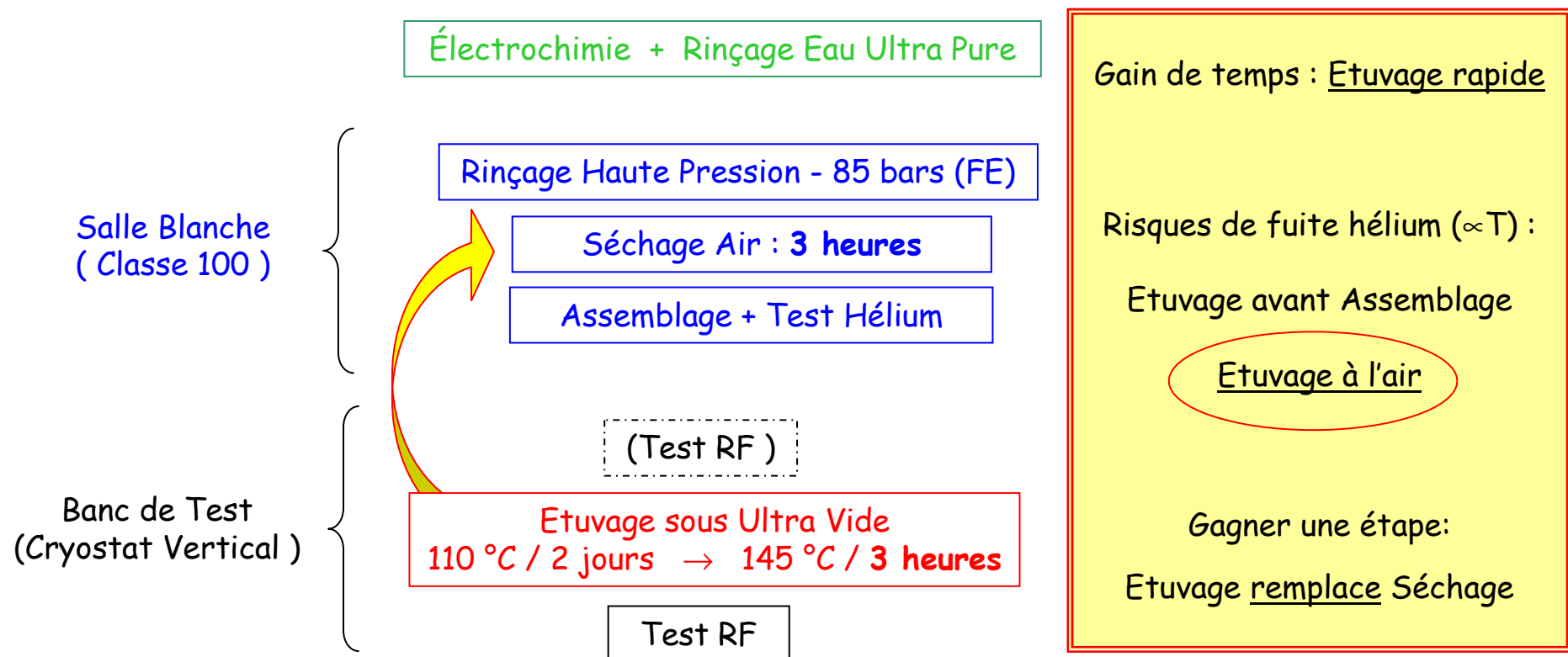


dapnia



saclay

# Mise en Œuvre peu adaptée à la Production en masse de Cavités



dapnia

cea

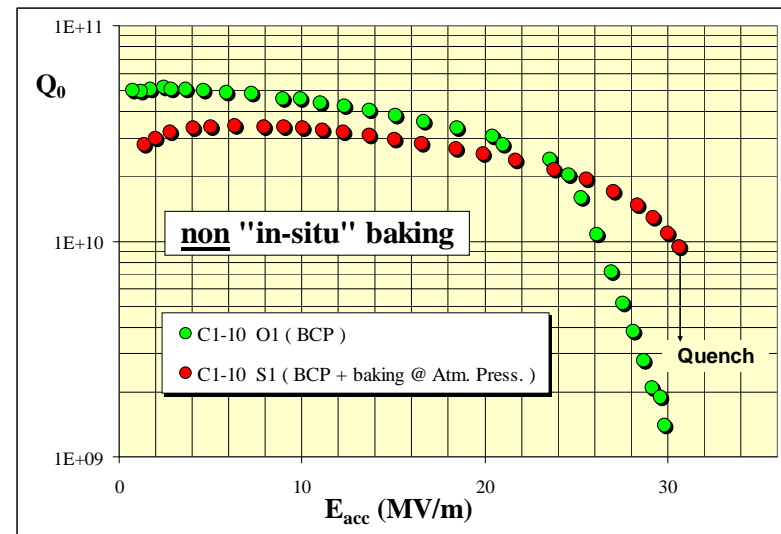
saclay

# « Ultra Vide » → « Etuvage sous Air » Interaction Atmosphère - Nb Surface

cavité non fermée dans une Etuve  
(atmosphère pièce - pression atmosphérique )



110 °C  
60 heures  
+ HPR



Pas de modification apparente due à l'atmosphère, mais...

dapnia

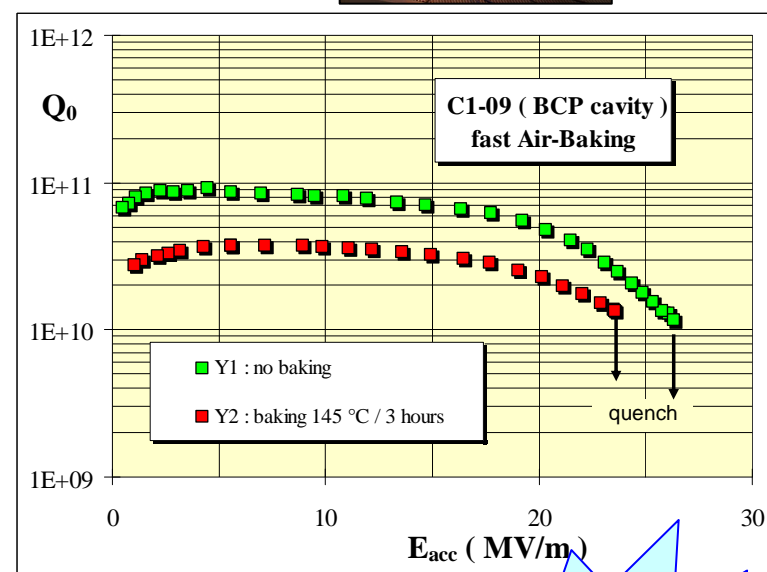
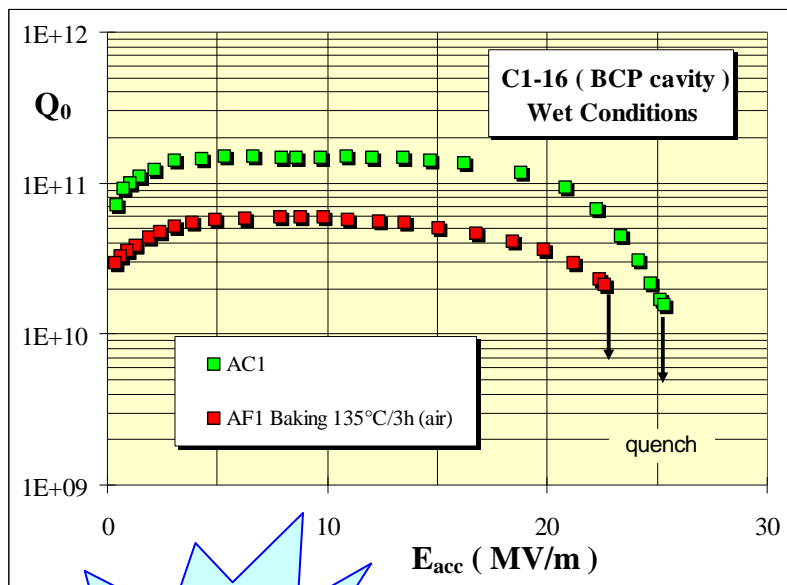
cea

saclay



# Etuvage Rapide à l'air

145°C / 3 heures + HPR



Étuve  
Cavité **Humide**  
après HPR

Mauvais Résultats après étuvage  
( $R_s$ , quench)  
interaction entre atmosphère  
et surface Nb(  $\neq$  Etuvage Rapide UHV )

lampes IR  
Cavité sèche  
SB hygrométrie  
60%



dapnia



saclay

O % ( provenance : NbO<sub>x</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> )

O %

Provenance : H<sub>2</sub>O en surface

	110 °C 3 h	110 °C 60 h standard	145 °C 3 h rapide	145 °C 60 h
Ultra Vide	=	+	+	-
Air		+	-	

**Contrôler la concentration Oxygène dans Niobium**

dapnia



saclay

# *Etuvage Optimisé pour la Production*

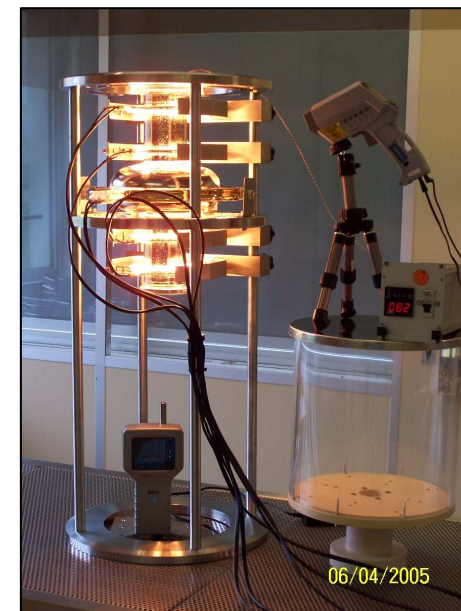
Salle Blanche  
(Classe 100)

Rinçage Haute Pression - 85 bars (FE)

Séchage Air Chaud : 145°C, t < 3 heures

Assemblage + Test Hélium

RF Test



Rapide Etuvage Air sur Cavité Humide sous Flux Laminaire (FE)

OK

t < 3heures

turbulences

# les Cavités Supra à Hauts Gradients

