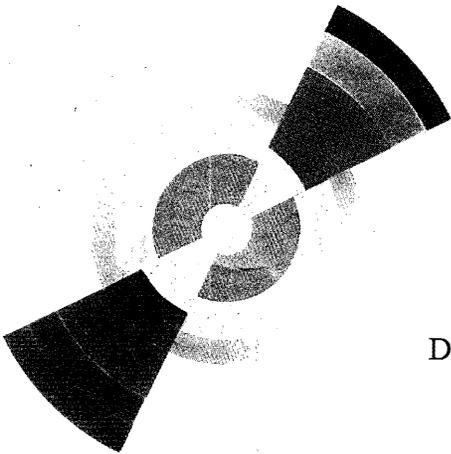
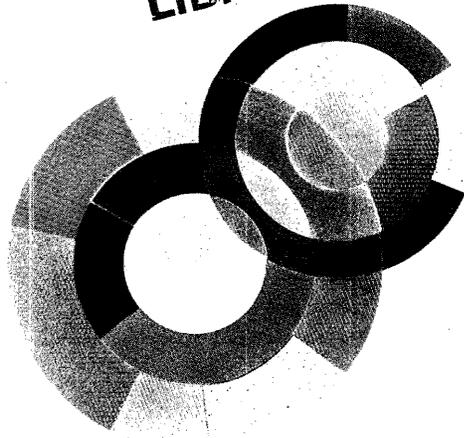


DAPNIA - STCM - 01 - 12



FERMI LAB
JAN 24 2002
LIBRARY



DAPNIA/STCM-01-12

Décembre 2001

MINI-REVUE DU PROJET DU QUADRIPOLE Nb₃ Sn
(Saclay, 28 juin 2001)

A. Devred, C. Gourdin, F. Simon

DAPNIA

Département d'Astrophysique, de Physique des Particules, de Physique Nucléaire et de l'Instrumentation Associée
CEA/Saclay F-91191 Gif-sur-Yvette Cédex

Préambule

Une revue interne du programme de quadripôle Nb₃Sn a été organisée le 28 juin 2001 devant un comité constitué de : A. Dael, M. Peyrot, P. Védrine et J.M. Rifflet.

Cette revue s'est articulée autour de trois présentations :

- Etat d'avancement du programme par A. Devred
- Conception de l'ensemble fretté par C. Gourdin
- Instrumentation et essais par F. Simon

On trouvera ci-joint le rapport du comité ainsi qu'une copie des trois présentations.

Commentaires du comité de la revue Quadripôle Nb3Sn du 28 juin 2001

Membres du comité : Antoine Daël, Marc Peyrot, Jean-Michel Rifflet, Pierre Védrine

Introduction

Le comité se félicite de la qualité des exposés présentés et du travail déjà effectué. Il souligne néanmoins quelques goulots d'étranglement qu'il est de la plus haute importance d'étudier pour la poursuite du projet :

1. Finalisation des dossiers de plans et études de solutions de repli en cas de problèmes de coût ou de faisabilité technique
2. Réduction des délais de réalisation
3. Concentration des ressources sur la réalisation de l'aimant.

1. Dossiers de plans et études de solutions alternatives

Pour pouvoir lancer les premières commandes il est nécessaire que la production des plans s'accélère très sensiblement. Etant donné la charge de travail actuelle (50% sur les quadripôles LHC au moins jusqu'à la fin de l'année) de Jean Thinel, le comité de revue propose que soit étudiée la possibilité de lui adjoindre de l'aide (au minimum 1 dessinateur plein temps pour être efficace). En outre, cela serait une bonne manière de commencer la formation d'un nouveau projeteur à la conception d'aimants d'accélérateur. Le comité souligne que c'est certainement la seule façon de voir aboutir ce projet dans des délais raisonnables.

Essayer de passer en priorité les grosses commandes sans attendre que les dessins soient finalisés pour lancer les demandes de prix.

Simplifier tous les outillages auxiliaires de manutention (par exemple outillage de retournement).

Pousser la réflexion sur le dimensionnement des différents moules et mandrins utilisés tout au long du processus afin de réduire le coût des « tolérances serrées » et prévoir un contrôle géométrique de ces moules après la réalisation de chacune des bobines.

En parallèle des travaux en cours, étudier une solution alternative (même non industrialisable) à l'isolation plasma des différentes cales en bronze d'aluminium.

2. Réduction des délais de réalisation

Refaire un planning avec plusieurs hypothèses pour réduire les délais et voir quelles sont les tâches et/ou outillages critiques. Il est souhaitable d'essayer de réduire le délai de fabrication à 2 ans. Par exemple, faire une consultation pour deux outillages de bobinage afin de ne pas être obligé d'attendre la fin d'un traitement thermique pour préparer le bobinage suivant.

Le comité recommande que les chefs de groupe étudient quel technicien peut être affecté à ce projet à plein temps afin de garder une dynamique à la réalisation.

3. Concentration des ressources sur la réalisation des aimants

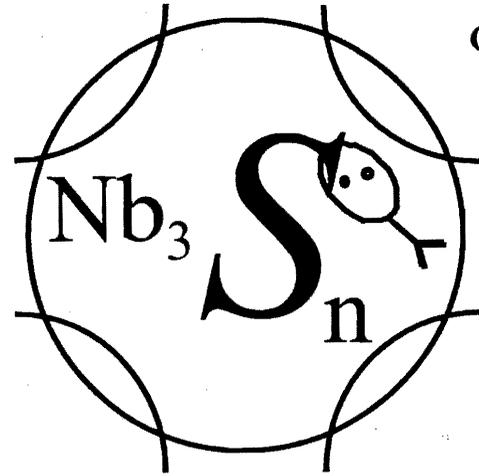
Le comité recommande de ne pas se lancer dans l'étude d'une machine pour isoler le conducteur en ligne. Il est toutefois nécessaire que cette opération délicate soit suivie de très près chez le sous-traitant qui sera chargé de l'opération par un ingénieur du projet.

Le comité recommande d'étudier l'option sans RMN 530 pour les essais du quadripôle si cela peut diminuer la charge d'étude.

Création d'un groupe projet identique dans le nombre et dans l'esprit à celui qui existait sur le projet LHC quadripôle si l'on veut tenir des délais raisonnables de réalisation et garder une pertinence à cette R&D Nb3Sn.

Annexe I

Présentation d'A. Devred



COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIERE

Département d'Astrophysique, de Physique des Particules,
de Physique Nucléaire et de l'Instrumentation Associée

Service Technique de Cryogénie
et de Magnétisme

Etat d'Avancement du Projet de Quadripôle Nb_3Sn

Arnaud Devred
Mini-revue du 28 juin 2001

Revue du 28 juin 2001 I.1

Sommaire



- **Objectifs de la Revue**
- **Bref Historique et Bilan Humain**
- **Tâches Accomplies au 28/06/2001**
- **Tâches à Accomplir Avant Réalisation**
- **Conclusions**

Sommaire



- **Objectifs de la Revue**
- **Bref Historique et Bilan Humain**
- **Tâches Accomplies au 28/06/2001**
- **Tâches à Accomplir Avant Réalisation**
- **Conclusions**

Objectifs de la Revue



- **Faire le point sur le travail accompli et le travail qui reste à faire pour entamer la phase de réalisation.**
- **Avoir un regard critique sur les options choisies et des conseils quant aux points encore en suspens.**
- **Faire un bilan des moyens nécessaires à la bonne poursuite du programme.**

Sommaire



- **Objectifs de la Revue**
- **Bref Historique et Bilan Humain**
- **Tâches Accomplies au 28/06/2001**
- **Tâches à Accomplir Avant Réalisation**
- **Conclusions**

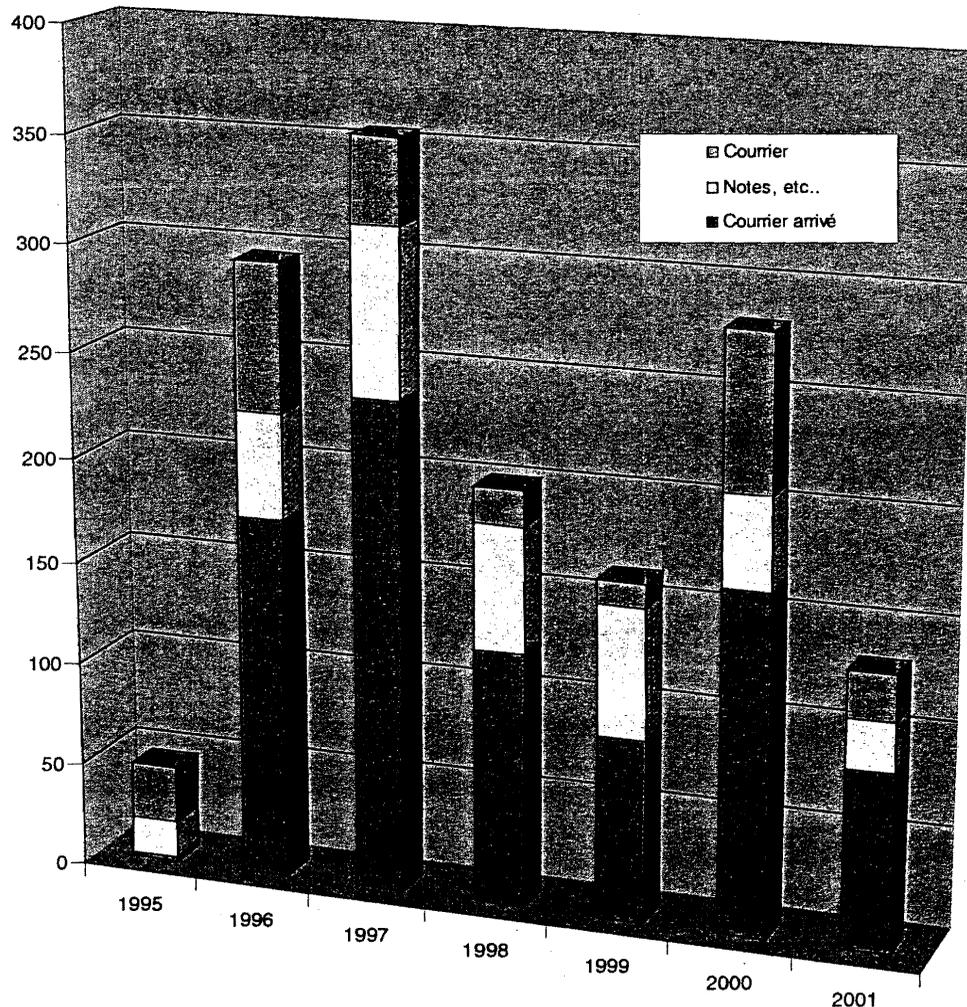
Dates Clés pour la Période 1995-2001



- **CSTS élargi le 25 octobre 1995**
- **Lettre-projet issue le 15 février 1996**
- **Démarrage de la thèse de R. Otmani le 26 octobre 1996**
- **Embauche de M. Durante (CIES) le 5 janvier 1998**
- **Départ de R. Otmani pour Alstom le 4 janvier 1999**
- **Ré-embauche de M. Durante (CTE) le 10 mai 1999**
- **Rattachement de C. Gourdin en septembre 1999**
- **Embauche de S. Marchant (Postdoc) le 18 octobre 1999**
- **Soutenance de la thèse de R. Otmani le 27 octobre 1999**
- **Départ de S. Marchant le 17 avril 2001**
- **Départ de M. Durante le 9 mai 2001**

Bilan des Documents Enregistrés par l'Equipe Projet au 28/06/2001

(préparé par C. Gourdin)



- Démarrage en 96-97 avec la thèse de Rachid.
- Ralentissement en 98 dû au manque de disponibilité de l'équipe quadripôle LHC.
- Année noire en 1999.
- Redémarrage en 2000 grâce à l'arrivée de Cédric et Sandrine.
- Risque d'essoufflement en 2001 avec le départ de Sandrine et Maria alors que le programme est dans une phase critique.

Détail du Bilan des Documents Enregistrés

(Préparé par C. Gourdin)

• Notes, Compte Rendus, Spécifications

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
Total	18	50	79	60	63	44	24	338
Devred	83%	56%	38%	27%	22%	18%	17%	34%
Durante Gourdin				28%	24%	20%	17%	13%
						32%	17%	5%

• Courriers, Fax

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
Total	27	70	40	17	11	73	22	260
Devred	93%	81%	78%	12%	55%	23%	23%	55%
Masson						26%	50%	12%

Bilan Humain sur les 5 Premiers Mois de 2001

(Préparé par M. Gagné)

EPAC 364B				2001/01	2001/02	2001/03	2001/04	2001/05	Total H/J
500	A1	BAUDOY BERTRAND	145467		1,50	1,00	1,00		3,50
		DEVRED ARNAUD	113581	15,00	11,00	9,00	14,00	12,00	61,00
		GOURDIN CEDRIC	173045	16,00	7,50	18,00	15,00	12,00	68,50
		JUSTER FRANCOIS PAU	107173	5,50		1,00		1,00	7,50
		PEYROT MARC	146125	1,00			1,00		2,00
		REY JEAN MICHEL	137444	21,00	20,00	17,00	17,00	18,00	93,00
		REYTIER MAGALI	161031			1,00			1,00
		RIFFLET JEAN MICHEL	110988	1,50					1,50
		RONDEAUX FRANCOISE	126232	3,00	8,00	4,50	8,00		23,50
		SCHILD THIERRY	147604			1,00			1,00
		SIMON FABRICE	166986		0,50	2,50			3,00
	A1			63,00	48,50	55,00	56,00	43,00	265,50
	A2	CARRE STEPHANE	176640	5,00				1,00	6,00
		CAZANOU MARC	111029			1,00	3,00		4,00
		CAZAUX SANDRINE	166401	3,00	2,00		0,50		5,50
		GALLOYER JEAN MAURICE	107531	5,00	4,00	3,00	1,00		13,00
		GENIN CHRISTIAN	110827	13,00	13,00	12,00	9,00	8,00	55,00
		GHELLER JEAN MARC	148555	4,50				2,00	6,50
		LEMIERRE GEORGES	110806		2,00				2,00
		PALADJI JEAN CLAUDE	110811	6,00	2,00				8,00
		POINSOT MICHELE	058963		1,00	5,00	11,00		17,00
		TOUET JOEL	103547	4,00	5,00		4,00		13,00
	A2			40,50	29,00	21,00	28,50	11,00	130,00
500				103,50	77,50	76,00	84,50	54,00	395,50
900	A1	LEBOEUF DIDIER	137463	1,50		1,00	1,50	1,00	5,00
		TOUSSAINT JEAN CHRISTI	110982	0,50	1,00				1,50
	A1			2,00	1,00	1,00	1,50	1,00	6,50
	A2	MASSON MICHEL	097564	14,00	17,50	12,00	3,50	0,50	47,50
		THINEL JEAN	110981	4,50	3,00	8,50	5,50	5,50	27,00
	A2			18,50	20,50	20,50	9,00	6,00	74,50
900				20,50	21,50	21,50	10,50	7,00	81,00
	A1			65,00	49,50	56,00	57,50	44,00	272,00
	A2			59,00	49,50	41,50	37,50	17,00	204,50
DAPNIA				124,00	99,00	97,50	95,00	61,00	476,50

Constat sur le Bilan Humain



- **J. Thinel n'a travaillé que 27 j sur le programme Nb₃Sn depuis le début de l'année.**
- **Toutes les activités de caractérisation d'échantillons, préparation d'outillage et essais de mise en œuvre ont cessé depuis le départ de Maria.**
- **J. Touet et J.M. Galloyer sont de moins en moins disponibles et ne le seront plus du tout à l'automne prochain.**

Sommaire



- **Objectifs de la Revue**
- **Bref Historique et Bilan Humain**
- **Tâches Accomplies au 28/06/2001**
- **Tâches à Accomplir Avant Réalisation**
- **Conclusions**

Tâches Accomplies au 28/06/2001 :

Calculs de Conception



- **Tous les calculs de conception concernant la partie droite sont achevés et un essai de frettage a permis de valider le modèle mécanique.**
- **Un effort a été engagé pour développer un modèle CAST3M des têtes de bobine.**

Tâches Accomplies au 28/06/2001 :

Gamme de Fabrication



- **Un projet de gamme de fabrication a été développé (voir présentation de Cédric).**
- **Le concept de bobinage « couche sur couche » a été validé par la fabrication, en janvier 2001, d'un pôle en NbTi avec l'outillage des quadripôles LHC.**
- **Cette fabrication a permis à l'équipe Nb₃Sn de passer au moins une fois à travers toutes les étapes de la gamme de montage d'un pôle.**

Tâches Accomplies au 28/06/2001 :

Conducteur

- **Alstom a démontré sa capacité à produire un brin et un câble Nb₃Sn qui satisfassent au cahier des charges.**
- **Alstom a livré une première longueur de 110 m de câble Nb₃Sn qui servira à la réalisation du premier pôle test.**
- **Alstom a en stock les matières premières nécessaires à la production du câble définitif et devrait démarrer celle-ci sous peu.**
- **On dispose également de 180 m de câble NbTi donné par D. Leroy (CERN) pouvant permettre de faire des essais de bobinage.**

Tâches Accomplies au 28/06/2001 :

Isolation (1/2)

- **La STB a livré 4 x 100 m de ruban de fibres de silice, mais a rencontré des problèmes liés à une mauvaise préparation de la chaîne par un sous-traitant. Cette production est moins bonne que celle effectuée précédemment et sera utilisée pour divers essais de mise en œuvre.**
- **La STB est en train de produire deux nouvelles longueurs de 150 m destinées à guiper le câble pour le premier pôle test.**
- **La STB a en stock la matière première nécessaire à la production des longueurs définitives.**

Tâches Accomplies au 28/06/2001 :

Isolation (2/2)



- **La production de l'isolation et sa mise en œuvre reste problématique, en particulier à cause du fait que le ruban doit être désensimé avant guipage.**
- **Les essais de ré-ensimage effectués par Sandrine et Maria ont été abandonnés au départ de celles-ci.**
- **La fragilité de l'isolation représente un risque important et nécessitera une grande attention lors de la production.**

Tâches Accomplies au 28/06/2001 :

Autres Composants

- **J. Thinel a ébauché un certain nombre de plans de détail des principaux composants de l'ensemble frétté.**
- **M. Masson a entrepris des consultations sur la matière et la fabrication de ces composants.**

(voir présentation de Cédric)

Tâches Accomplies au 27/06/2001 :

Outillage

- **L'outillage SSC a été réceptionné en février 2001 et semble en bon état.**
- **J. Thinel a terminé les dossiers de plans concernant les différents « moules courbes » nécessaires au dimensionnement des outillages de contact et a démarré depuis quelques semaines la conception détaillée de ces outillages.**

Tâches Accomplies au 27/06/2001 :

Instrumentation et Essais



- **Fabrice a établi une liste de l'instrumentation et des essais à prévoir.**
- **L'aimant RM530 a été déménagé au 392 et semble en bon état.**

(voir présentation de Fabrice)

Sommaire



- **Objectifs de la Revue**
- **Bref Historique et Bilan Humain**
- **Tâches Accomplies au 27/06/2001**
- **Tâches à Accomplir Avant Réalisation**
- **Conclusions**

Tâches à Accomplir Avant Réalisation : Gamme de Montage



- **Rédiger les procédures d'assemblage et les feuilles de suivi (ingénieur chargé du suivi de fabrication).**
- **Effectuer les essais sur moules courbes (C. Gourdin + ingénieur chargé du suivi de fabrication).**

Tâches à Accomplir Avant Réalisation : Isolation



- **Mettre au point la procédure de guipage du conducteur (M. Masson + ingénieur chargé du suivi de fabrication).**

Tâches à Accomplir Avant Réalisation : Autres Composants



- **Finir la conception détaillée (J. Thinel et C. Gourdin), lancer les consultations et assurer le suivi de fabrication (M. Masson).**
- **Essais de caractérisation (ingénieur chargé du suivi de fabrication + A2).**

Tâches à Accomplir Avant Réalisation :

Outillage



- **Remise en route de l'outillage SSC (ingénieur chargé du suivi de production + A2 habilité).**
- **Finir la conception détaillée (J. Thinel et C. Gourdin), lancer les consultations et assurer le suivi de fabrication (M. Masson + ingénieur chargé du suivi de fabrication).**

Tâches à Accomplir Avant Réalisation : Instrumentation et Tests



- **Définir l'implantation et développer les procédures de montage des différents capteurs (F. Simon).**
- **(En parallèle, il faut remettre en route RMN530, préparer les essais à froid, et assurer la maintenance du système de mesures magnétiques.)**

(voir présentation de Fabrice)

Sommaire



- **Objectifs de la Revue**
- **Bref Historique et Bilan Humain**
- **Tâches Accomplies au 27/06/2001**
- **Tâches à Accomplir Avant Réalisation**
- **Conclusions**

Rappel des Conclusions et Perspectives présentées lors du CSTS du 19 avril 2000



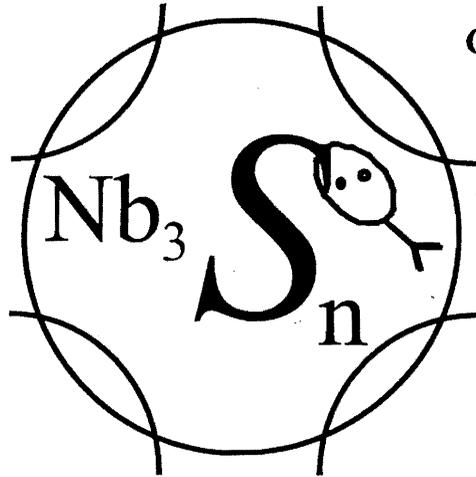
- **Un seul objectif : fabriquer le quadripôle modèle**
- **La situation est meilleure qu'il y a un an, mais l'équilibre reste précaire et le départ de M. Durante doit être compensé (mi-2001 au plus tard)**
- **Pour réussir, le projet doit être considéré comme un projet de R&D prioritaire dans le service**
- **Il faut assurer la pérennité de l'expérience acquise**

Conclusions

- **Les conclusions précédentes restent valables.**
- **Pour démarrer le bobinage dans les meilleurs délais, il est indispensable de :**
 - **disposer de J. Thinel et M. Masson à au moins 50% de leur temps,**
 - **pourvoir au remplacement de Maria,**
 - **affecter un A2 pour prendre la relève de J. Touet et J.M. Galloyer (à temps partiel jusqu'à la fin de l'année).**

Présentation de C. Gourdin

Annexe II



COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIERE

Département d'Astrophysique, de Physique des Particules,
de Physique Nucléaire et de l'Instrumentation Associée

Service Technique de Cryogénie
et de Magnétisme

Revue de conception de l'ensemble fretté du quadripôle modèle en Nb₃Sn

28 Juin 2001

PLAN

Description de la conception

Réalisation des bobines

- Le conducteur
- L'isolation
- Le bobinage
- La réaction
- Le transfert de moules
- La jonction
- L'imprégnation
- Les mesures mécaniques

Réalisation de l'ensemble fretté

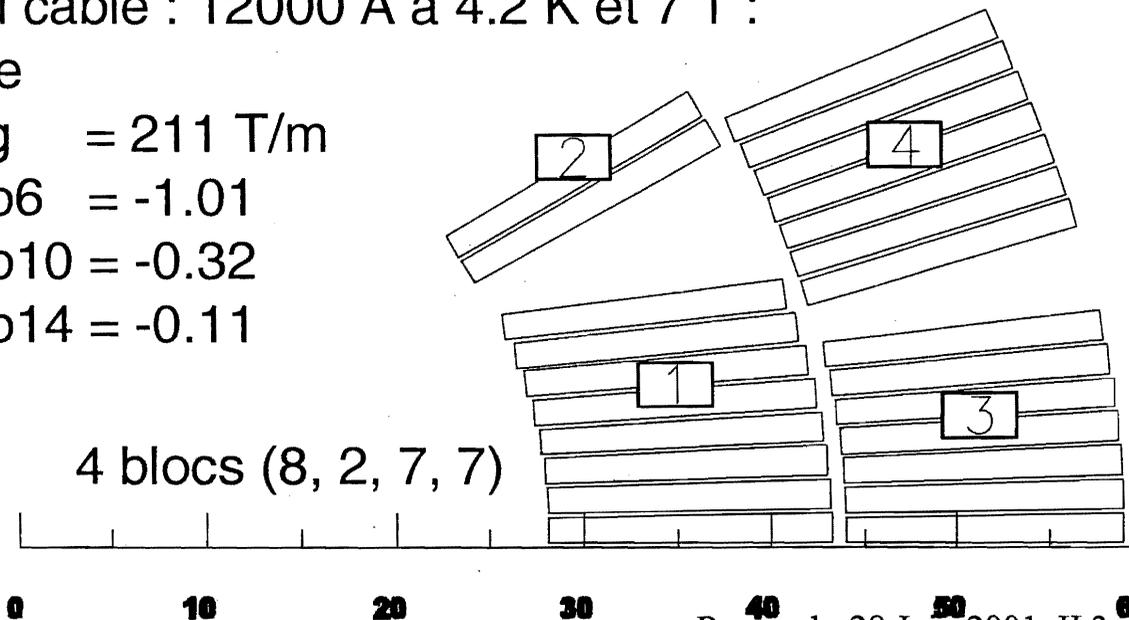
- L'assemblage
- Le frettage

Réalisation de l'Instrumentation

Description de la conception

- Longueur de la partie droite : 1 m
- Ouverture : 56 mm
- Même configuration électromagnétique que les quadripôles en NbTi pour le LHC
- Pas de fer
- Courant critique du câble : 12000 A à 4.2 K et 7 T :
- Champ magnétique

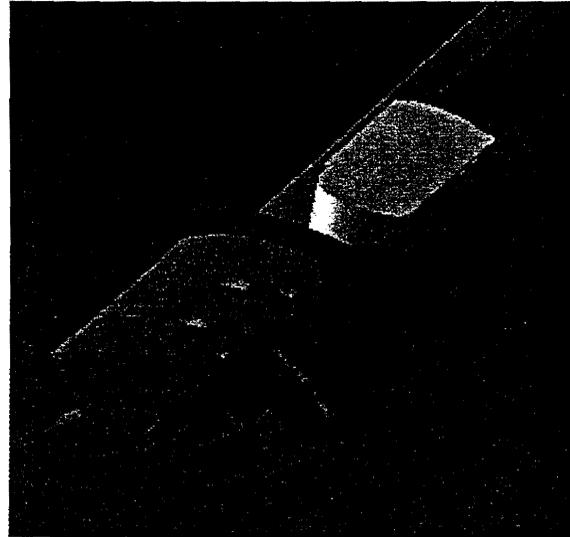
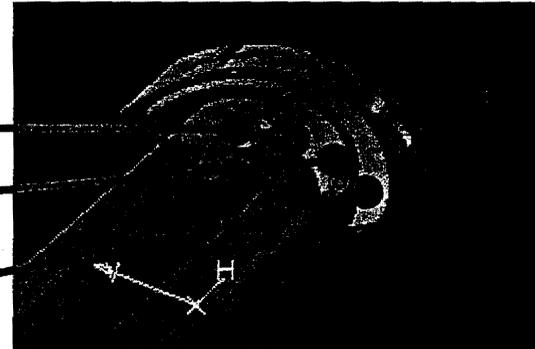
- ✓ gradient $g = 211 \text{ T/m}$
- ✓ $b_6 = -1.01$
- ✓ $b_{10} = -0.32$
- ✓ $b_{14} = -0.11$



Description de la conception

Les têtes de bobines

Les espaceurs de têtes
Les renforts isolants et
Les renforts complémentaires

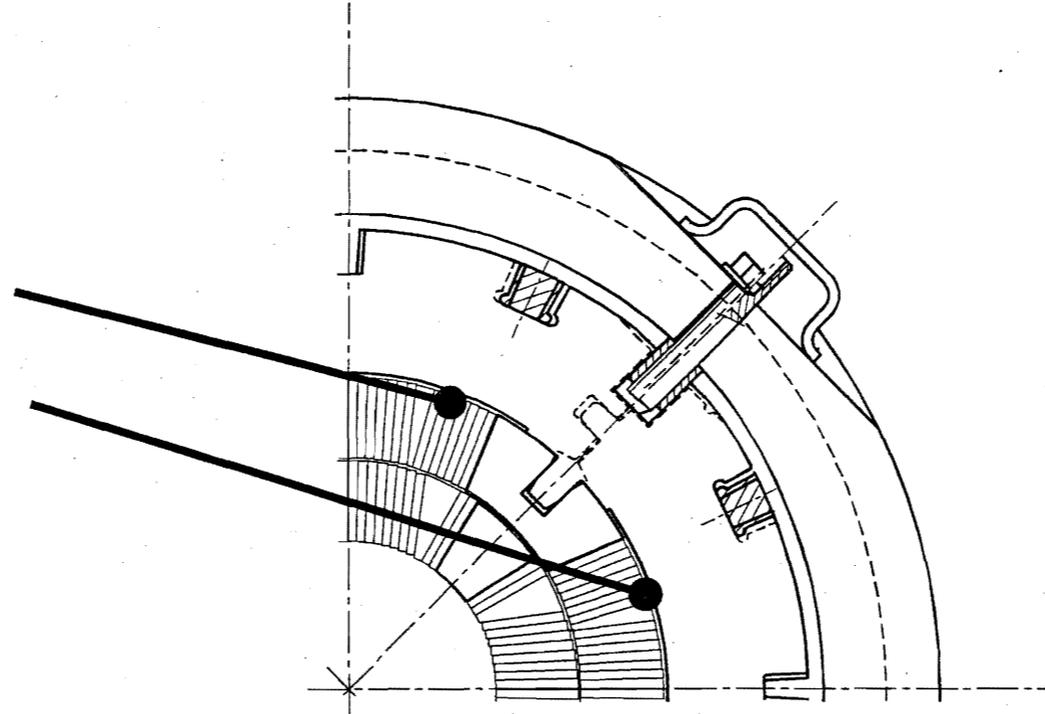


La jonction $\text{Nb}_3\text{Sn-NbTi}$

Description de la conception

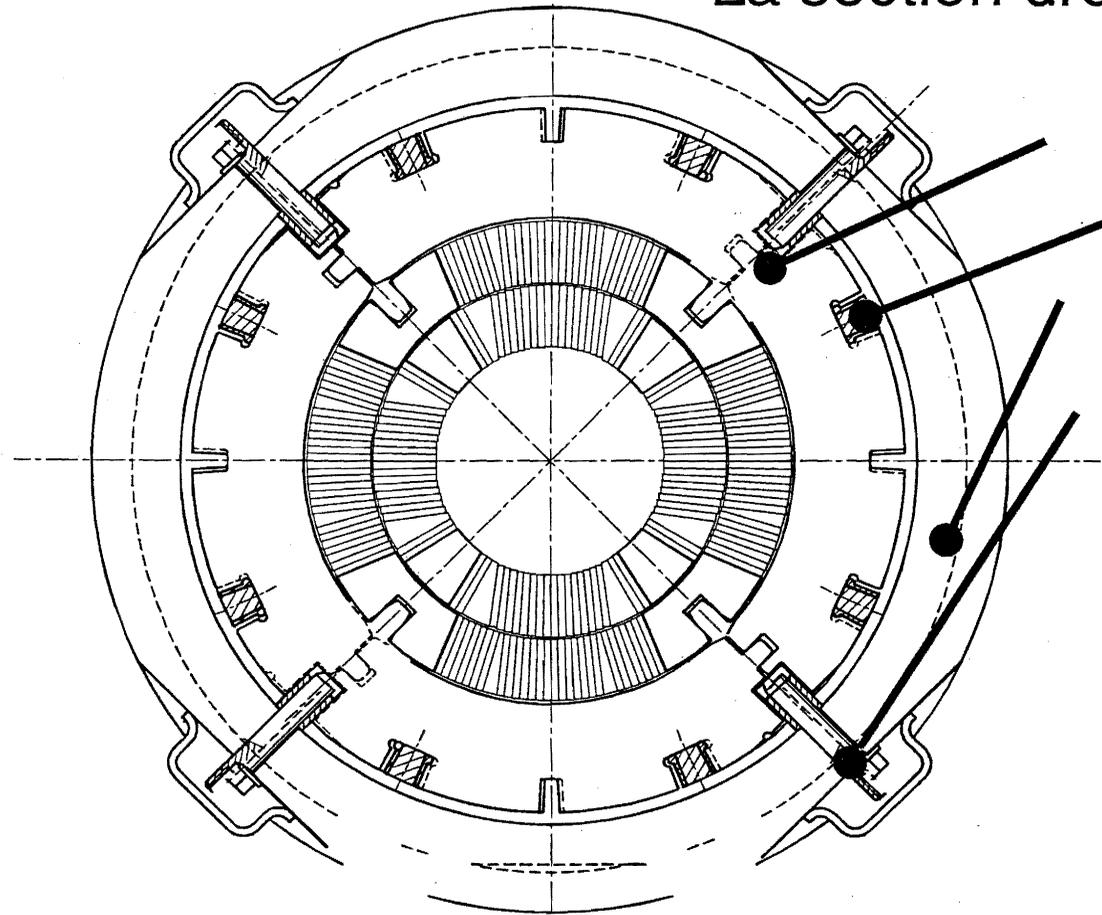
La section droite

L'isolation de masse
Les chaufferettes



Description de la conception

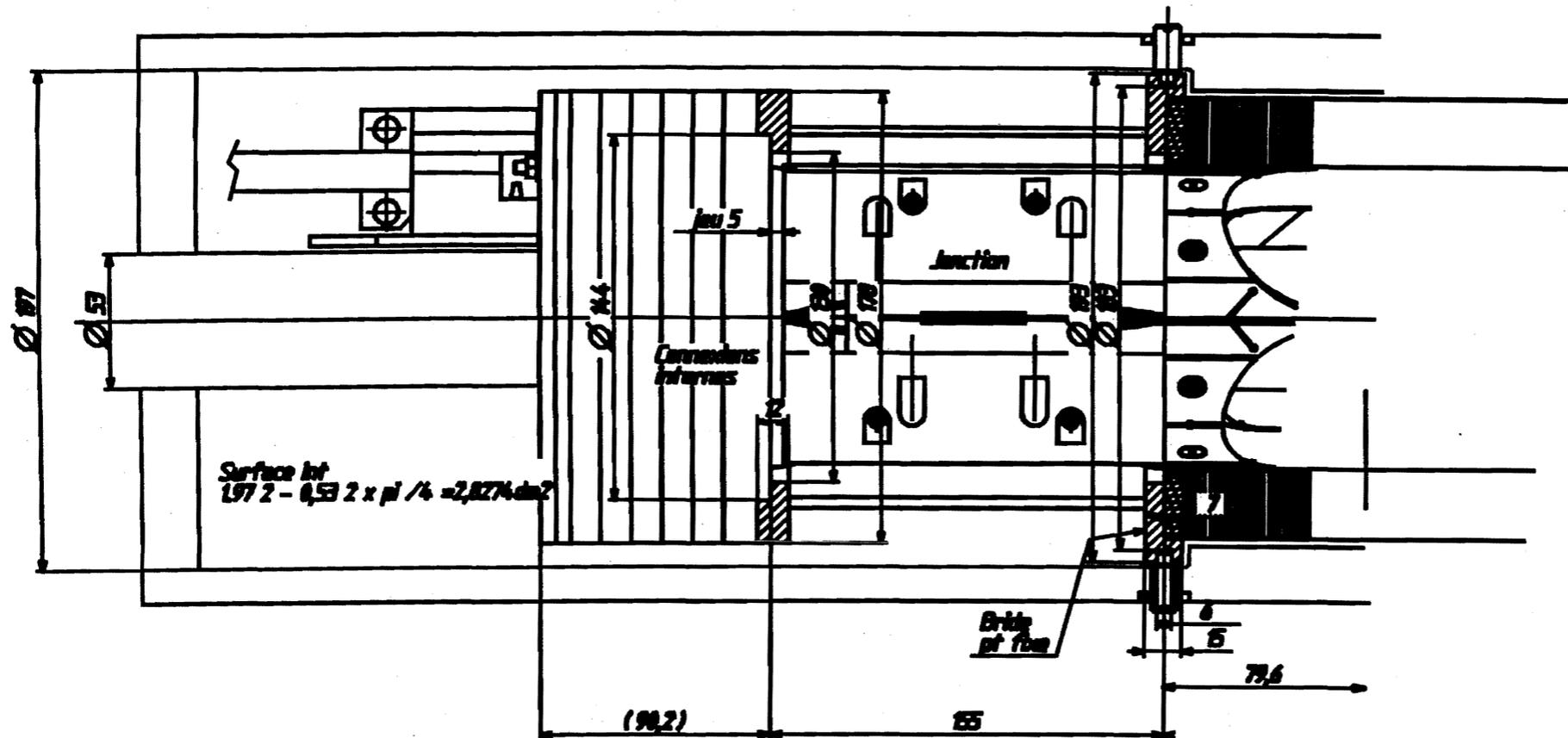
La section droite



- Les colliers
- Les lardons et clavettes
- Le tube d'inertie
- Les clavettes de centrage
- Le conducteur isolé
- Les cales angulaires
- Les cales polaires
- Les différentes isolations (masse, inter-couche)
- Les chaufferettes

Description de la conception

Les connexions internes même géométrie NbTi



Réalisation des bobines

Le conducteur

Principe du « Wind, React & Impregnate »

Conducteur Nb₃Sn

36 brins (0.825 mm)

Câble de Rutherford avec une
âme en acier austénitique de
25µm

60 mètres par pôle (hors longueur
test)

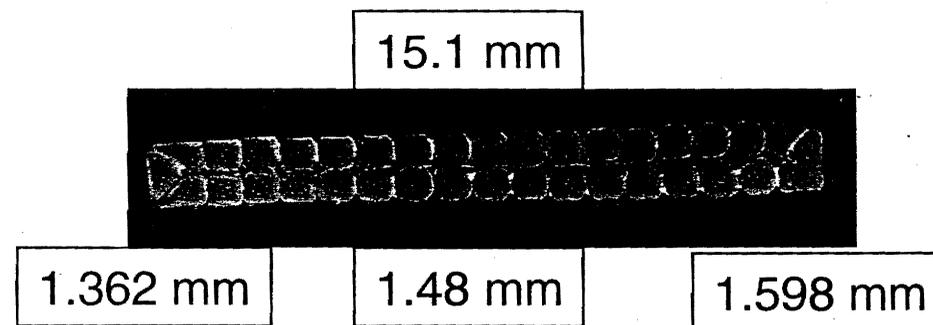
Brin

19 sous-éléments entouré d'une barrière
de diffusion

198 filaments par sous-éléments

Rapport Cu/No Cu : 1.4

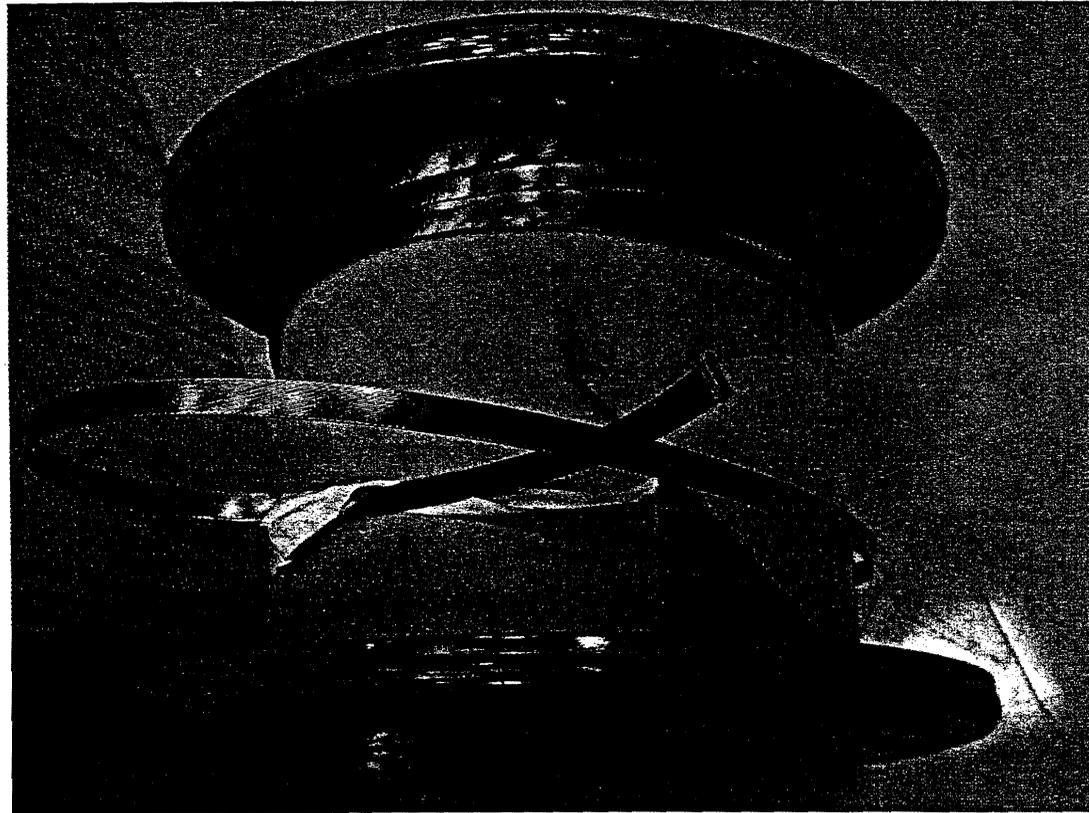
Courant critique mesuré : $I_c \approx 410$ A à
4.2K et 7T



Réalisation des bobines

Le conducteur

**Les premiers 110 m de câble ont été livrés
courant Mai 2001**



Réalisation des bobines

L'isolation

Six systèmes d'isolation ont été étudiés :

- ruban de fibres de silice standard (QS 13)
- ruban de fibres de silice Haute température (HT 1)
- ruban de fibres de verre E
- ruban de fibres de verre R
- système mixte ruban de fibres de verre R + mica-verre (UT)
- système mixte ruban de fibres de verre E + mica-verre

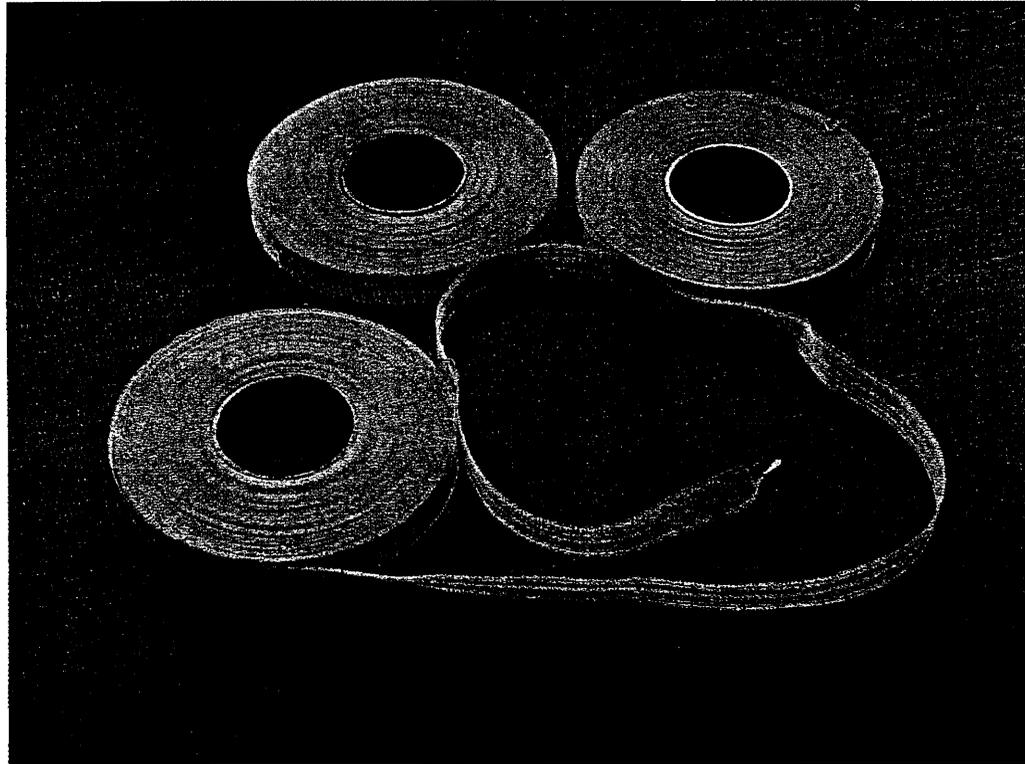
Dimensions du ruban

- largeur : 15 mm
- épaisseur : 60 μm
- longueur par pôle : 120 m

Réalisation des bobines

L'isolation

4*100 m de ruban de fibres de Silice (QS 13) ont été livrés courant Mai 2001

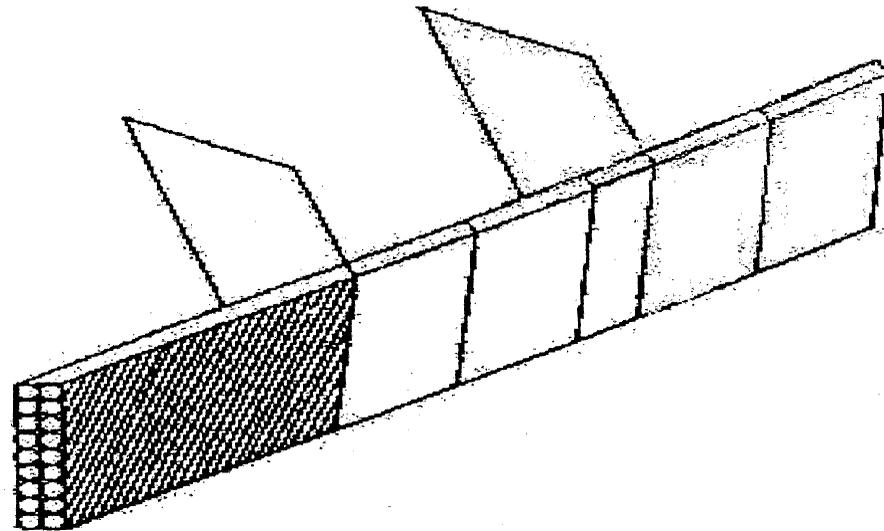


Réalisation des bobines

Le conducteur isolé principe d'isolation & imprégnation

Désensimage avant guipage

- deux couches de ruban sans recouvrement, décalées de 50 % (à pas constant)



Réalisation des bobines

Le conducteur isolé principe d'isolation & imprégnation ss vide

Résine époxy standard, communément utilisée par Alstom (F101).

Cycle de polymérisation :

malaxage et dégazage : 1h à 65 °C

gélification : 12 h à 95 °C

polymérisation : 48 h minimum à 105 °C

Composants de CIBA-Geigy (fournis par Alstom) :

araldite MY745 100 pp

durcisseur HY905 100 pp

accélérateurs DY072 1 pp & DY073 0.1 pp

Réalisation des bobines

Le bobinage

Liste des étapes

- Dédoublage du conducteur
- Formage du changement de couche
- Bobinage de la première couche
- Mise en place de l'isolation inter-couche
- Bobinage de la seconde couche
- Préparation des jonctions
- Fermeture du moule
- Réaction
- Transfert des moules de réaction à imprégnation
- Réalisation des jonctions
- Imprégnation
- Mesures mécaniques

Mesures électriques durant le bobinage

Réalisation des bobines

Le bobinage

Remise en route :

- fixation au sol,
- câblage,
- mise sous tension
- tests



Réalisation des bobines

Le conducteur isolé

Deux procédures de guipage du ruban désensimé

Guipage en ligne

- Mise au point d'une machine à guiper asservie sur la vitesse de défilement du câble
- Facilite le ré-ensimage (par bain)

Guipage hors ligne

- Réaliser par un industriel ou le CERN
- Prévoir une sur-couche de protection à enlever avant bobinage (manuelle)

Réalisation des bobines

Le bobinage

Dédoublage du conducteur
et mise en place du changement de couche
(isolation inter-couche)
Formage du changement couche
Opération délicate : fragilité du ruban désensimé

Réalisation des bobines

Le bobinage

Mandrin de bobinage

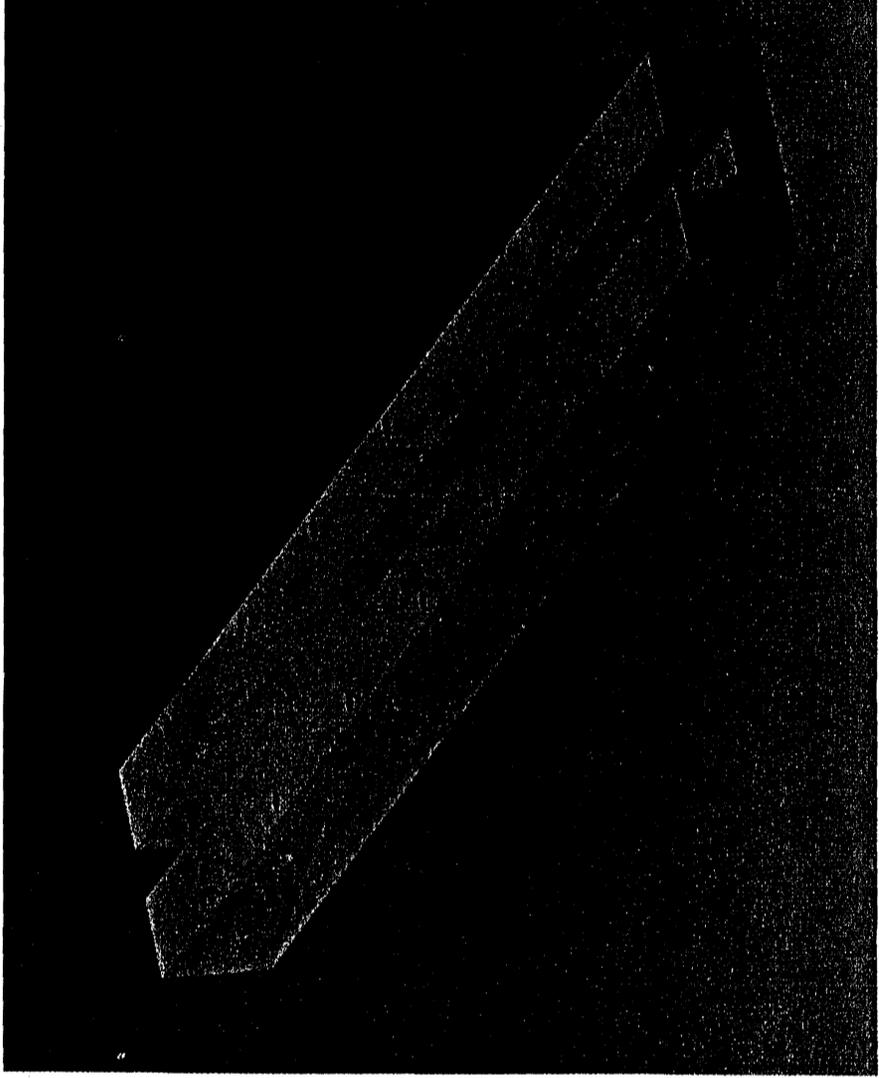


Lancement des études

Réalisation des bobines

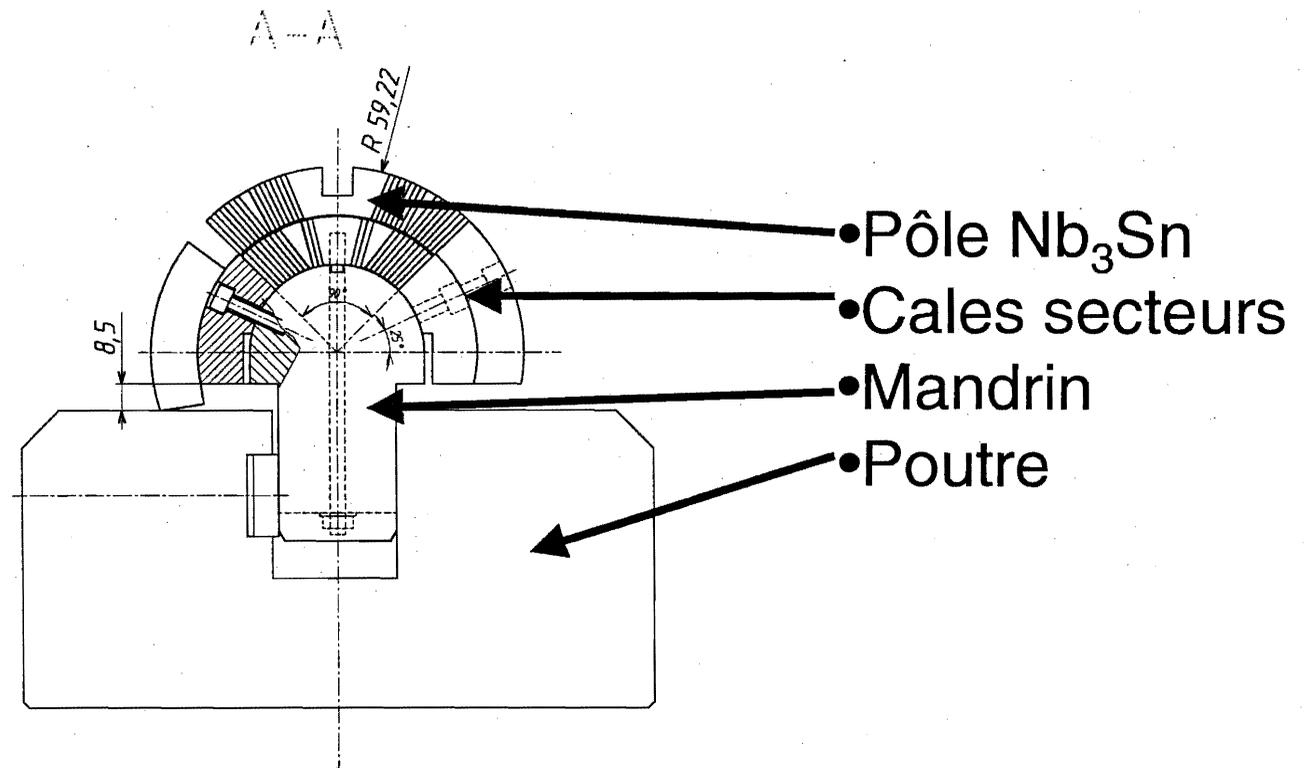
Le bobinage

Poutre de bobinage



Réalisation des bobines

Coupe du moule de bobinage



Réalisation des bobines

Le bobinage

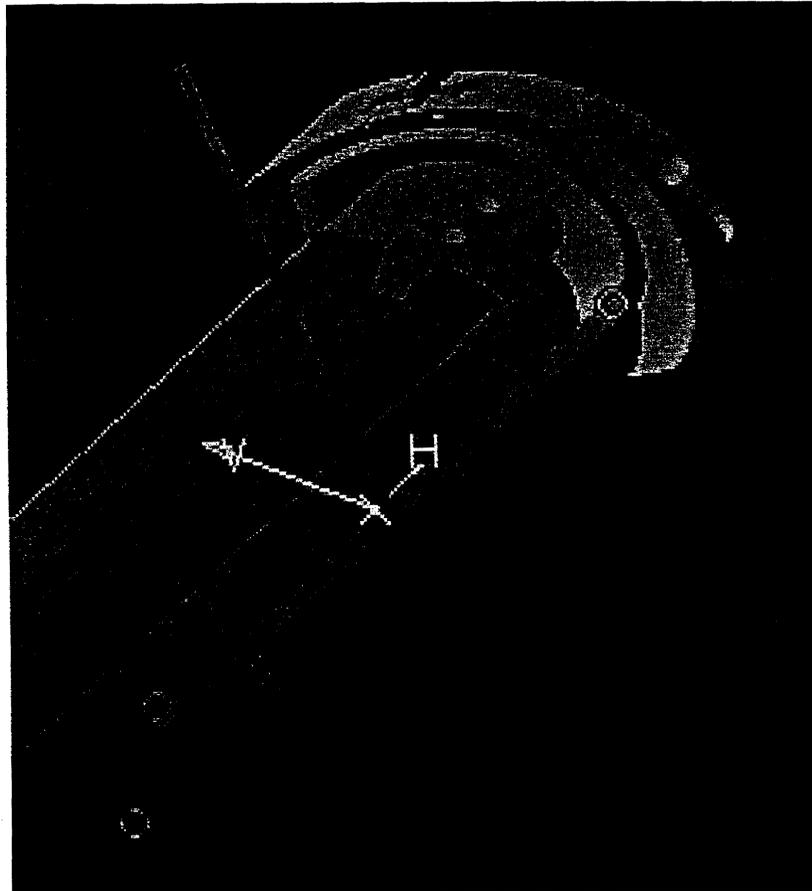
Les cales polaires (2 * 2 parties)
en cuppro-aluminium (CuAl9),
avec une isolation par dépôt de céramique



Réalisation des bobines

Le bobinage

Les cales angulaires



en trois parties

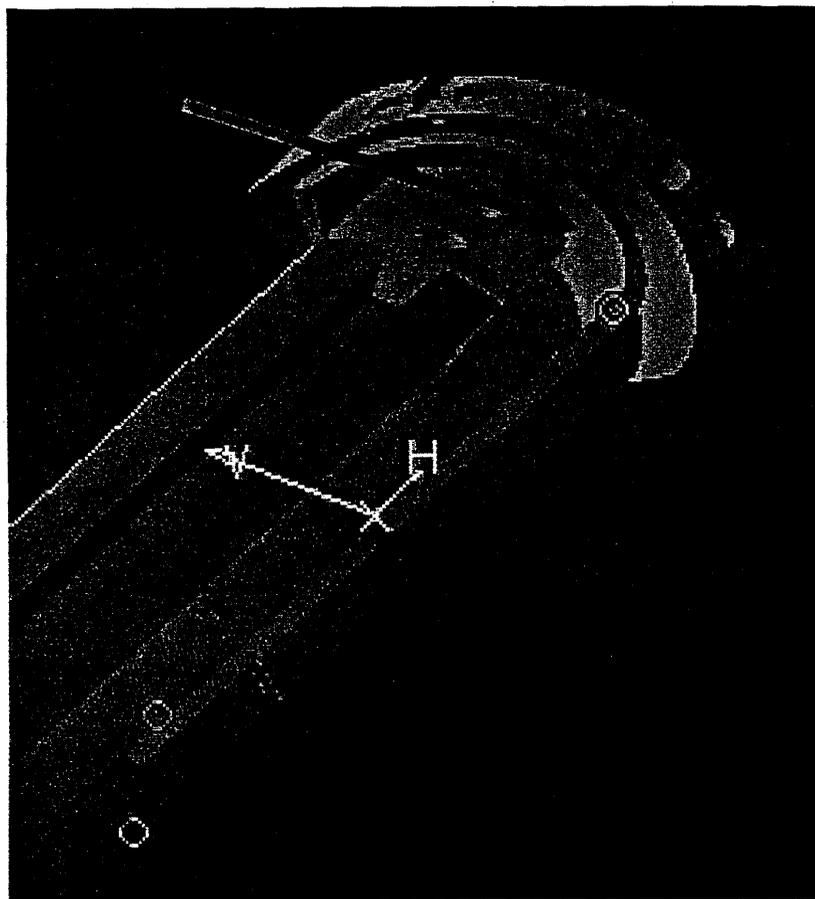
- pour faciliter la réalisation
- et distribuer l'allongement longitudinal
- de longueur d'environ 300 mm en cupro-aluminium

ne sont pas isolées électriquement

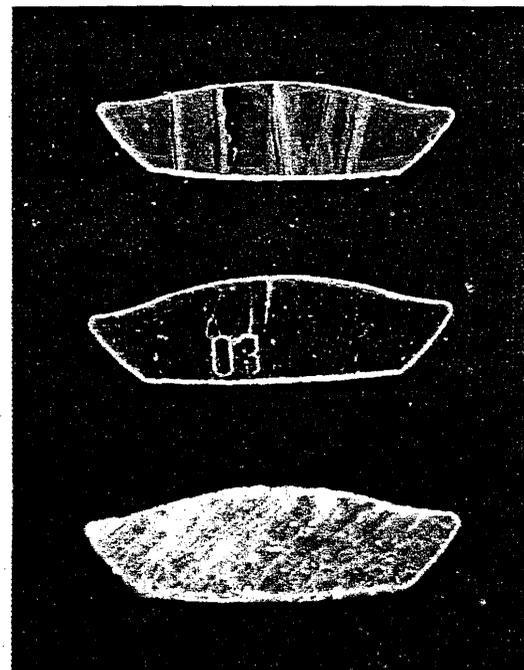
Réalisation des bobines

Le bobinage

L'isolation interspires et complémentaires



En Mica pur, découpé au cutter
isolation et protection du ruban de
silice (ép : 80 μm)

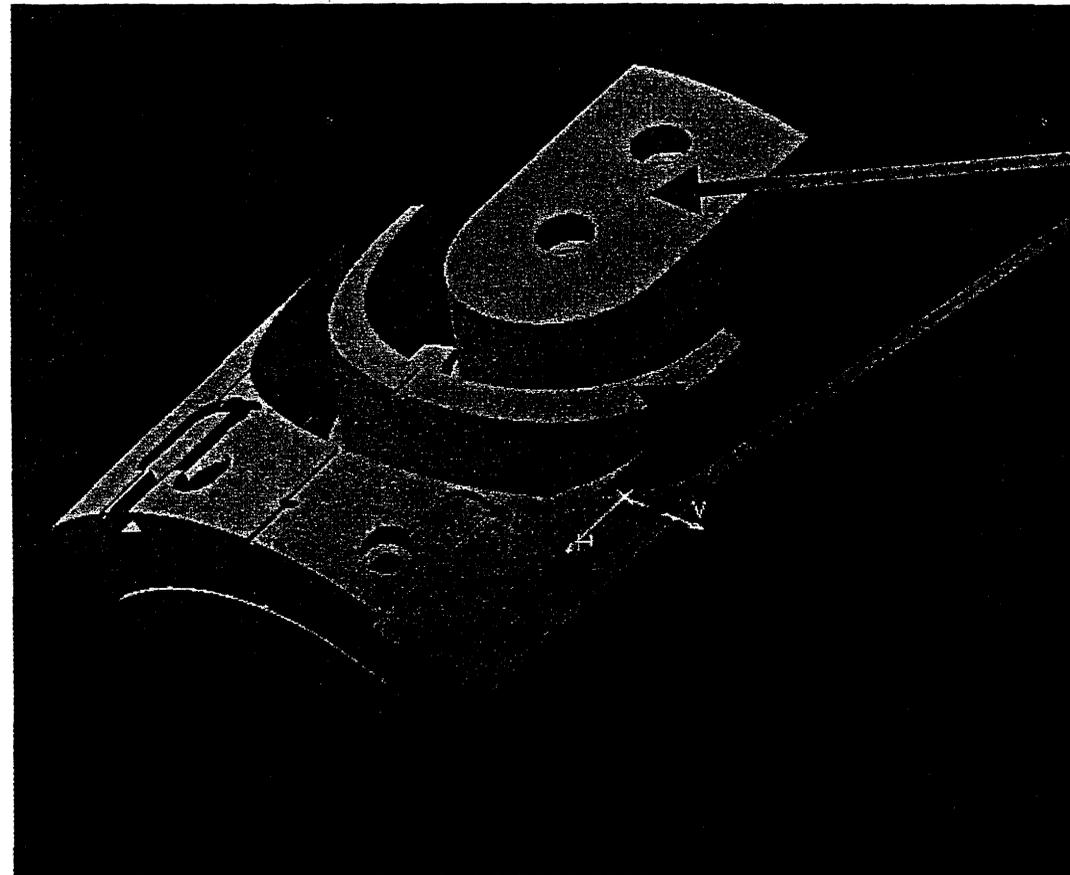


À réception

Après Traitement

Réalisation des bobines

Les cales de têtes



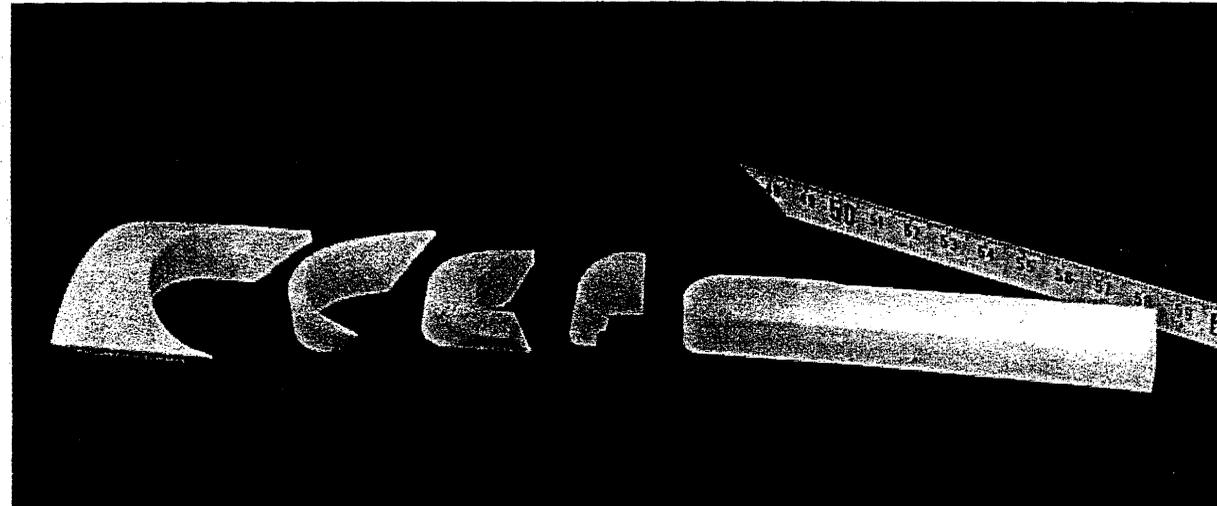
En Cuppro-aluminium
non isolée (renfort
isolant avec des feuilles
de Mica)

En céramique
(facilité de réalisation)

Réalisation des bobines

Les cales de têtes

Céramique : Al_2O_3
obtenues par prototypage rapide
plus économique

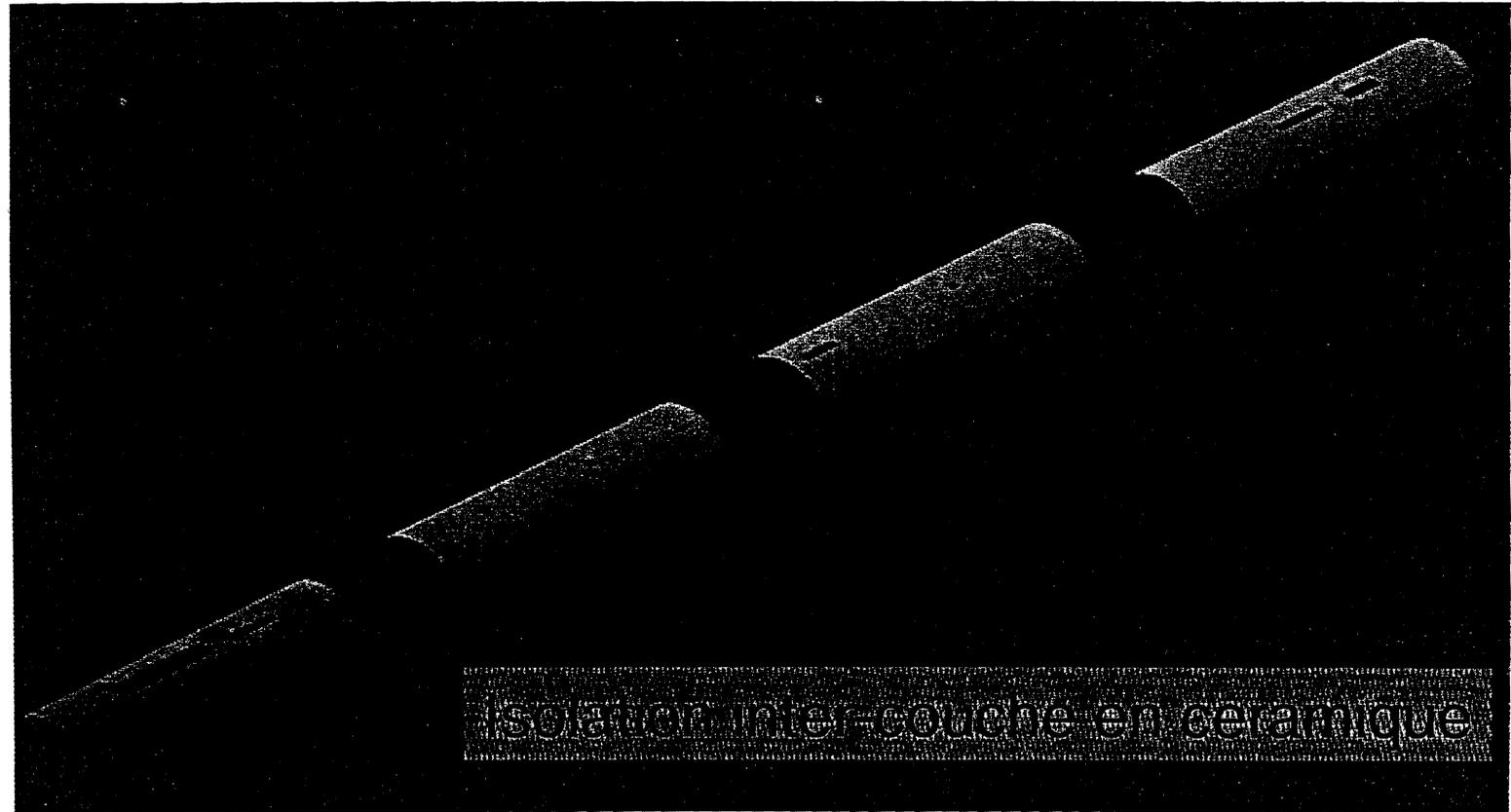


Prototype obtenu par le CTTC

Réalisation des bobines

Le bobinage

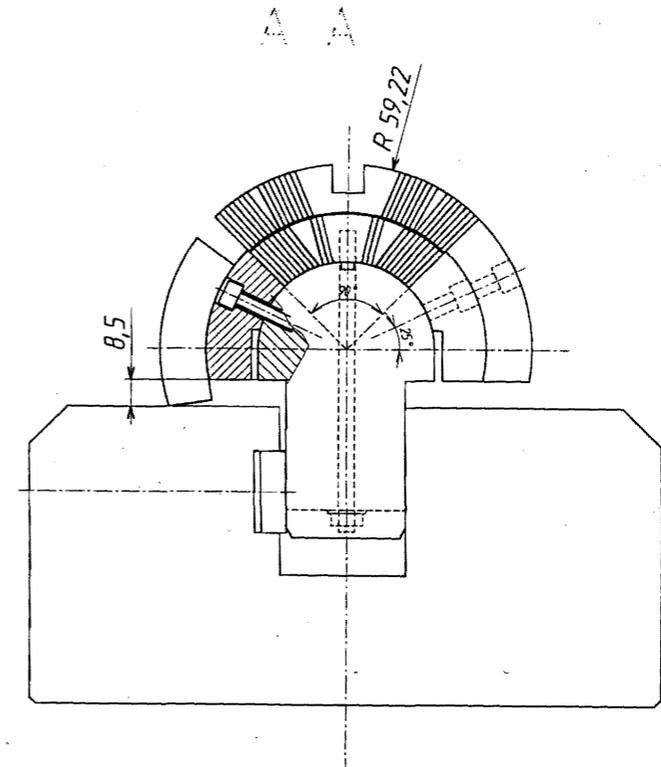
l'isolation inter-couche



Réalisation des bobines

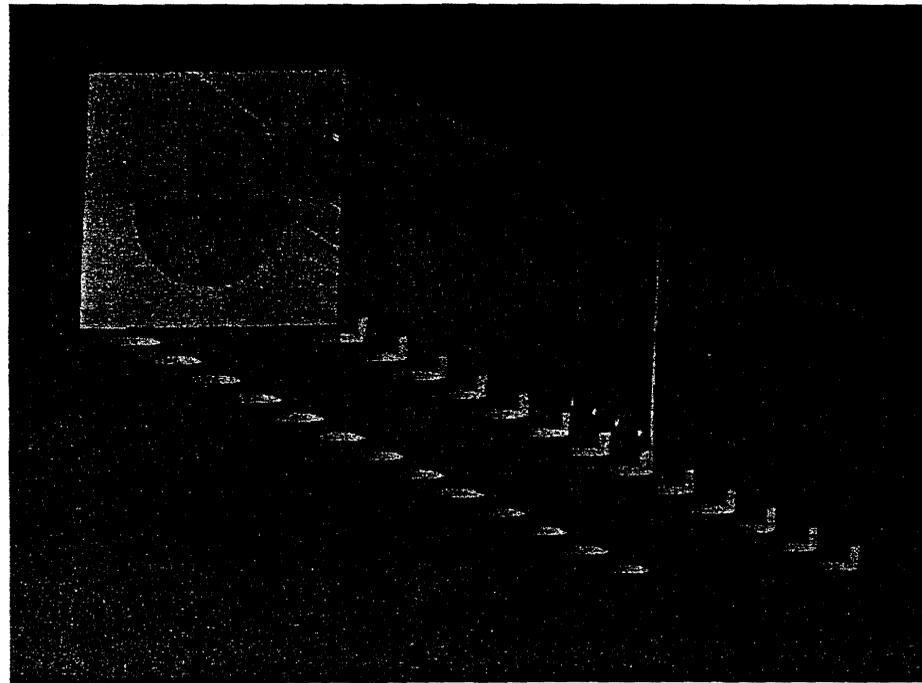
Le bobinage Rappel des opérations

- dédoublage et changement de couche,
- bobinage première couche,
- première pression
- mise en place isolation inter-couche
- bobinage seconde couche,
- seconde pression
- fermeture du moule



Réalisation des bobines

Fermeture du moule de réaction



Moule de réaction (316 LN)

- Déblocage de tous les composants de la bobine (allongement longitudinal)
- Pressage sous presse
- Fermeture du moule
- Mise en place de jonctions intermédiaires
- Mise en place dans le four de réaction

Réalisation des bobines

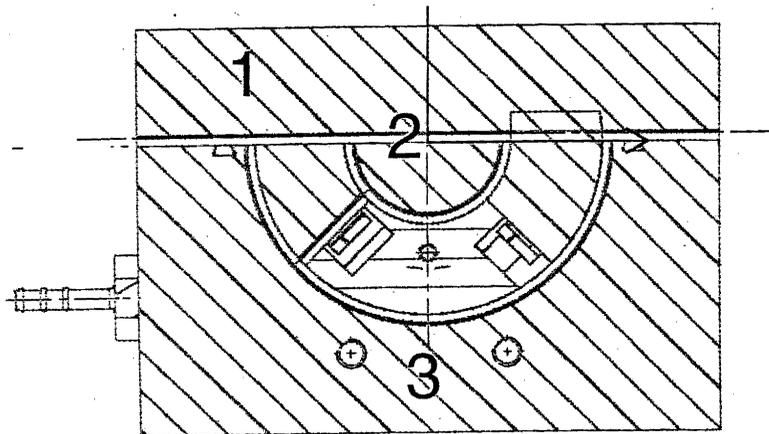
La réaction

Traitement thermique (Four Pyrox)

- sous balayage d'Argon
- cycle de température : durée du cycle environ 3 semaines
 - montée : 6°C/H
 - plateau : 660°C pendant 240 H
 - descente libre

Réalisation des bobines

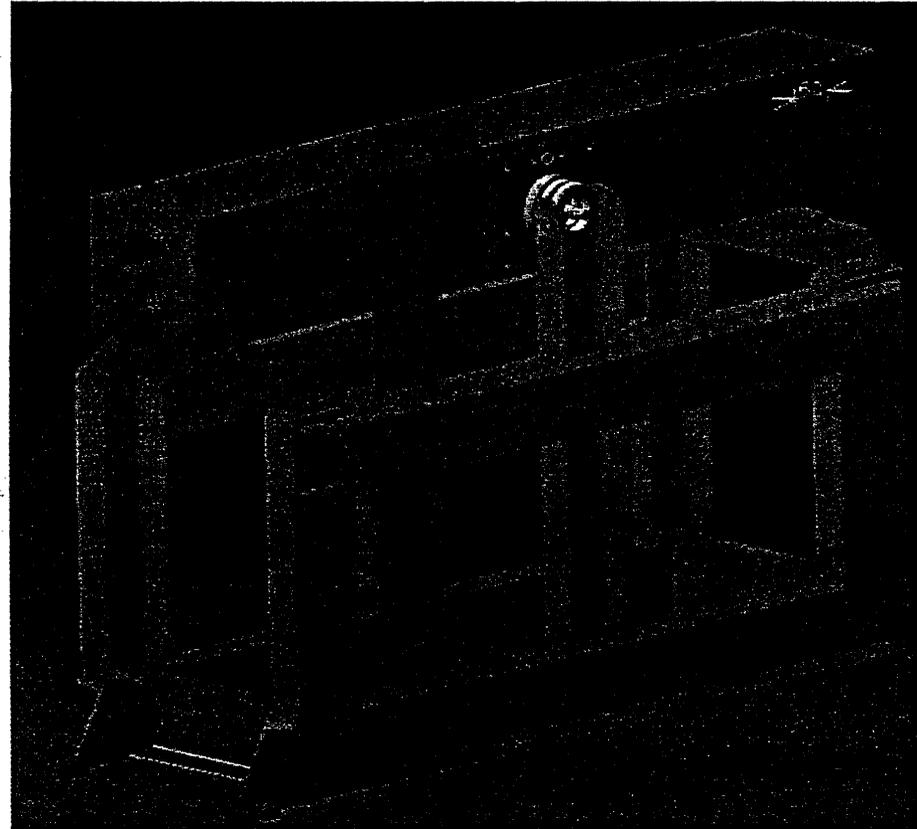
Le transfert de moules



- Changement des parties 1 et 2
- Retournement
- Réalisation des jonctions
- Changement de la partie 3

Réalisation des bobines

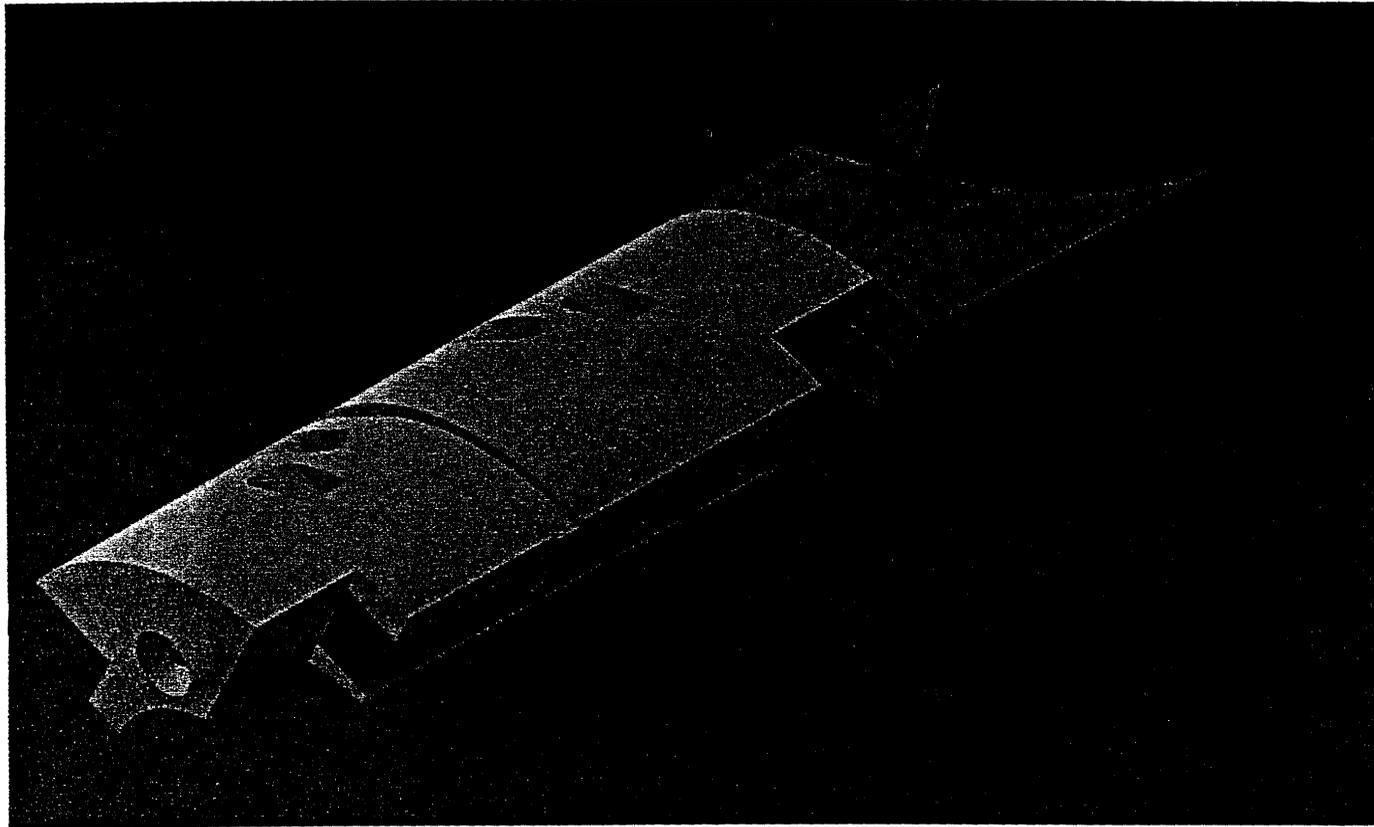
Outillage de retournement



Lancement des études

Réalisation des bobines

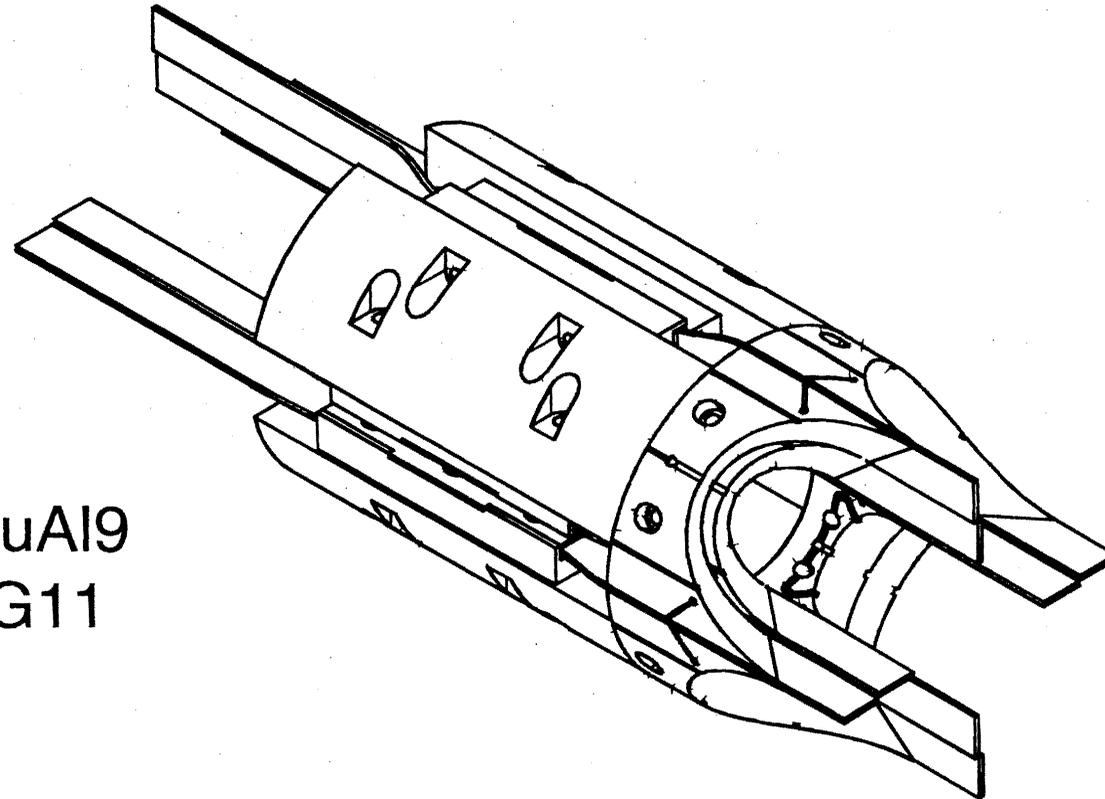
Réalisation des jonctions pendant le transfert
afin d'assurer l'étanchéité du moule d'imprégnation



La jonction en G11 et la goulotte en cuivre

Réalisation des bobines

La réalisation des jonctions



2 supports de jonction

- pour la réaction : en CuAl9
- après la réaction : en G11

Goulotte en cuivre

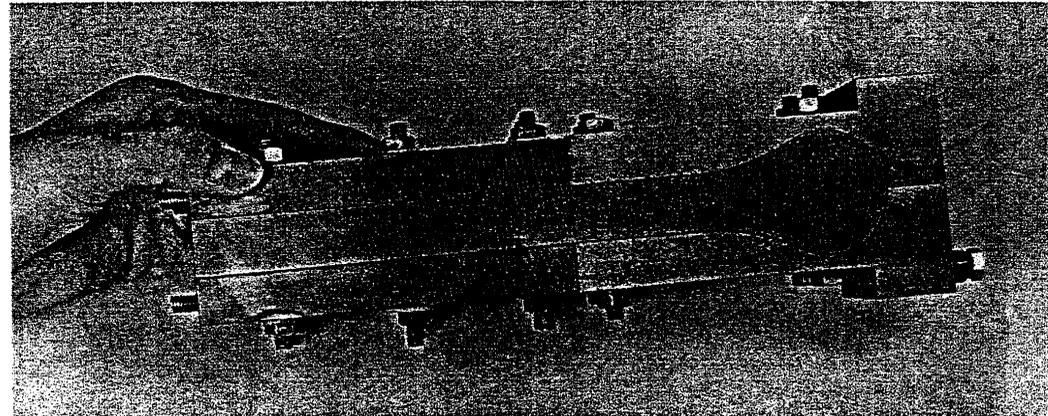
Les quatre jonctions assemblées

Réalisation des bobines

La réalisation des jonctions

Résultats des tests de jonctions Nb₃Sn-NbTi

Résistance des jonctions : 0.25 et 0.75 $\eta\Omega$
pas de dépendance en champ magnétique

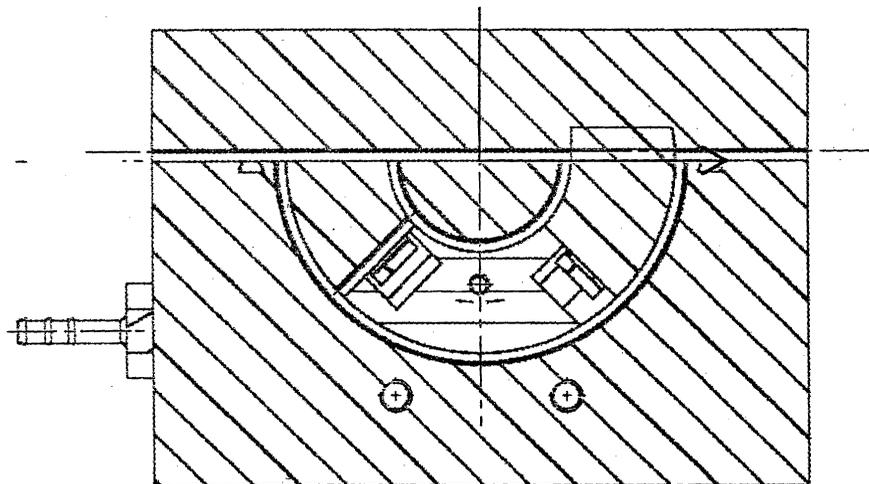


Montage de test de jonctions Nb₃Sn-NbTi

Réalisation des bobines

L'imprégnation

Section du moule d'imprégnation



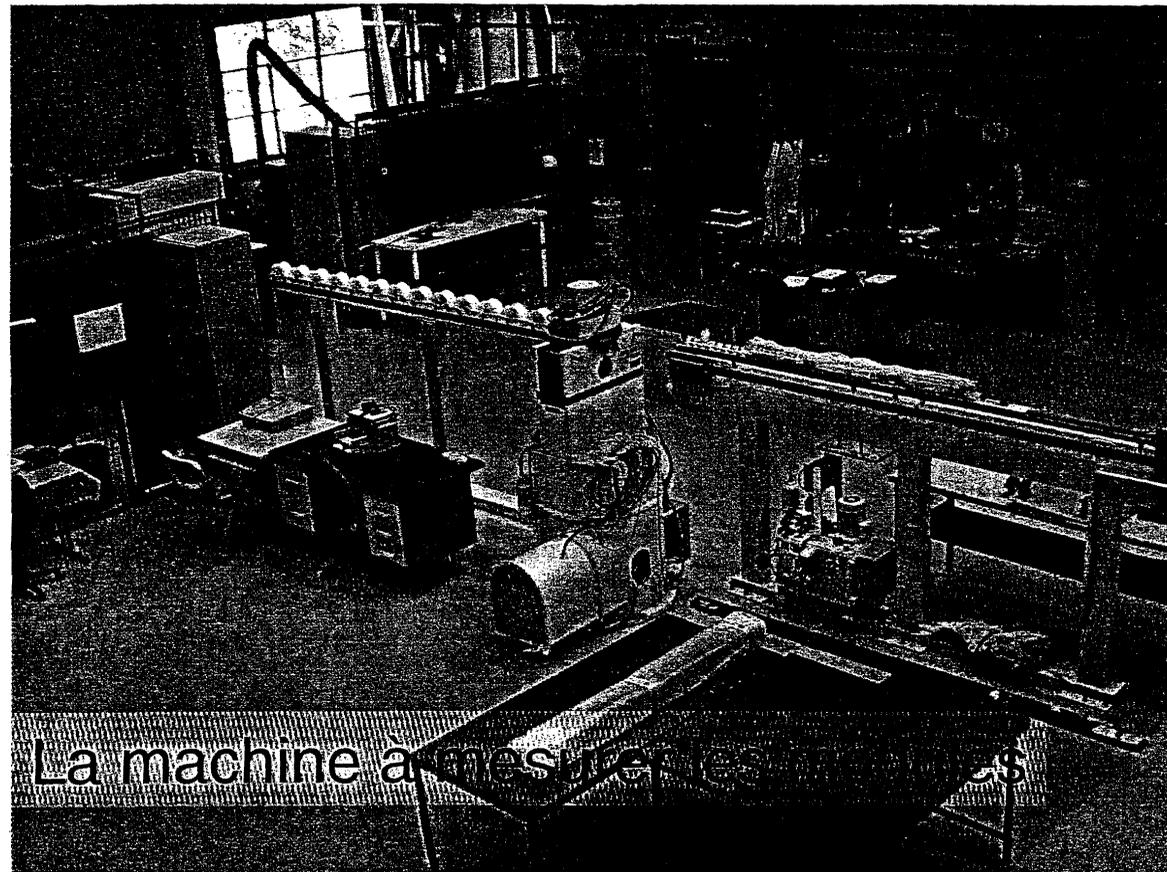
Agent démoulant : Téflon
Résine F101,
Chauffage par l'extérieur
Possibilité de positionner
le moule à la verticale

Réalisation des bobines

Les mesures mécaniques
et pré-cyclage mécanique (élimination
de la déformation permanente)

Remise en route :

- fixation au sol,
- câblage,
- mise sous tension
- tests



Réalisation des bobines

L'instrumentation

Cf. Fabrice SIMON

Réalisation des bobines

Bilan de la fabrication d'un pôle

Nombre de pôles (total : 7)

- 5 pôles en Nb₃Sn
- 1 pôle avec du Nb₃Sn hors spécifications électriques
- 1 pôle en cuivre ou en Nb₃Sn

Durée de fabrication d'un pôle :

- bobinage : 1 s
- réaction : 3 s
- imprégnation : 1 s
- mesure, instrumentation : 1 s
- soit 6 semaines / pôle

Réalisation de l'ensemble fretté

Liste des étapes

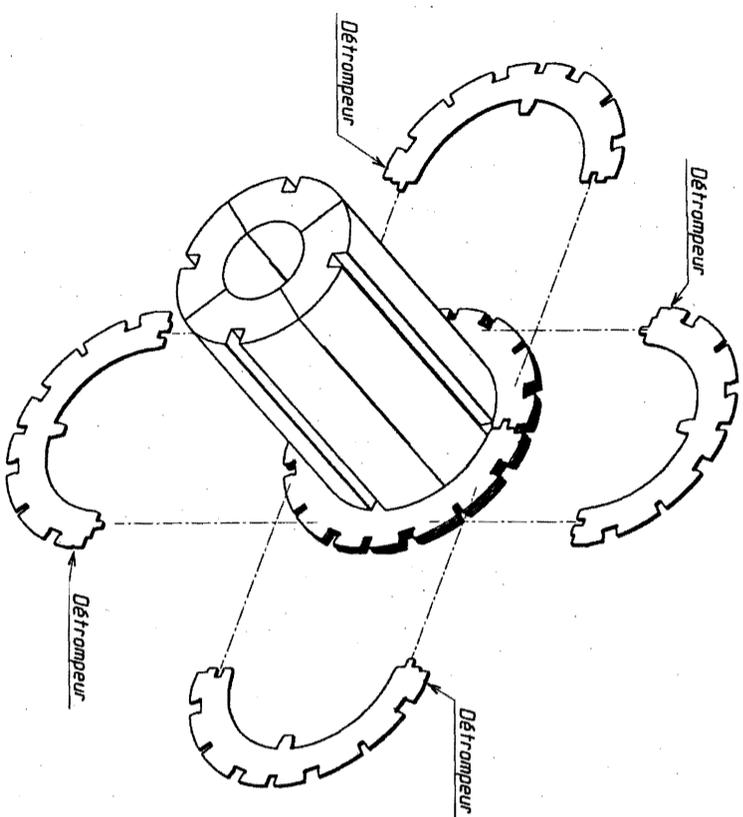
Assemblage de l'ensemble fretté

- Assemblage des pôles sur le mandrin
- Mise en place de l'isolation de masse,
- Mise en place des chaufferettes,
- Empilement des colliers à l'aide des longerons,
- Frettage avec les lardons et clavettes,
- Extraction du mandrin.

Réalisation des connexions internes

Réalisation de l'ensemble fretté

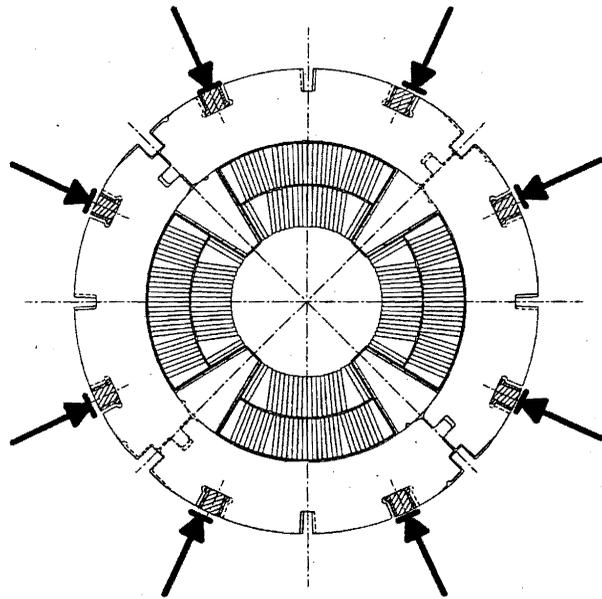
Assemblage et empilement des colliers



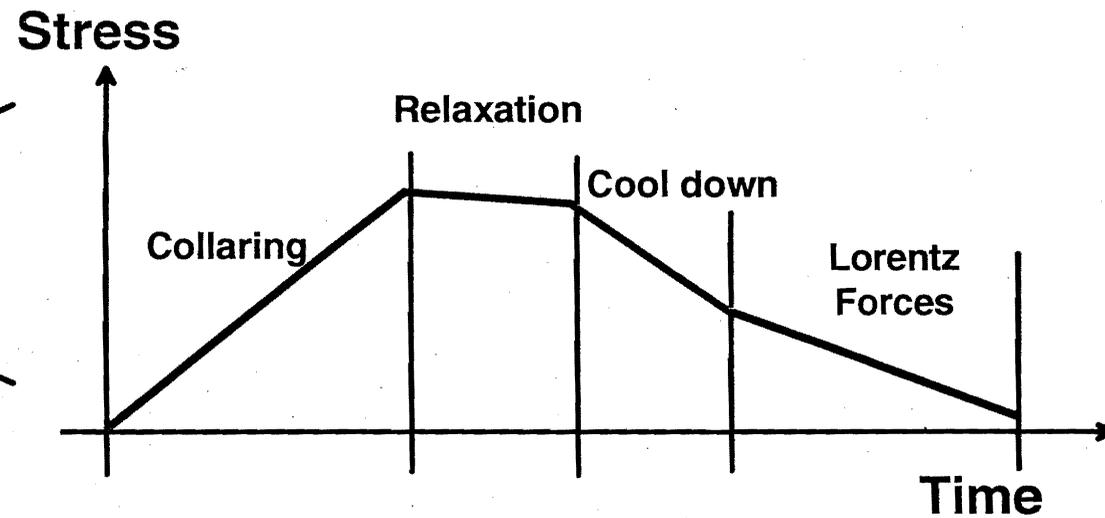
Empilement alterné à 90°
Longerons montés

Réalisation de l'ensemble fretté

Pourquoi le frettage



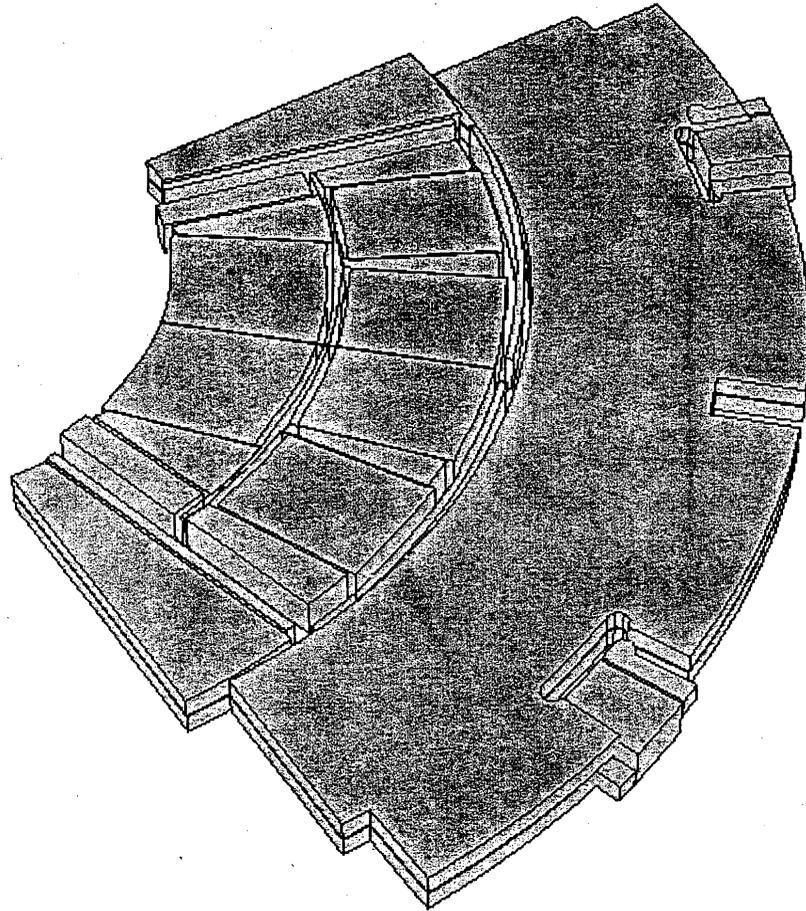
Procédure de frettage



Historique de la contrainte

$$0 < \sigma < 150 \text{ MPa}$$

Calculs Mécaniques avec COFAST



Modèle numérique 3D (Cofast)

1/4 de la section droite du
quadripôle

2 niveaux de colliers avec
lardons, clavettes, isolations,
cales angulaires et polaires,
blocs de conducteurs Nb3Sn.

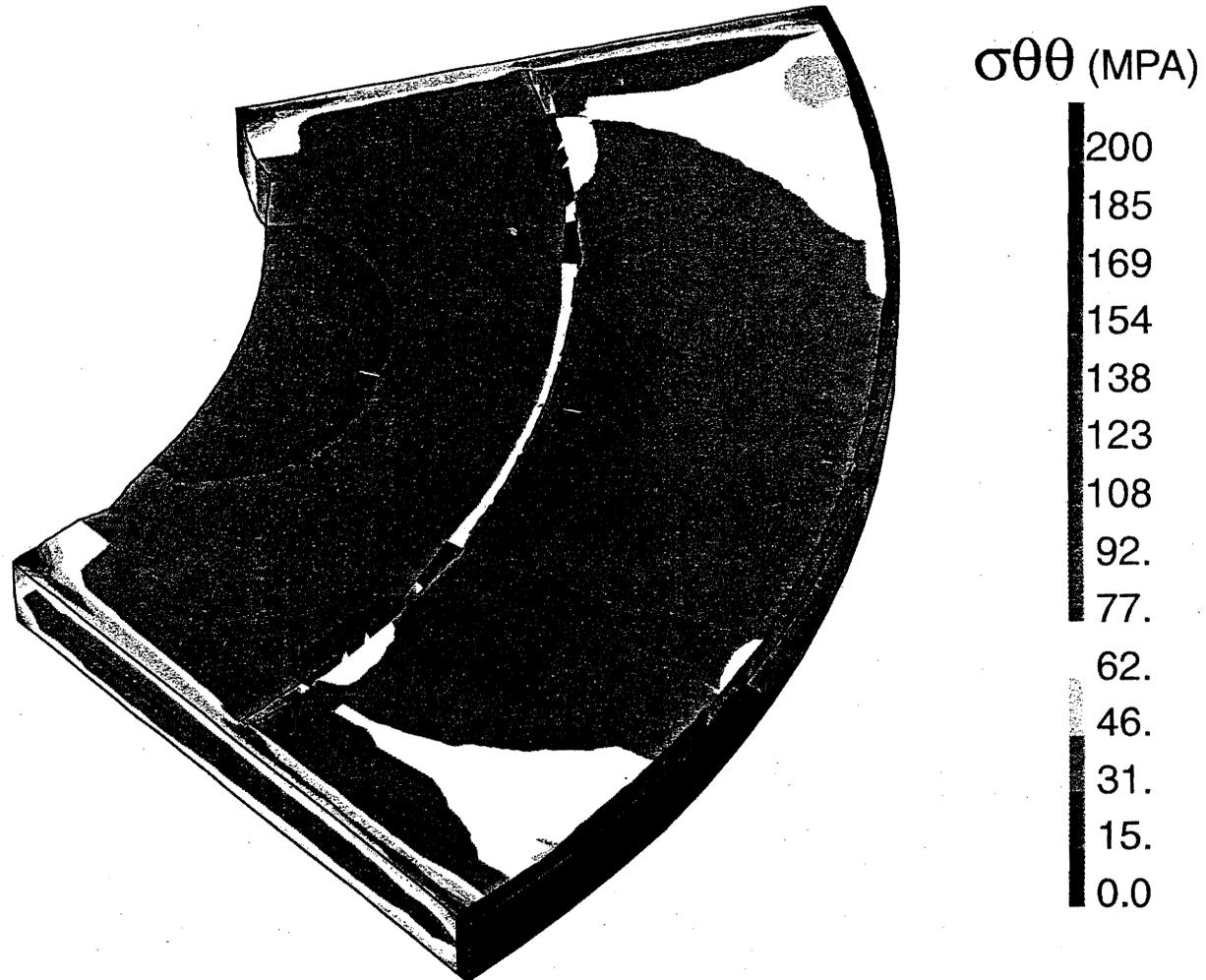
Frottement ou liaison parfaite sur
toutes les interfaces

Frettage, mise en froid et mise
sous courant

Sous-structures du modèle

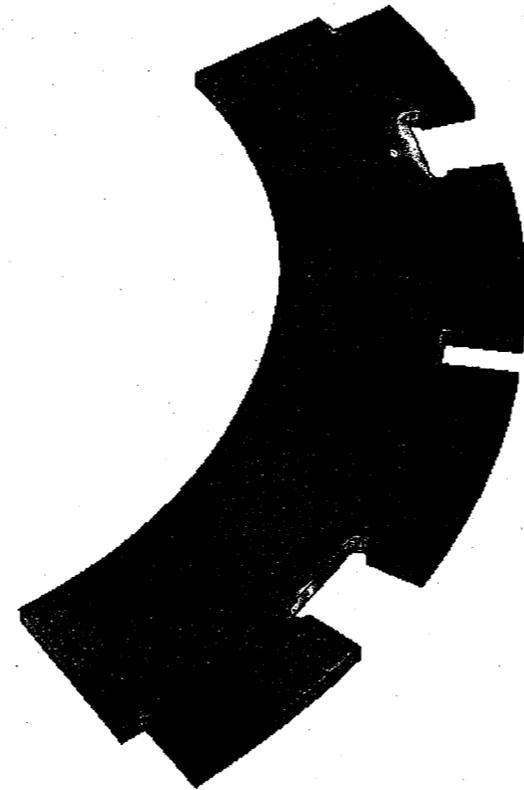
Réalisation de l'ensemble fretté

Contrainte azimutale après la mise sous courant



Réalisation de l'ensemble fretté

Contrainte équivalente après la mise sous courant



VON MISES - iteration : 141

MPa

-15.
37.
90.
142.
194.
247.
299.
352.
404.
456.
509.
561.
613.
666.
718.
770.
823.
875.
928.
980.
1030.
1080.

AMPLITUDE
DEFORMEE

1.0

Réalisation de l'ensemble fretté

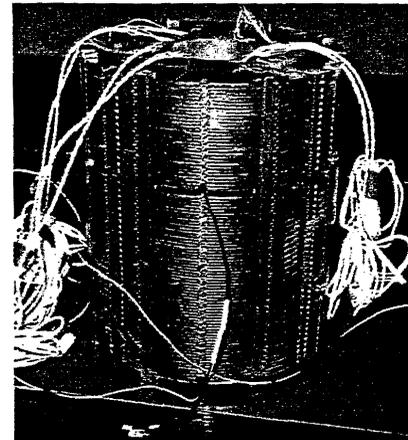
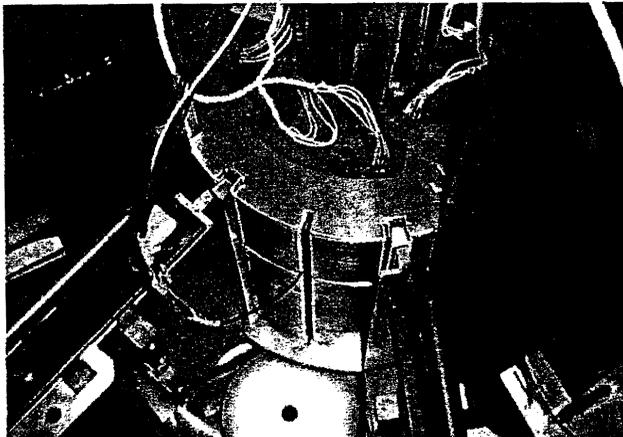
Validation des simulations numériques

Déformation due au frettage (%)

Déformation due au refroidissement à 77 K (%)

	Mesurée	Calculée
1 ^{ière} couche :	-0.75	-0.72
2 ^{nde} couche :	-0.39	-0.40

	Mesurée	Calculée
1 ^{ière} couche :	-0.62	-0.61
2 ^{nde} couche :	-0.40	-0.39

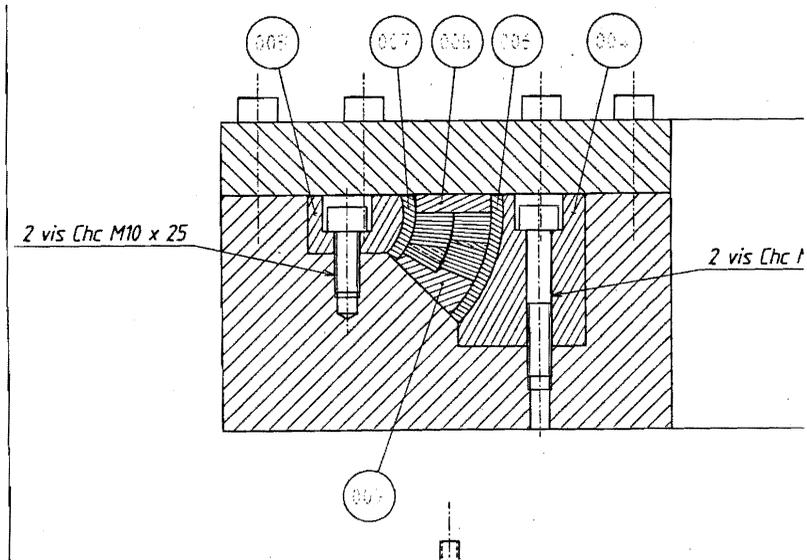


Montage expérimental

Réalisation de l'ensemble fretté

Détermination des dimensions des bobines

Schéma des Moules courbes demi-pôle de 100 mm de long



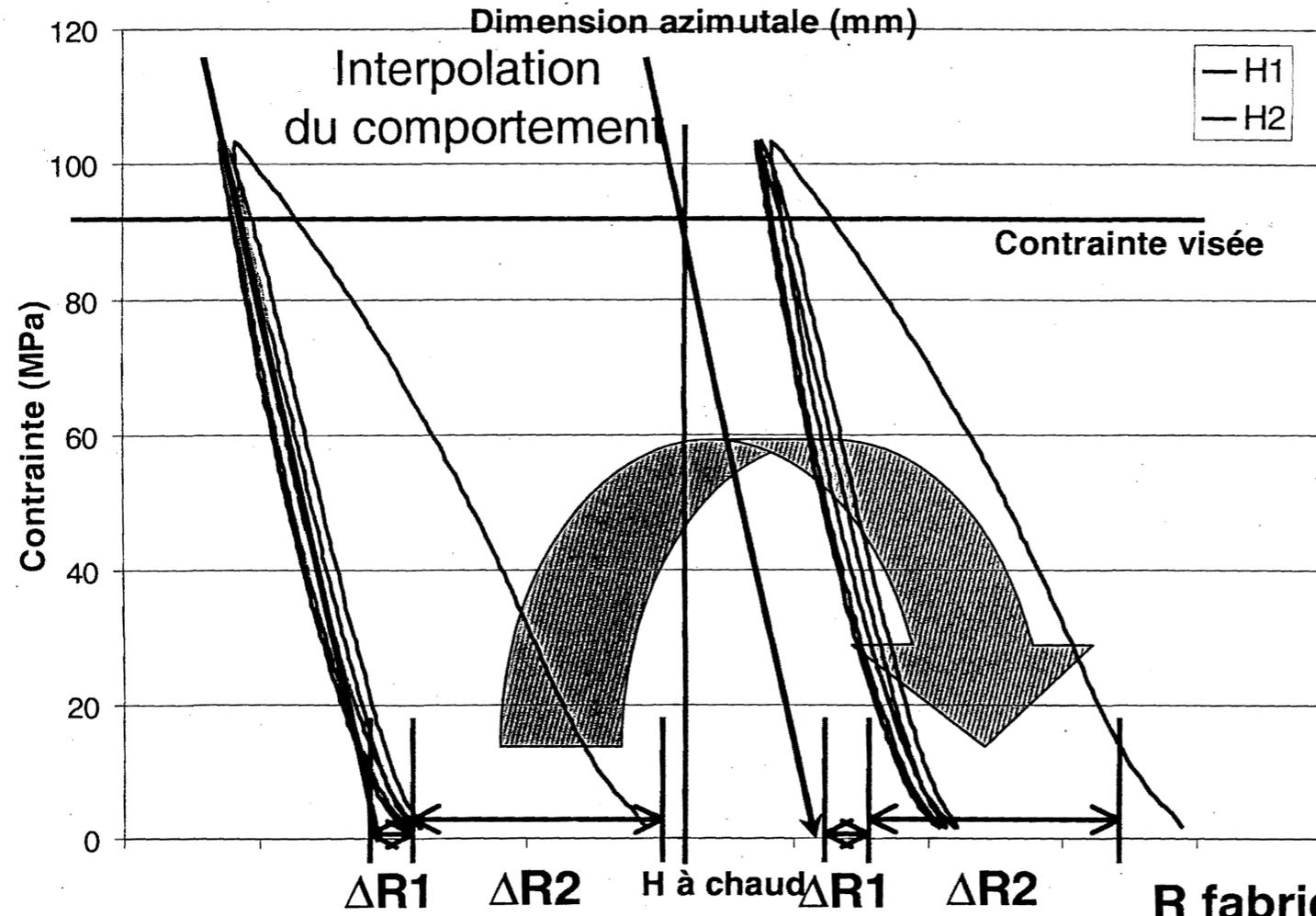
appréhender :

- contrôle des dimensions,
- effort de fermeture du moule,
- transfert de moule,
- imprégnation sous vide,
- variation des dimensions.

Lancement de la phase de réalisation

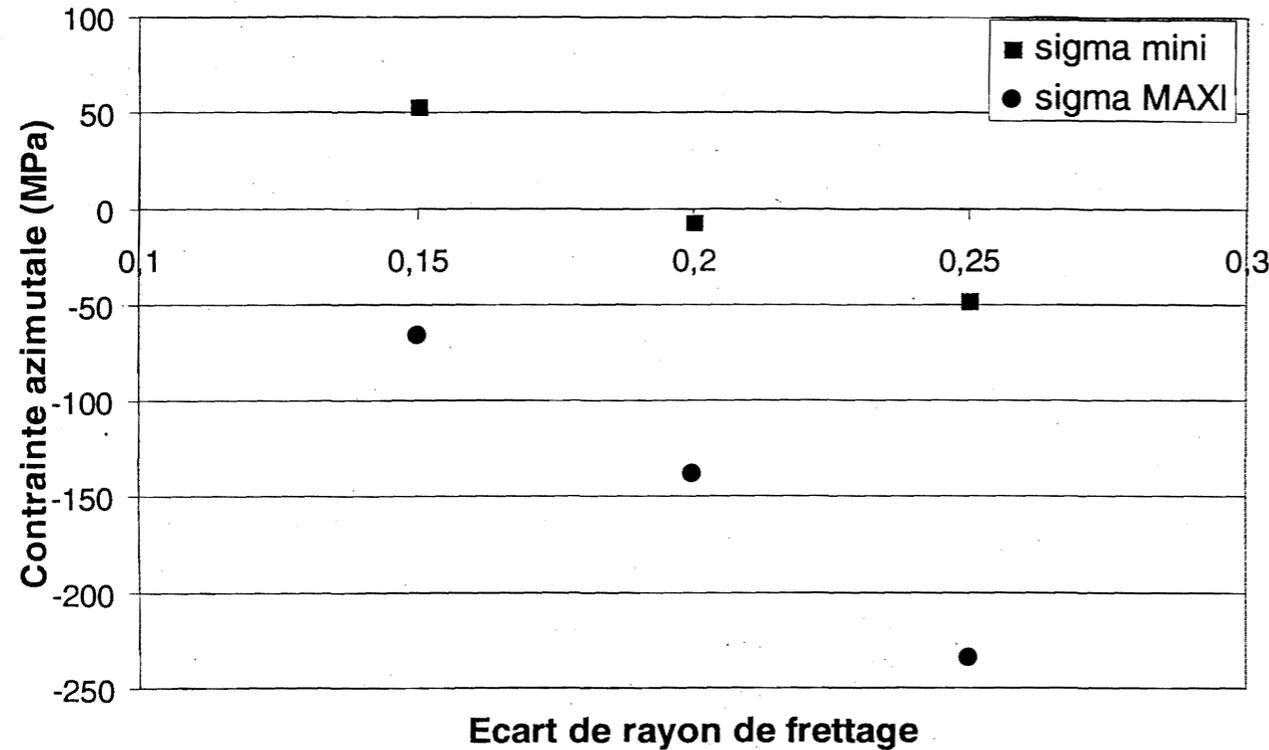
Réalisation de l'ensemble fretté

Détermination des dimensions des bobines



Réalisation de l'ensemble fretté

Influence des tolérances sur le rayon extérieur des bobines



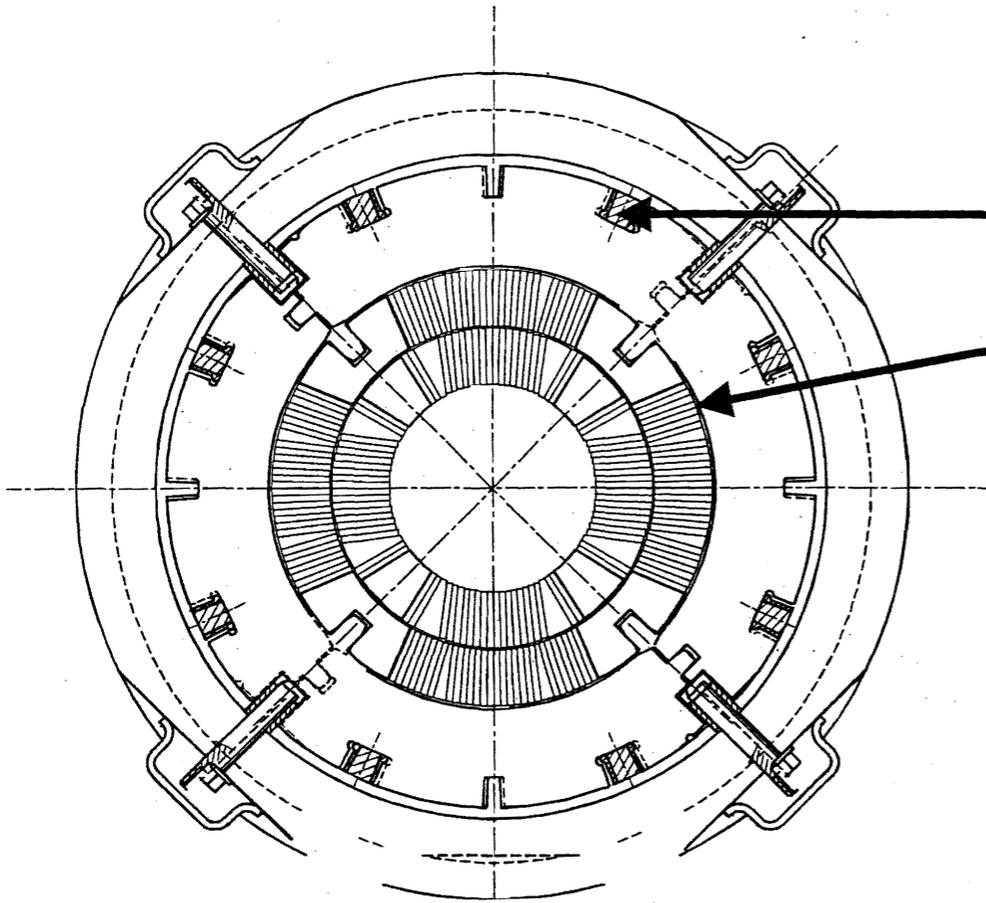
Variation de **0.05 mm** sur le rayon extérieur de la bobine

engendre une variation d'environ **55 MPa** sur la contrainte azimutale

Soit $\pm 0.01 \text{ mm} \approx \pm 11 \text{ MPa}$

Réalisation de l'ensemble fretté

Détermination des dimensions des bobines

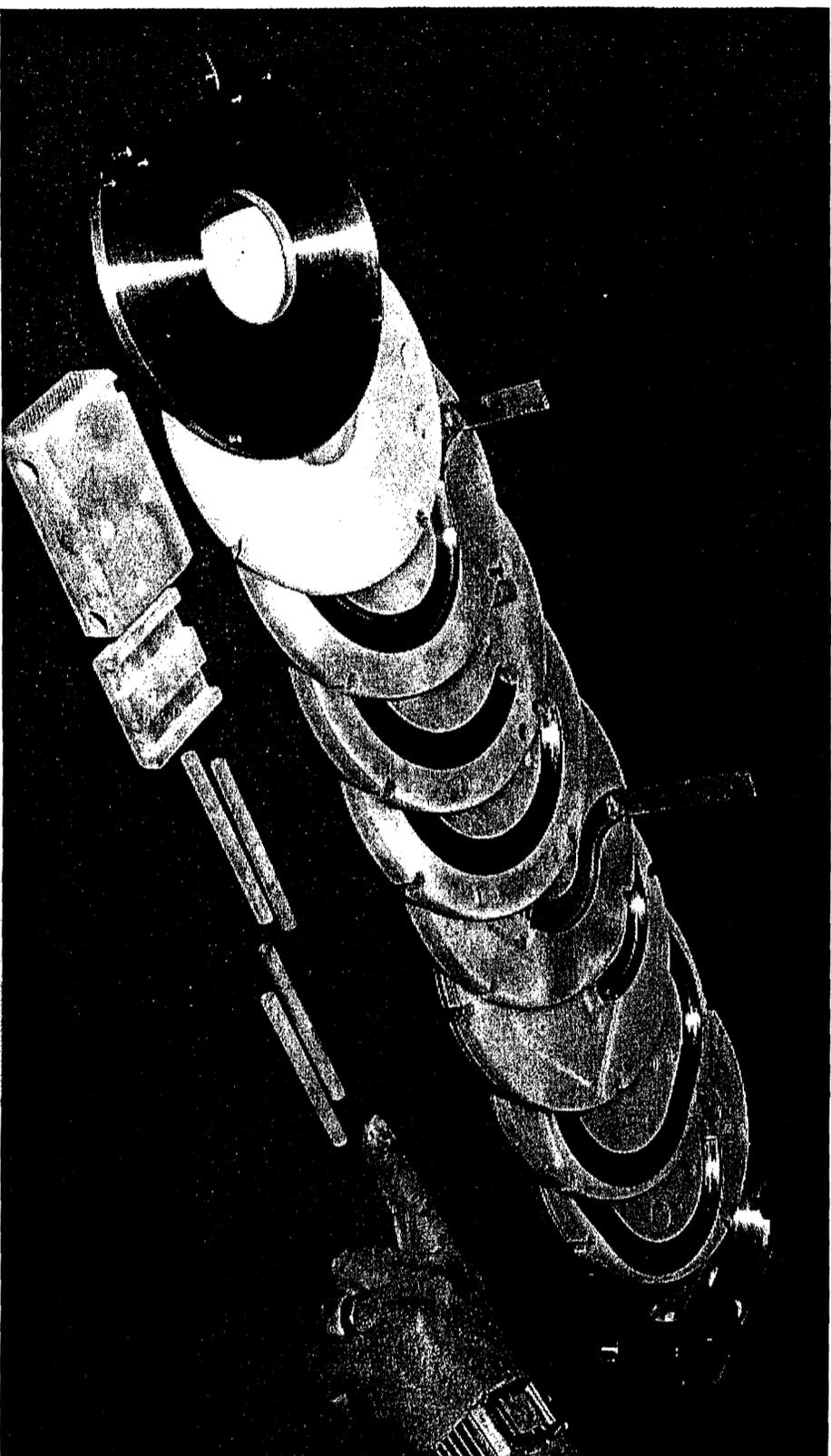


Si défaut, 2 possibilités :

- modification des dimensions des clavettes,
- rajout de « shim » entre les colliers et les bobines

Réalisation de l'ensemble fretté

Connexion interpôles

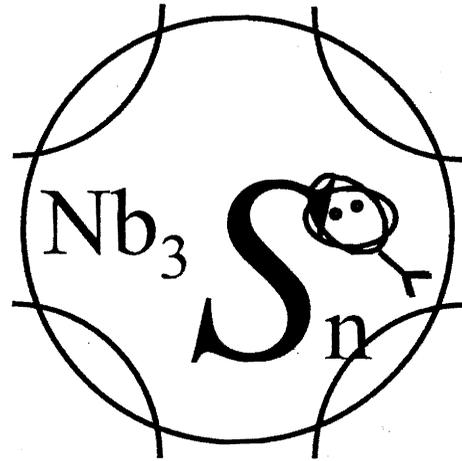


 **DSM - DAPNIA - STCM**

Revue du 28 Juin 2001 II.52

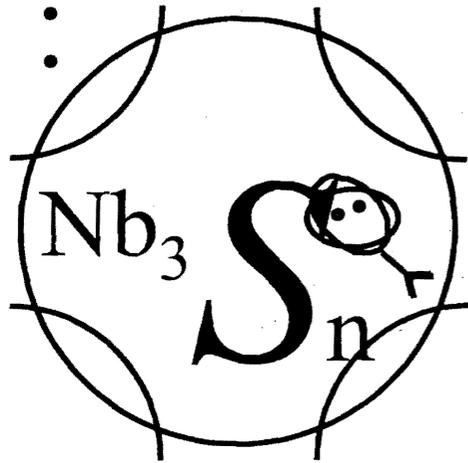
Présentation de F. Simon

Annexe III



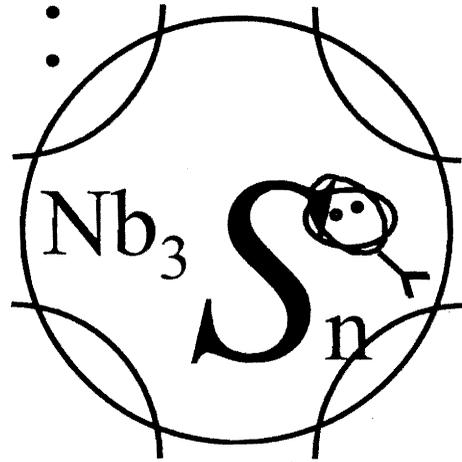
Nb_3Sn

Instrumentation et essais



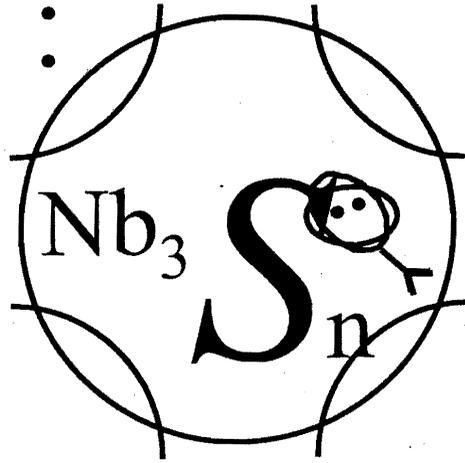
Nb₃Sn - généralités

- Aimant à ouverture unique
- Possible utilisation comme aimant de focalisation finale dans un détecteur.
- Pas de diode de by-pass. Décharge sur une résistance de 10mΩ lors des essais.



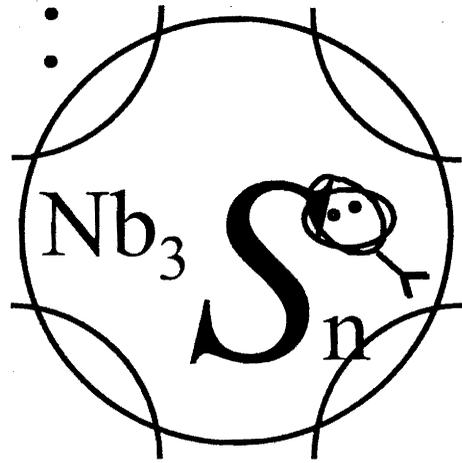
Nb₃Sn - essais prévus

- Training entre 4.2 et 1.6K (vitesse de propagation),
- Test des chaufferettes (retard et efficacité),
- Mesures de pertes, électriques et calorimétriques,
- Mesures magnétiques statiques et dynamiques,
- Training, chaufferettes et pertes sous champ externe solénoïdal de 2T.



Nb₃Sn - instrumentation

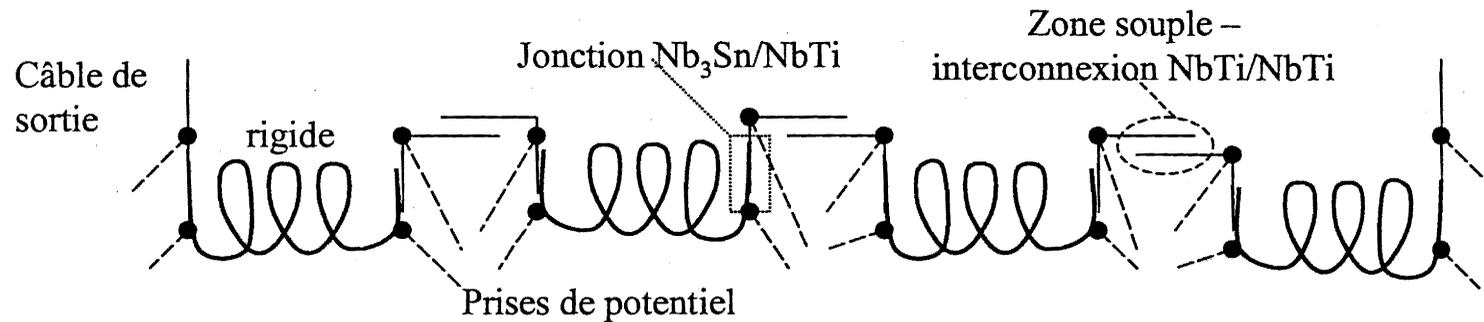
- Sondes de température Carbone et Platine en trois points de la bobine et aux extrémités de l'enceinte hélium (10 sondes),
- Capteurs capacitifs sur chaque pôle et chaque couche (16) :
 Fiabiliser la connexion, moment d'implantation
- Pression à l'avant et arrière (2), Niveau Hélium et cryoheater.
- 4 chaufferettes, à cheval sur deux pôles
 Adapter leur résistance car plus petites que pour Quad LHC
- Prise de potentiel pour la protection (2*5)
- Capteurs de déformation des têtes (champ solénoïdal).



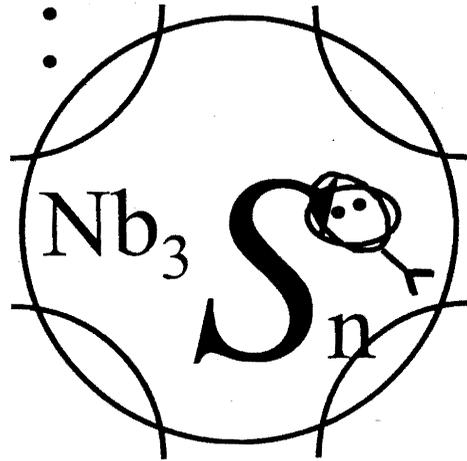
Nb₃Sn - instrumentation

Prises de potentiel de diagnostic

- 80 voies disponibles sur la baie d'acquisition rapide, utilisables en différentiel. Extension à 128 possible.
- Les jonctions entre bobines Nb₃Sn se font par une double connexion en NbTi. Éléments sensibles à surveiller. **16 prises**



=> Reste 16 prises internes par bobine (7 de plus que Quad LHC)



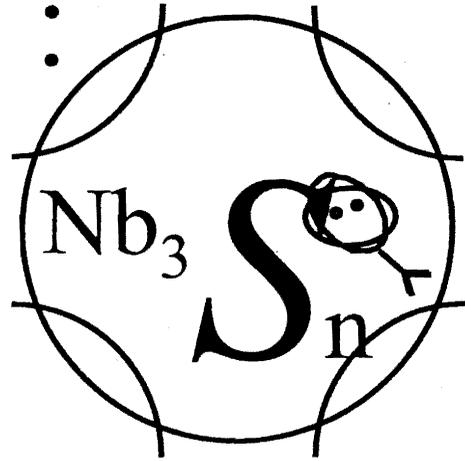
Nb₃Sn - Moyens d'essais



- Etanchéité des enceintes à vide vérifiée.

Reste :

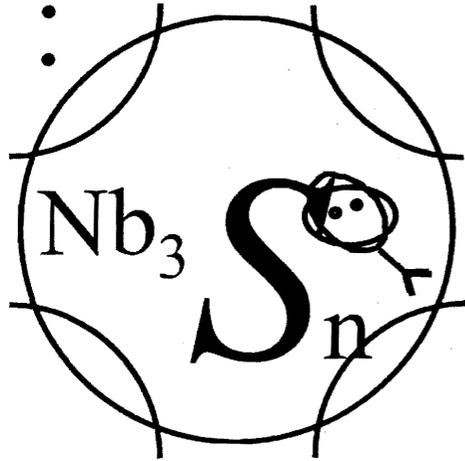
- Nettoyage des lignes de récupération du 392 et de l'aimant.
- Mise en froid pour test de fuite, repérage de l'instrumentation, essai d'alimentation avec branchement permanent de l'amenée et montée à 1T (vérification éventuel de la protection).
- Mise en froid pour réalisation de carte de champ vers 1T.
- Montée en courant jusqu'à 2,2T.



Nb₃Sn - Moyens d'essai

- Adaptation de la station d'essai :
 - plan d'instrumentation,
 - lignes cryogéniques,
 - présence de l'aimant RMN530, éventuellement mobile
- Antennes à quench:

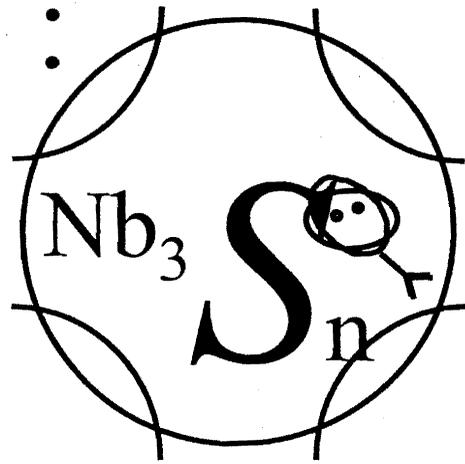
Il est possible de ré-utiliser 6 de celles des Quad LHC.



Nb₃Sn - Moyens d'essais

Mesures magnétiques

- Passage du programme sous Labview.
 - Possibilité de découper cette tâche en deux parties (acquisition puis traitement).
 - A sous-traiter. Coût d'environ 100kF pour l'acquisition.
- Débugage du programme de mesure à la rampe.
- Améliorer le maintien de l'encoder et le thermaliser
- Synchroniser l'alimentation de l'aimant et l'acquisition.
- Ajout d'un inclinomètre.



Nb_3Sn - CONCLUSION

- ⇒ Finaliser la liste d'instrumentation.
- ⇒ Approvisionner les capteurs
- ⇒ Déterminer leur implantation.
- ⇒ **Remise en route du RMN530**
- ⇒ Préparer l'installation sur la station d'essai
- ⇒ **Refonte du logiciel de mesures magnétiques**