

L'étuvage des Cavités Supraconductrices en Niobium ou comment résoudre "the European Headache".

Bernard VISENTIN
CEA Saclay - DSM / DAPNIA / SEA

Mis en évidence pour la première fois à Saclay, l'étuvage (105°C / 48 heures) des cavités supraconductrices en Niobium a permis de diminuer de manière significative leur résistance de surface. De ce fait, le facteur de qualité Q_0 de la cavité n'est plus dégradé pour de fortes valeurs du champ accélérateur.

Jusqu'à présent la caractéristique $Q_0(E_{acc})$ des cavités polies chimiquement présentait une très forte pente lorsque E_{acc} devenait supérieur à 20 MV/m. A l'opposé, les cavités fabriquées au KEK et ayant subi un traitement de surface par électropolissage démontraient une avancée technologique car elles ne possédaient pas une telle pente.

Or, récemment nous avons démontré expérimentalement plusieurs faits :

- toutes les cavités, polies chimiquement ou électropolies, présentent en fait la même pente,
- l'eau et les gaz adsorbés en surface ne sont pas à l'origine de cette pente,
- l'étuvage modifie les paramètres intrinsèques du supraconducteur ce qui provoque, dans tous les cas, le redressement de cette pente.

L'étuvage permet désormais aux cavités électropolies d'atteindre un champ accélérateur de 42 MV/m pour une valeur de Q_0 égale à 1.10^{10} .

L'Etuvage des Cavités Supraconductrices en Niobium ou comment résoudre « the European Headache »



Bernard VISENTIN

CEA Saclay - DSM / DAPNIA / SEA

Sommaire

* Cavité Supraconductrice (description et paramètres)

* Préparation de la Cavité

* « European Headache »

* Etuvage de la Cavité

Résistance de Surface

Facteur de Qualité

* Caractéristiques de l'Etuvage

* Influence du Traitement Chimique

* Libre Parcours Moyen des Electrons

* Instabilité Thermique Globale

* Conclusion

Cavité Supraconductrice

stocker énergie électromagnétique → accélérer particules

$$Q_0 \equiv 2\pi \frac{\text{énergie stockée}}{\text{énergie dissipée sur une période}} = \frac{G}{R_s}$$

Q_0 Facteur de Qualité (figure de mérite universelle résonateurs)
 G Facteur Géométrique
 R_s Résistance de Surface

$$E_{acc} = \frac{1}{L} \int_0^L E_z dz$$

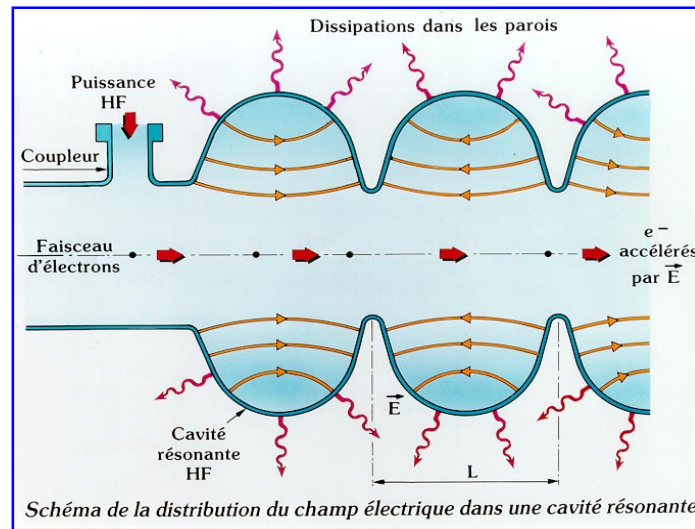
E_{acc} Champ Moyen vu par un électron
 L Longueur de la cavité

But :

E_{acc} ↗

Q_0 ↗ (R_s ↘)

supraconducteur



Electrons

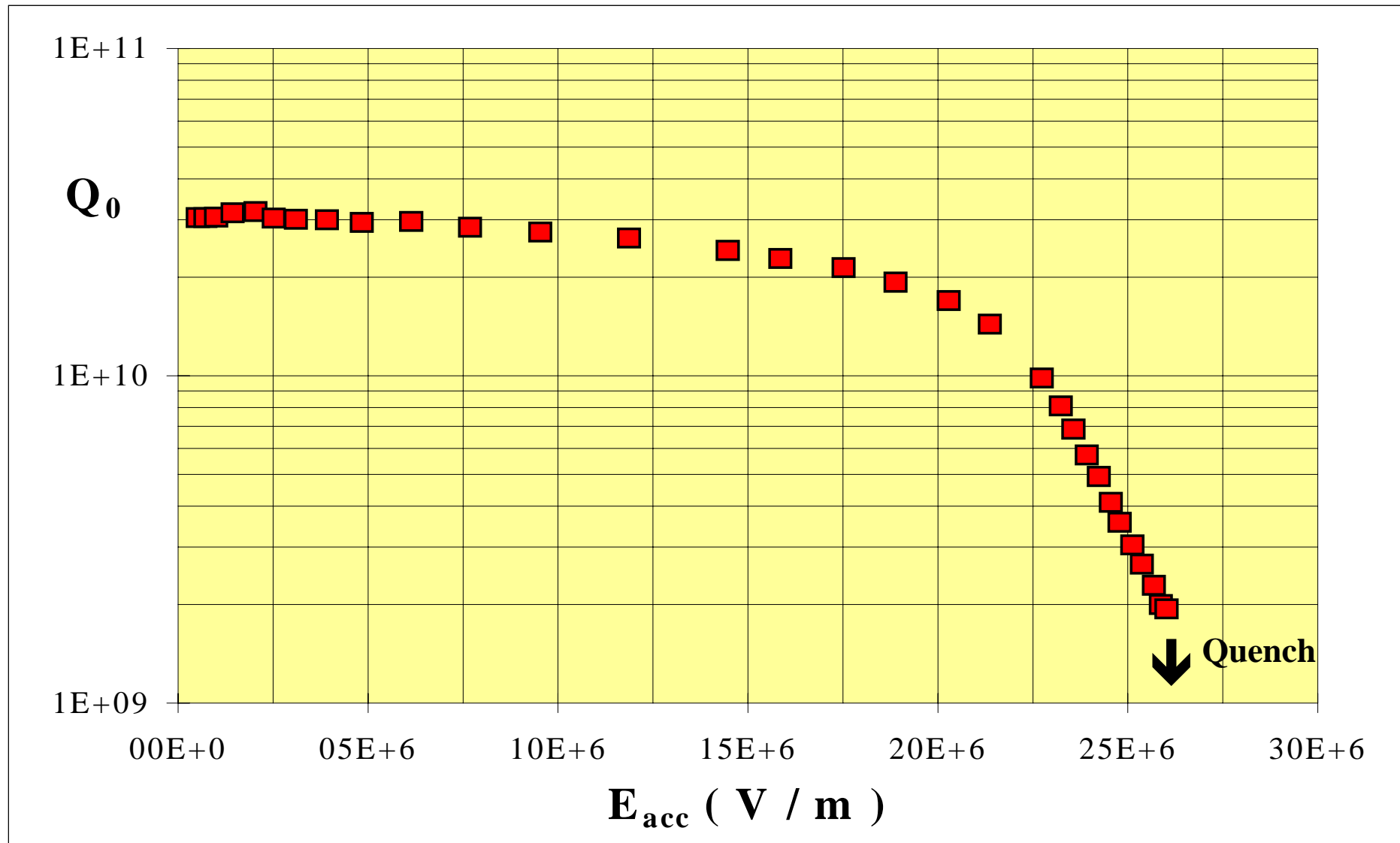
Monocellule ($L = 10 \text{ cm} - G \approx 280 \Omega$)

Radio Fréquence 1.3 GHz

Niobium massif ($T_c = 9.2 \text{ K}$) $T = 1.5 \text{ K}$

He liquide 4.2 K

He II superfluide ($< T_\lambda = 2.17 \text{ K}$)



Quench : transition supra / normal - défaut local - fort champ E_{acc} (j_s) $T > T_c$ - P_{diss} - désaccord cavité

Préparation de la Cavité

Recuit à 800°C

élimination H - effet 100K

Recuit à 1400°C (Ti)

purification - conductivité thermique ↗

Dégraissage

Traitement Chimique

mélange 3 acides (trempage ou projection)

Lavage

eau

Salle Blanche

classe 100

Rinçage Haute Pression

eau « H.P.R. »

Séchage

air

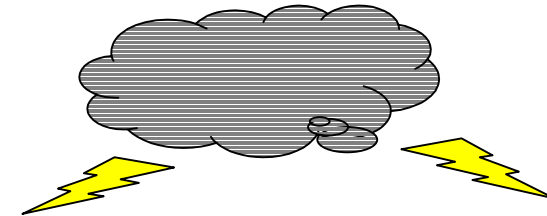
Pompage

P.T.M. ($\approx 2.10^{-8}$ mbar)

Banc Test R.F.

P.I. + Cryogénie

« European Headache »



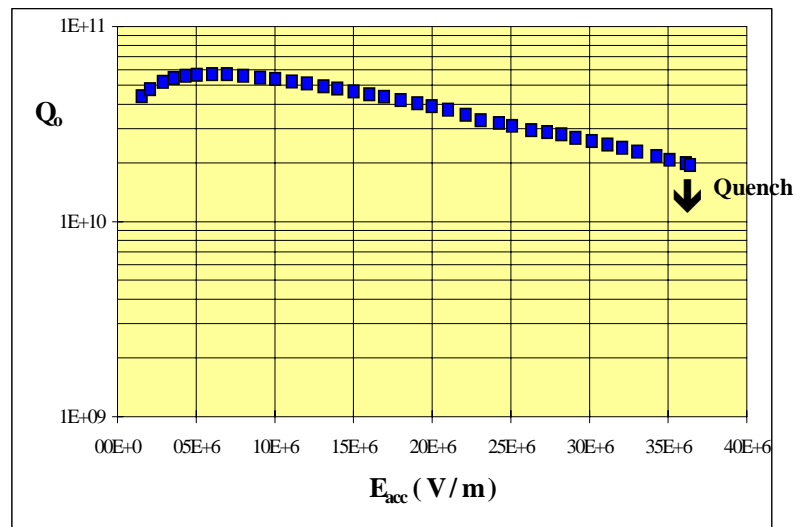
8^{ème} Workshop Supraconductivité R.F. (Abano-Italie-Octobre 97)

" Superiority of Electropolishing over Chemical Polishing on High Gradients " Kenji SAITO et al.

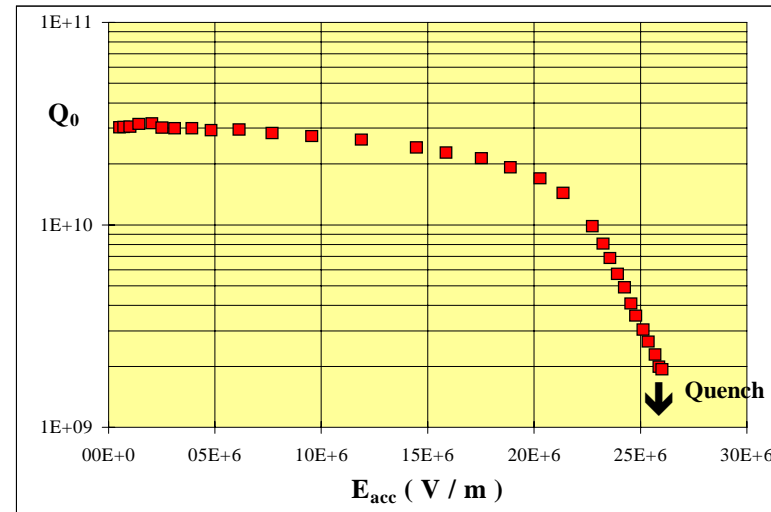
The "European Headache" seen at Saclay ...

- is characterised by a steep Q-degradation with or without x-ray detection, starting at the gradient below 25 MV/m.
- is common to the chemically polished cavities, so it should be called as " CP Headache ".

Electrochimie C1-03 (KEK)



Polissage Chimique C1-05 (CEA-Saclay)



Etuvage de la Cavité

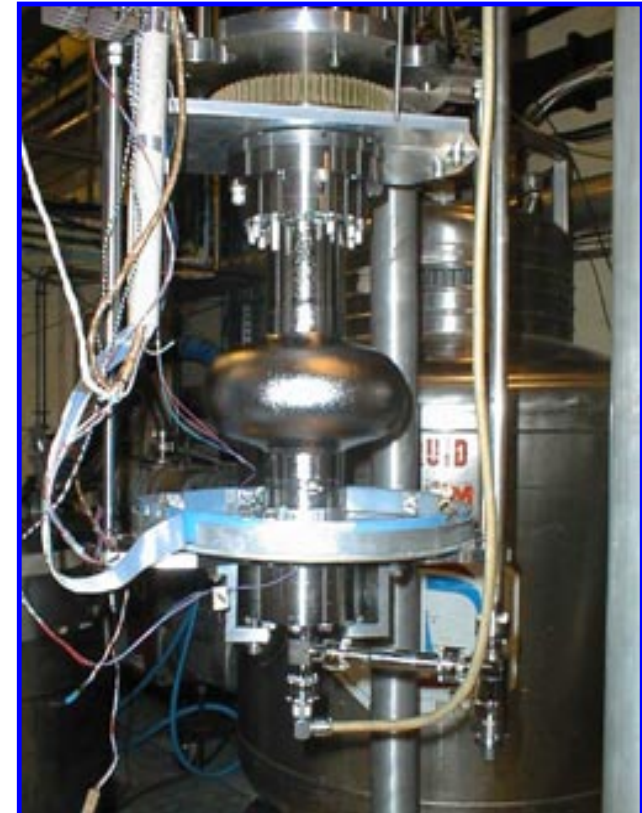
Problème de Surface → étuvage cavité

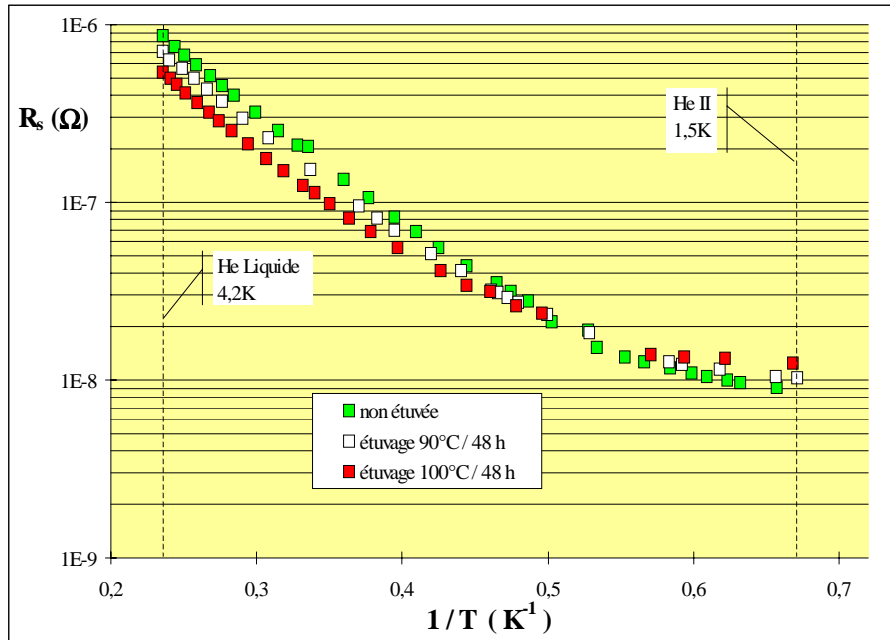
Expérience déjà réalisée plusieurs fois (180°C/120 h) : dégradation (Q_{0max} , Quench, e^-)

Nouvelles conditions (Janvier 98) :

- sans démontage (vanne, câbles)
- dans le cryostat rempli He gaz (oxydation surface ext.)
- résistance chauffante (gaz)

90°C / 48 heures





$$E_{acc} = 1 \text{ MV/m} - T \curvearrowright$$

$$R_S = R_{BCS} + R_{res} = \frac{A\omega^2}{T} e^{-\Delta/kT} + R_{res}$$

* R_S diminue de 50% à 4.2 K ($R_{BCS} \curvearrowright$)

* R_S augmente légèrement à 1.5 K ($R_{res} \curvearrowright$)

$$T = 4.2\text{K et } 1.5 \text{ K} - E_{acc} \curvearrowright$$

* 4.2K **Augmentation de Q_0** ($R_{BCS} \curvearrowright$)

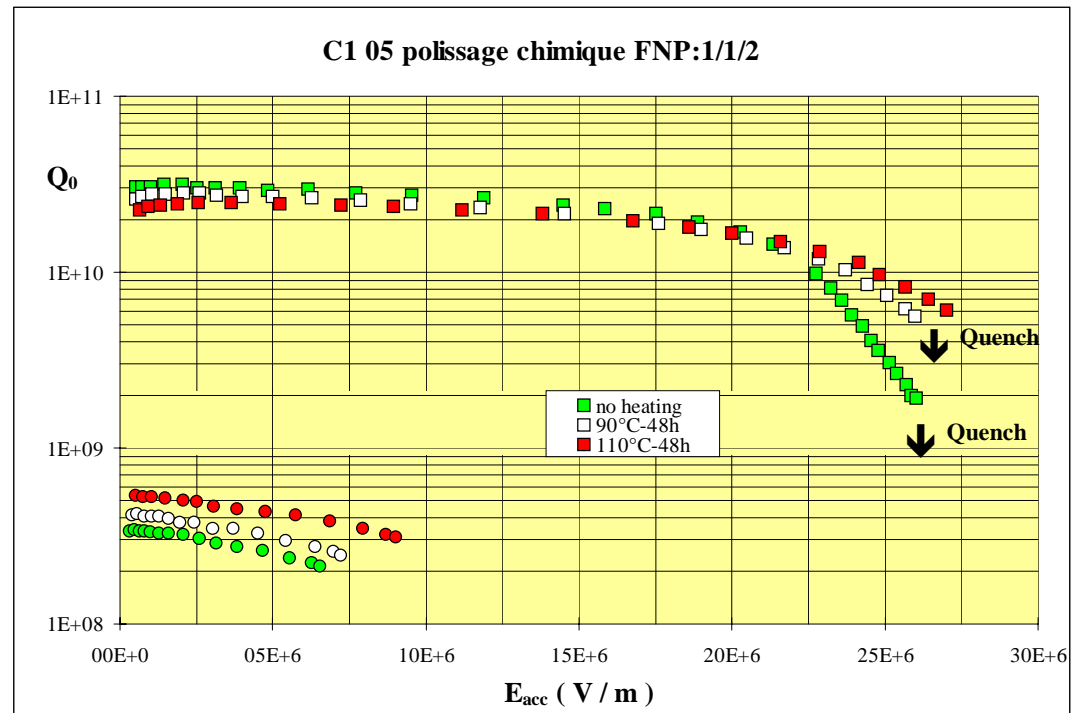
* 1.5K

Légère dégradation de Q_0 à bas champ ($R_{res} \curvearrowright$)

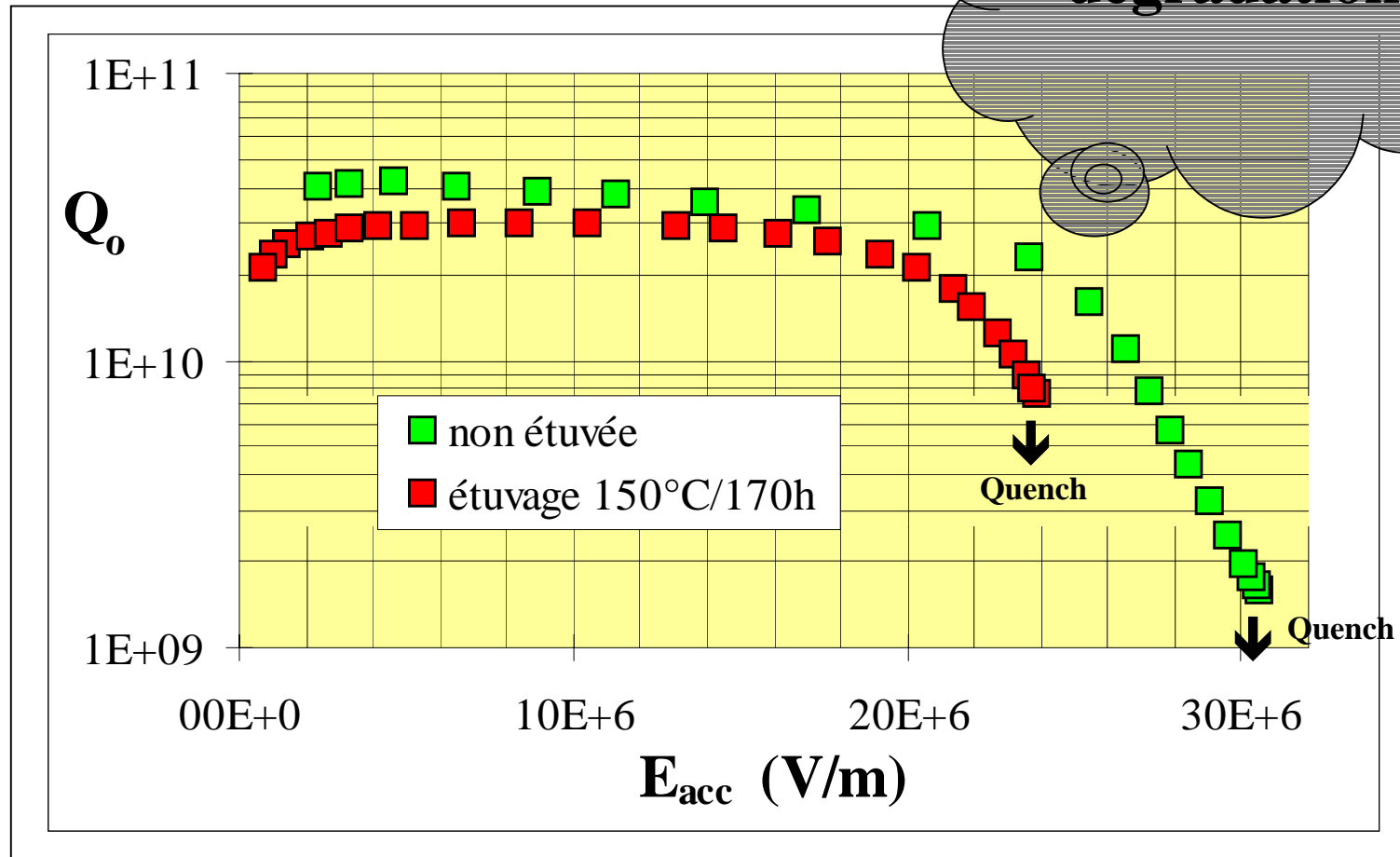
Relèvement de la pente à fort champ

90°C - 110°C / 48 h

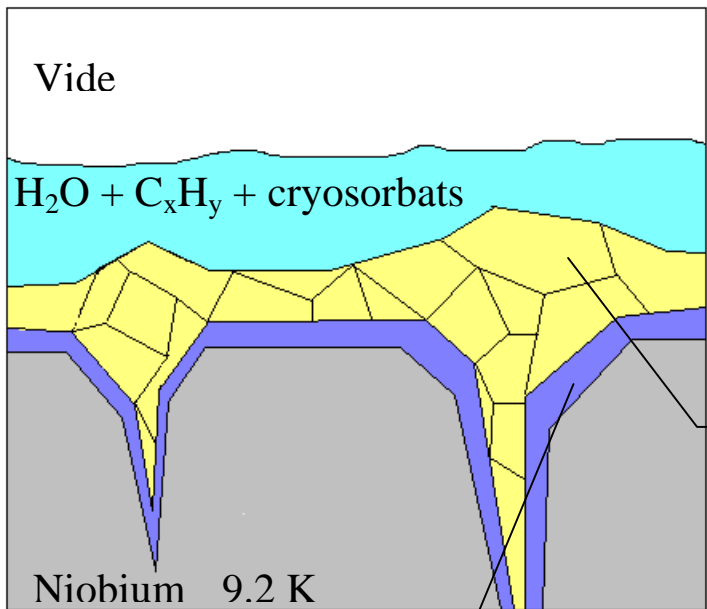
170°C / 70 h (cordons chauffants - vide)



Caractéristiques de l' Etuvage (I)



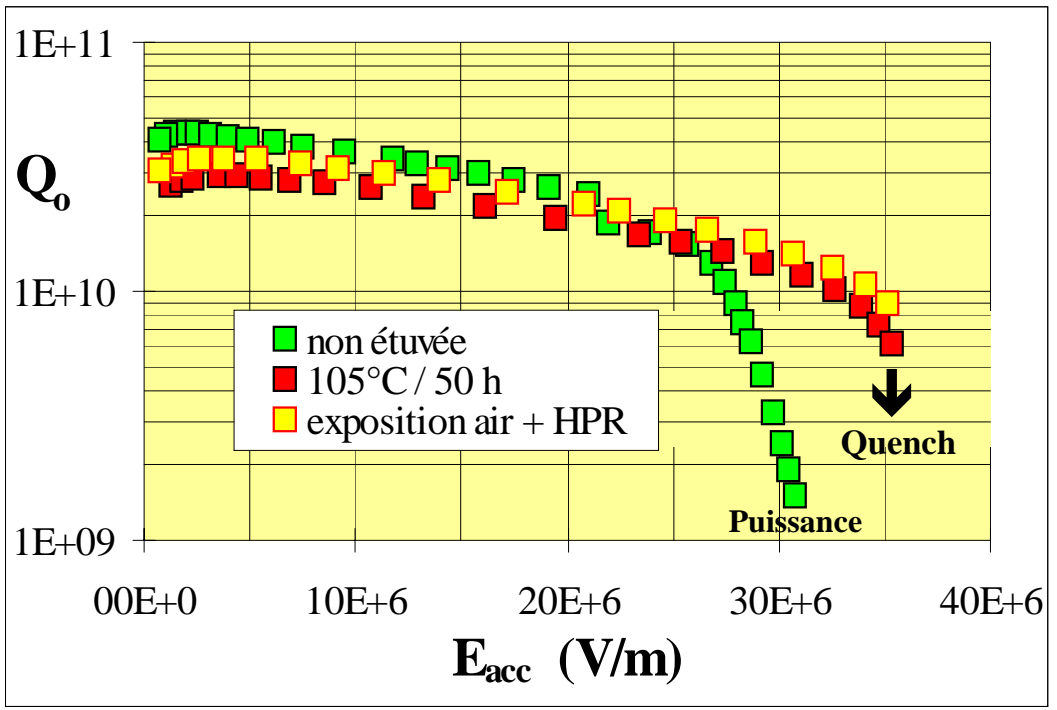
Caractéristiques de l' Etuvage (II)



NbO	1.38 K
NbO _x	7 K

Joint de grains

Diélectrique Nb₂O₅



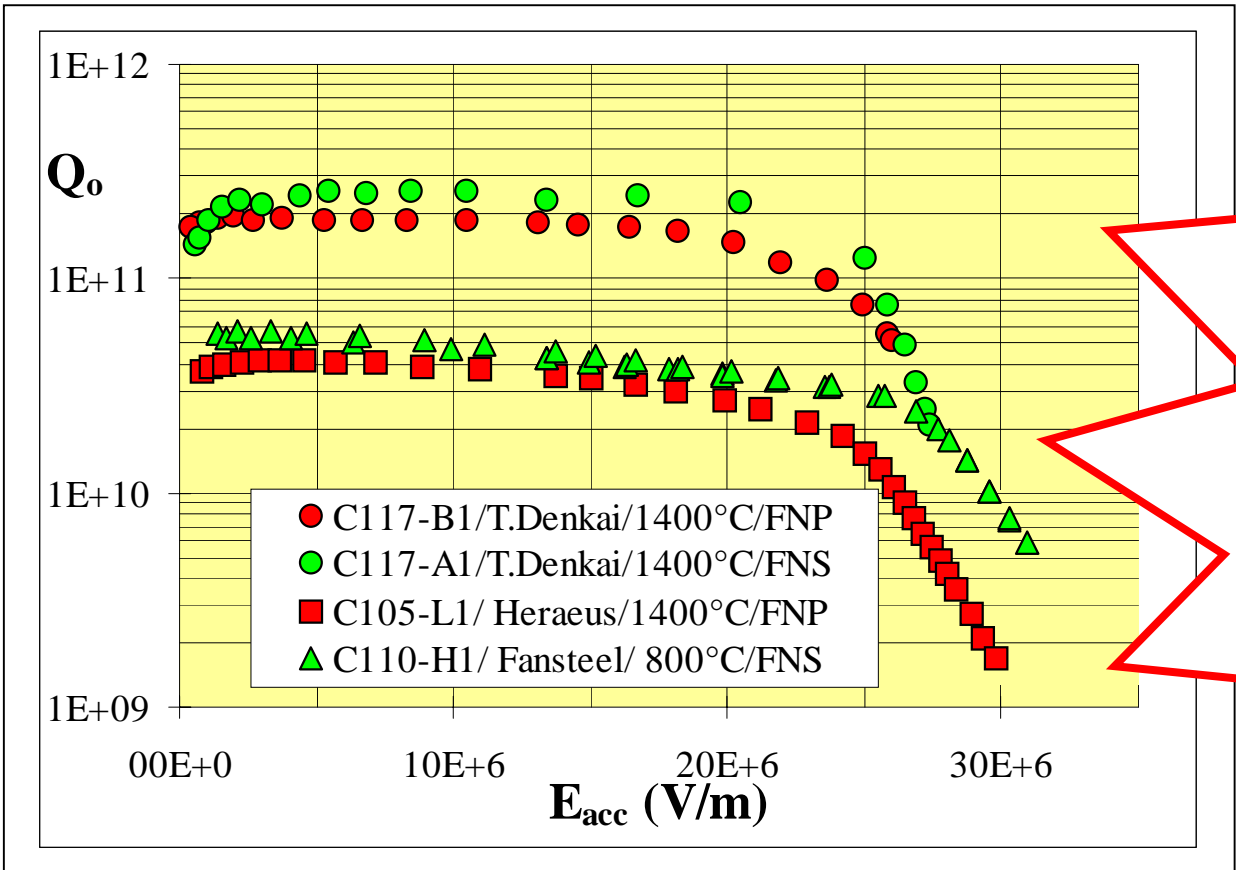
Ouverture cavité
 Exposition à l'air (8 h / 1 s / 2 mois)
 Rinçage Haute Pression (eau)

Eau et Adsorbats
non impliqués

Electrochimie → Influence du Bain Chimique

Mélange de trois acides {

HF	/	HNO ₃	/	H ₃ PO ₄	:	1 / 1 / 2
HF	/	HNO ₃	/	H ₂ SO ₄	:	1 / 1 / 1 et 1 / 0.5 / 9
HF	/	HNO ₃	:			1 / 9



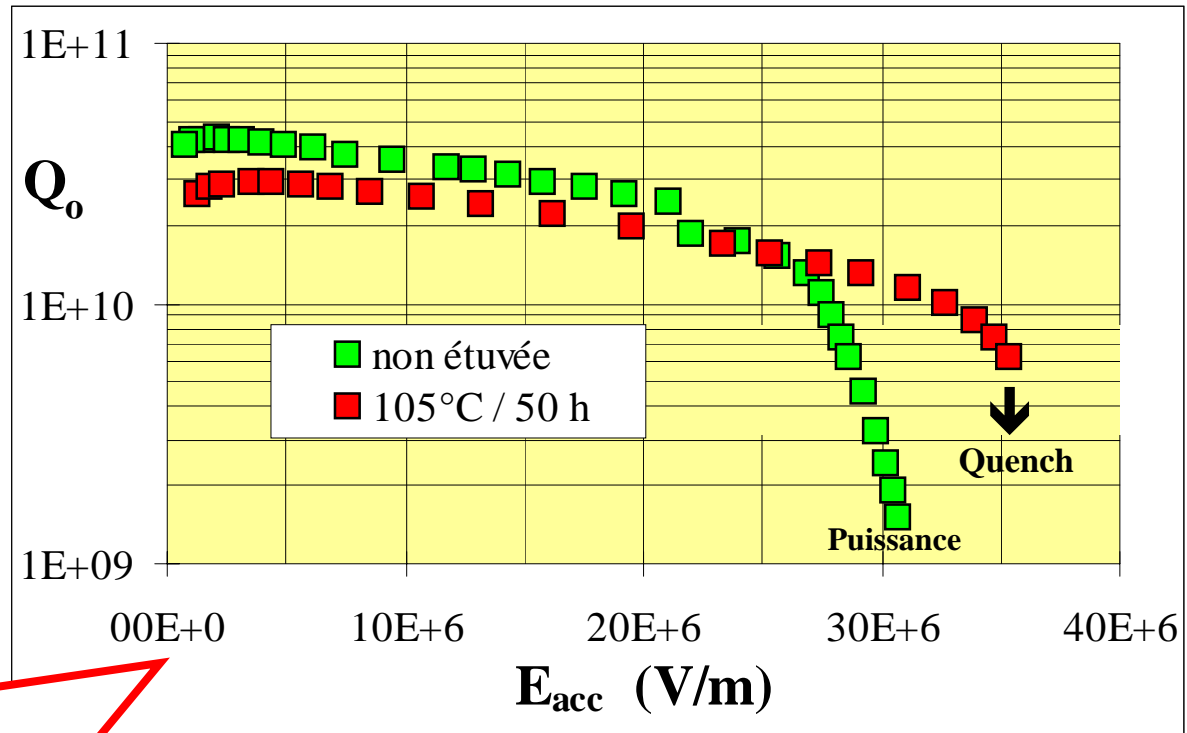
Pas de Changements
Significatifs

- Pente
- Quench

Electrochimie ???

Collaboration
DES Y / CERN / Saclay

Tests de cavités électrochimées



- Existence d'une pente
- Disparaît après étuvage

- ### Procédure préparation (KEK)
- Rinçage HPR
 - Pas de séchage
 - Pompage cavité humide (80°C / 20h)

Récapitulatif

Quel que soit le traitement chimique de la cavité:

- bain acides: FNP - FNS ... (Saclay)
- électrochimie (KEK)

$Q_0(E_{acc})$ présente une pente au-delà de 25 MV/m

L'étuvage de la cavité (110 °C / 48 h) permet:

- de relever cette pente
- de diminuer par un facteur deux la R_s à 4.2 K (R_{BCS})
- d'augmenter légèrement la R_s à 1.5 K (R_{res})

L'eau et les adsorbats ne sont pas concernés

Que se passe t'il donc ?

Libre Parcours Moyen des Electrons

Modèle "deux fluides" ($n_n + n_s$)

$$R_s = \frac{1}{2} \omega^2 \mu_0^2 \lambda^3 \sigma_n$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = \left(\frac{m}{n_s e^2 \mu_0} \right)^{1/2} \sqrt{1 + \xi_F / l} \\ \sigma_n = \frac{n_n e^2 l}{m v_F} \end{array} \right.$$

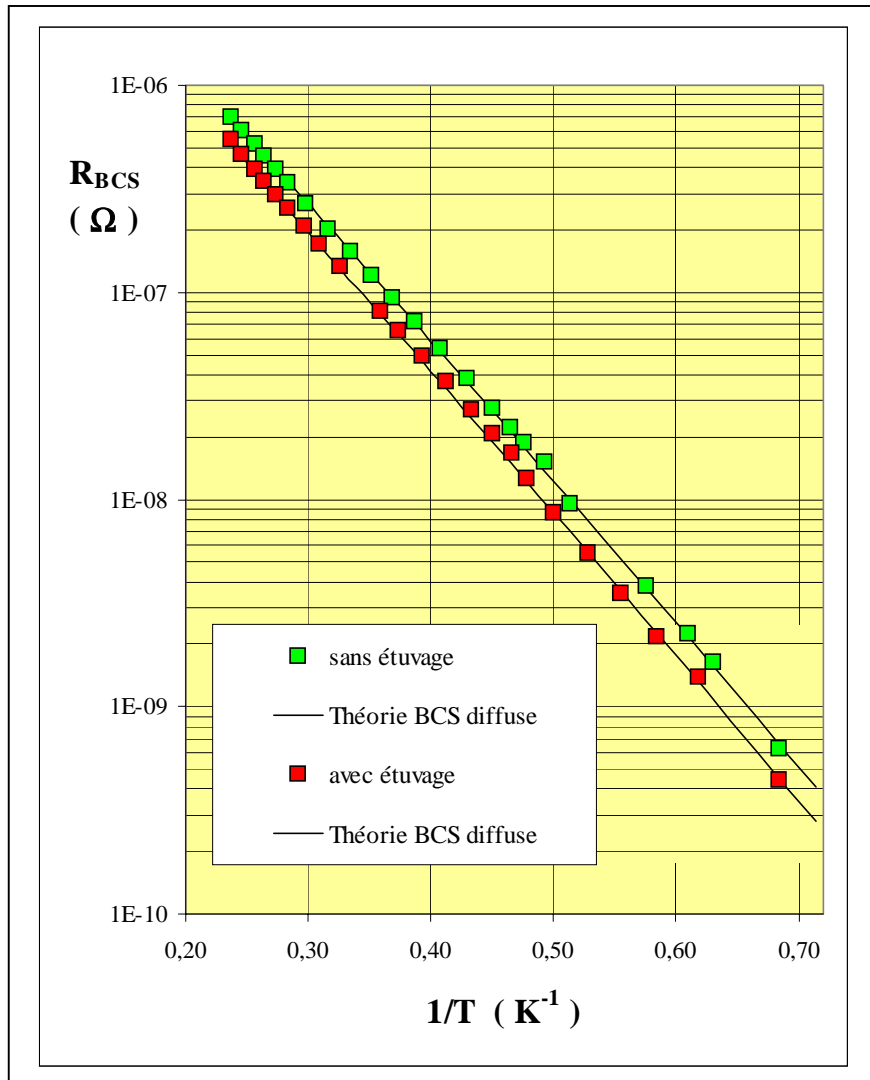
Théorie BCS

$$R_{BCS}(T) = A(\lambda_L \xi_F, l) \frac{\omega^2}{T} e^{-\Delta/kT}$$

Programme Halbritter

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_L = 32nm \\ \xi_F = 62nm \\ \Delta/kT_C = 1,84 \\ T_C = 9,22K \end{array} \right.$$

l varie lors de l'étuvage



Instabilité Thermique Globale

$E_{acc} > 25 \text{ MV/m ?}$

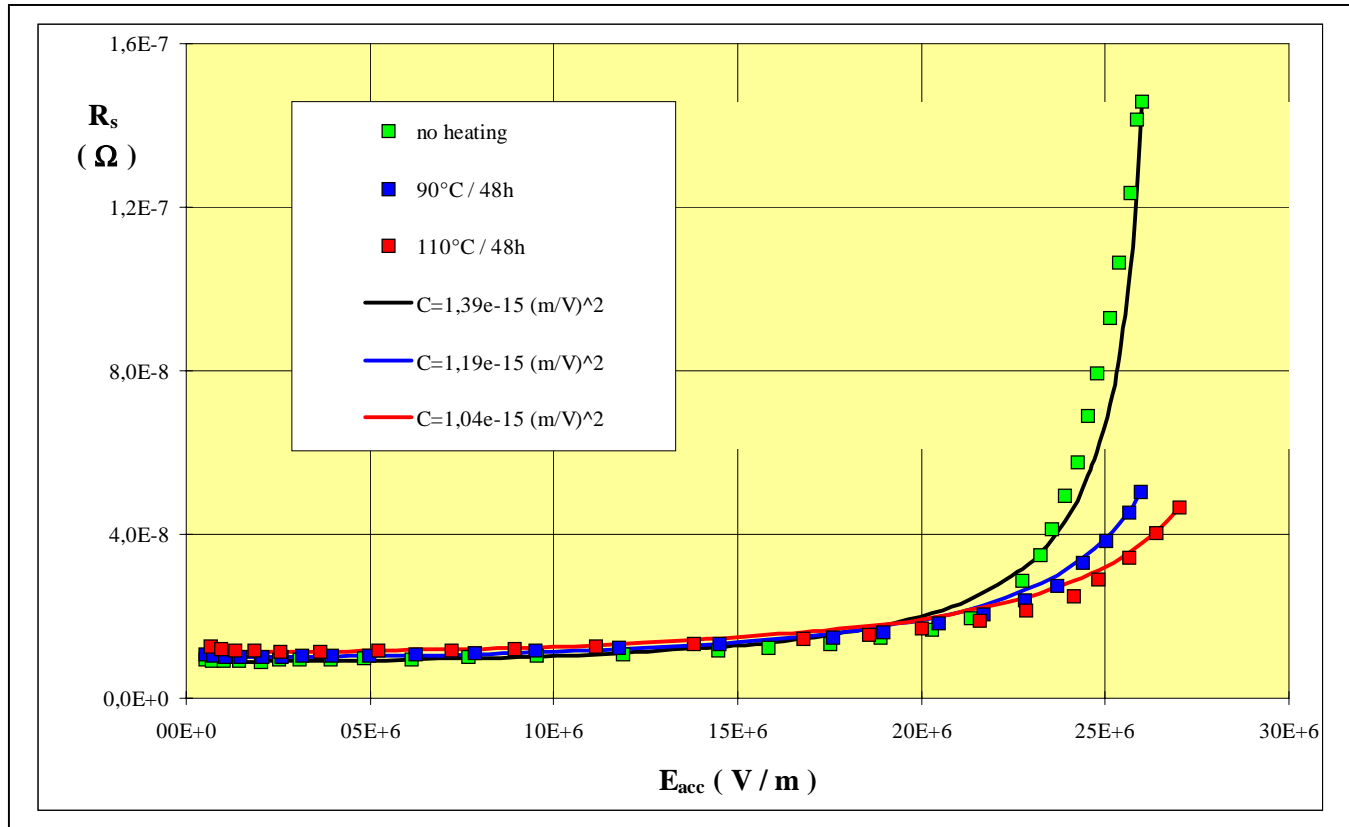
"feedback thermique"

$$R_S = R_{res} + A \frac{\omega^2}{T} e^{-\frac{A}{kT}}$$

$$\left\{ \begin{aligned} R_S(E_{acc}) &= R_S(0) + \frac{\partial R_S}{\partial T} \Delta T \\ \Delta T &= R_{therm} \Delta P = \left(\frac{e}{\kappa} + \frac{1}{h_K} \right) \frac{R_S H_S^2}{2} \end{aligned} \right.$$

$$R_S(E_{acc}) = \frac{R_S(0)}{1 - C E_{acc}^2}$$

$$C \propto \left(\frac{e}{\kappa} + \frac{1}{h_K} \right) \frac{\partial R_S}{\partial T} \propto A$$



Modification du matériau $A (\lambda_L, \xi_F, \ell)$

$\left\{ \begin{aligned} &\text{diminution de } R_{BCS} \\ &\text{diminution de } \frac{\partial R_S}{\partial T} \end{aligned} \right.$

Résultats sur l'étuvage

6^{ème} EPAC (Stockholm - SUEDE - Juin 98)

9^{ème} Workshop Supraconductivité R.F. (Santa Fe - USA - Nov. 99)

Depuis EPAC'98

Jefferson Laboratory

KEK

CERN

INFN-Legnaro (cavité repoussée - sans soudure - 33 MV/m)

Records actuels

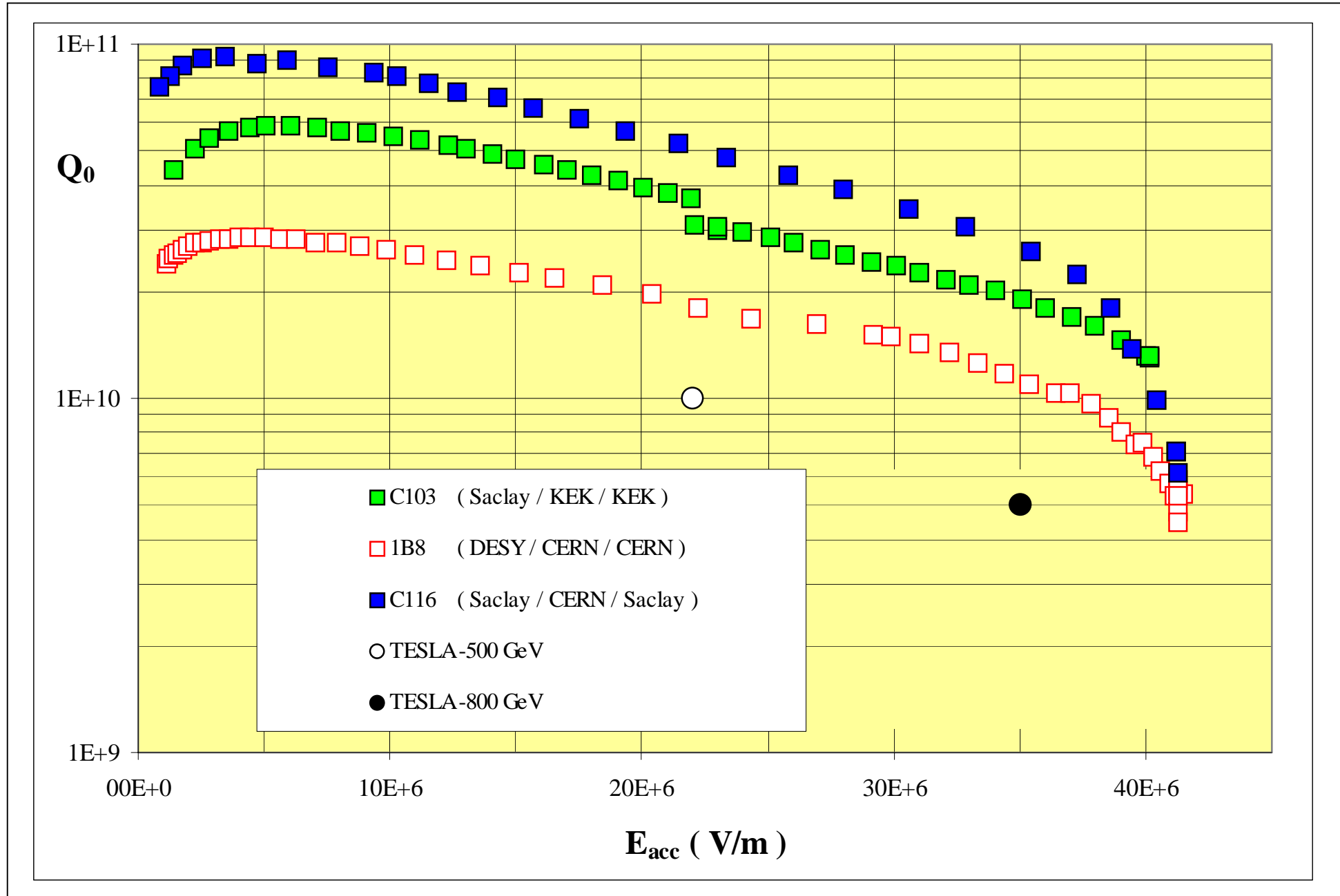
> 40 MV/m

Cavités embouties et soudures BE (3)

Electropolies

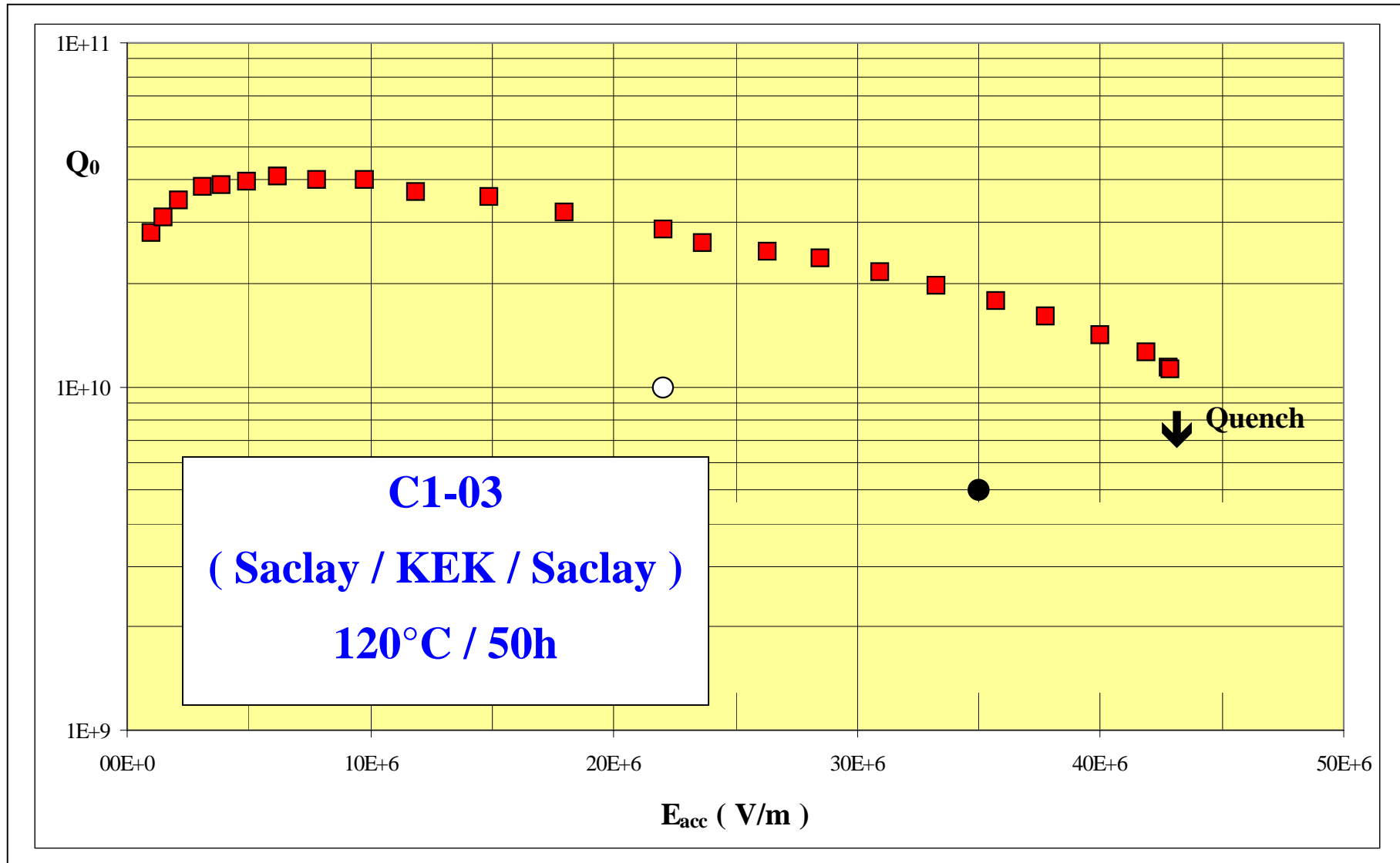
Monocellule

Etuvage (100°C / 50 h)



Saclay, le 15 Mars 2000 : Actuel Record Mondial

$$E_{acc} > 42 \text{ MV/m} - Q_0 > 1.10^{10}$$



Conclusion

**Etape nécessaire préparation cavité
(EP, CP, recuit thermique RRR)**

Modifie paramètres supra → diminution de R_{BCS}

Amélioration durable (accélérateur) : > 2,5 mois exposition air

Cavité « standard »

T = 4.2 K - Meilleur Q_0 (→ facteur 2)

Cavité « type TESLA »

T = 1.5 K - Haut Gradient (E_{acc} → 42 MV/m)

Perspectives en *R & D* Supra

Augmenter performances des cavités avec polissage chimique

Electrochimie: préparation chimique compliquée
 surface plus fragile (processing)
 multicellules (???)

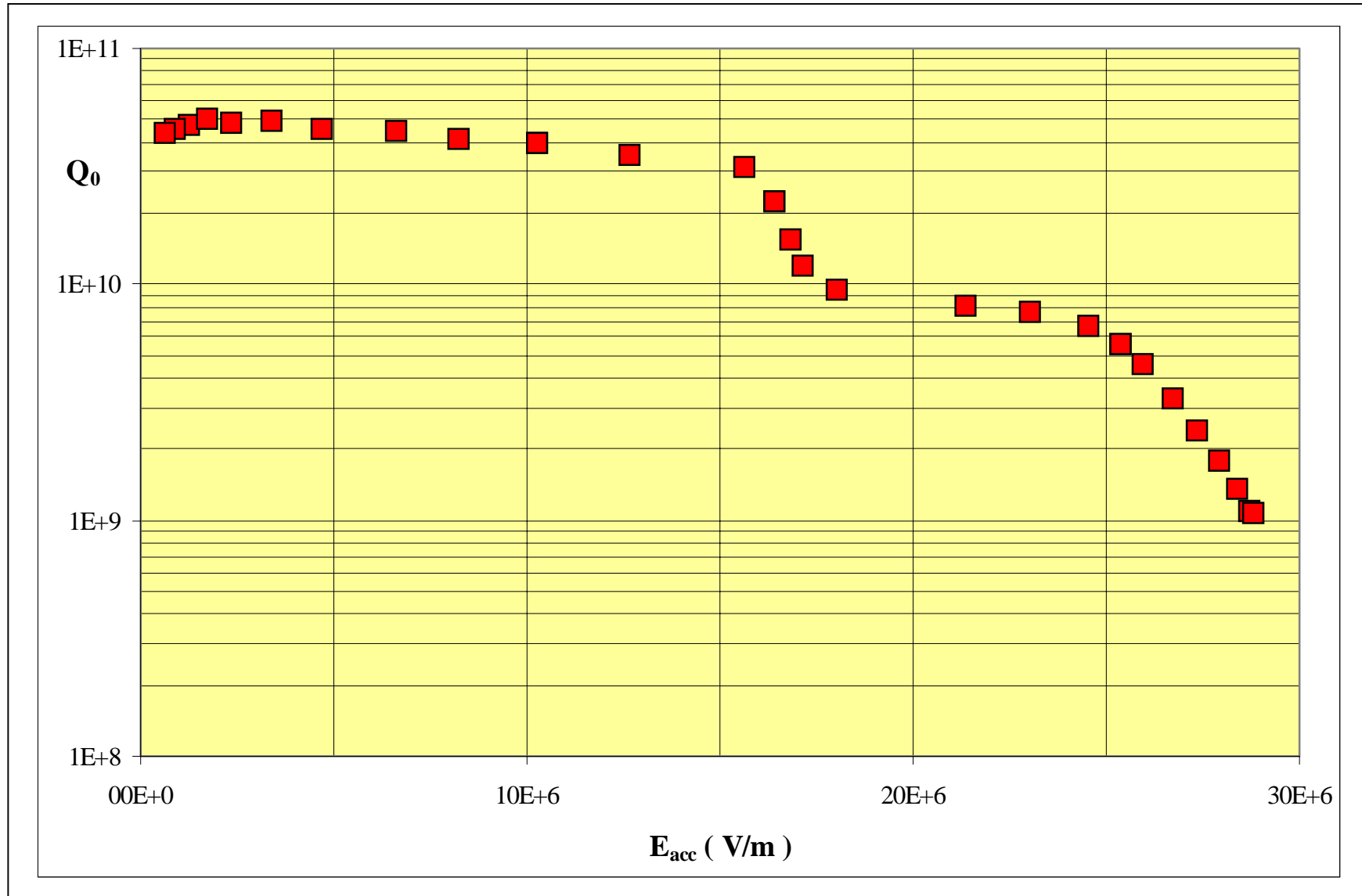
Polissage chimiquement: quench thermique (30 MV/m)

Atteindre la limite théorique de champ

$$E_{\text{acc}} \approx 57 \text{ MV/m} \rightarrow H_S > H_{\text{crit}}$$

(Quench Magnétique)

"Processing" sur Cavité EP



Travail d'Equipe

* Chimie

A. ASPART - Y. GASSER - J.P. POUPEAU

* Montage

B. COADOU - G. MONNEREAU

* Informatisation

J.P. LEAUX

* Mesures R.F.

J.P. CHARRIER - D. ROUDIER