

TESTS ET CONTROLES POUR LES AIMANTS QUADRIPOLAIRES ACOL

Addendum aux Spécifications Techniques PS/AC/Spec. 84-1

L. Rinolfi

Cette note précise les tests décrits dans les spécifications techniques.

A la lumière des possibilités des firmes concernées et des paramètres aujourd'hui affinés, les tests et contrôles sont décrits avec des valeurs réelles.

1. CIRCUIT MAGNETIQUE

L'acier en tôle mince de 1,5 mm d'épaisseur est fourni par la firme Cockerill (Belgique).

L'analyse d'échantillons a été effectuée au CERN et a reçu son approbation.

1.1 Test de la résistance d'isolation

Une tôle QN a une surface de 0.143 m<sup>2</sup>. Il faut appliquer une pression de de 10<sup>6</sup> Pa (~10 kp/cm<sup>2</sup>). La force est donc de 143 10<sup>3</sup> N (~15 tonnes). On empilera des tôles afin d'obtenir une hauteur de 0.2 m et on appliquera la force calculée. La résistance mesurée devra être supérieure à 0.004 Ω.

1.2 Découpe des tôles

Lorsque l'outil sera monté à Jeumont, les contrôles géométriques sur les premières tôles découpées seront effectués au CERN. Après accord de ce dernier, la série pourra débuter. L'outil de découpe sera utilisé, sans réaffûtage, tant que les cotes géométriques resteront dans les tolérances suivantes :

- sur le pôle, sur la rectitude et sur la perpendicularité des faces de référence < ±0,020 mm
- sur les dépouilles < 0,030 mm
- sur les bavures < 0.060 mm

On estime un réaffûtage nécessaire après la découpe de 15 000 tôles environ.

Avant un réaffûtage, l'outil sera utilisé pour découper les morceaux de pôle dans des tôles de 1,5 mm et 0,5 mm qui serviront d'intercalaires aux cales d'extrémité montées sur les flasques.

### 1.3 Contrôle des plaques d'extrémité

L'acier en tôle forte de 50 mm d'épaisseur est fourni par la firme Thyssen (RFA).

L'analyse d'échantillons a été effectuée au CERN et a reçu son approbation.

#### a) Profil

Jeumont fournira un échantillon de pièce découpée dans cet acier et usiné sur une machine à commandes numériques.

Après contrôle et accord du CERN, l'usinage de la série pourra être fait. La firme devra en outre s'assurer que le profil des flasques n'est pas altéré au cours de la fabrication.

#### b) Perpendicularité et parallélisme

Elles devront être respectivement de  $\pm 0,015$  mm et de  $\pm 0,025$  mm. La perpendicularité se mesure entre la face plane de contact et la génératrice d'un profil.

### 1.4 Contrôle du facteur d'empilage

Si  $M_{th}$  est la masse théorique d'un quadrant et  $M_q$  la masse mesurée après empilage, on doit avoir

$$M_q > 0,96 M_{th} \quad (1)$$

Calcul de la masse théorique

surface d'un quadrant	:	0,143	m <sup>2</sup>
longueur " "	:	0,607	m
volume	:	0,0868	m <sup>3</sup>
densité	:	7,8	g/cm <sup>3</sup>
masse	:	677	kg

La masse mesurée  $M_q$  du premier quadrant devra être  $> 650$  kg. La masse mesurée de tous les autres quadrants devra être :

$$0,995 M_q < M_q < 1,005 M_q \quad (2)$$

Ceci doit être obtenu simultanément avec une autre contrainte (voir point suivant) sur la tolérance de la longueur d'un quadrant.

La méthode pour satisfaire ces conditions est laissée au choix du fabricant. Le CERN suggère seulement une méthode compte tenu de son expérience :

- sur le gabarit d'empilage, marquer un repère à 607 mm de l'extrémité fixe
- empiler le nombre de tôles nécessaires compte tenu de la pression à appliquer (voir point suivant pour le calcul du nombre de tôles théorique),
- effectuer une pesée. Si elle est conforme à la condition (1), c'est terminé. Sinon augmenter la pression pour pouvoir mettre davantage de tôles ou bien intercaler des tôles minces là où cela se justifie, jusqu'à ce que la condition (1) soit respectée.

### 1.5 Contrôle de la longueur des quadrants

Chaque quadrant devra avoir une longueur  $\lambda$  telle que :

$$606,5 \text{ mm} < \lambda < 607,5 \text{ mm}$$

Ceci implique une zone interdite pour la dernière tôle empilée entre 606 et 605,5 mm. Le cas échéant, il faudra faire varier la longueur du quadrant de 0,5 mm maximum à l'aide de la pression appliquée.

Calcul du nombre théorique de tôles pour un quadrant :

longueur d'un quadrant	:	607 mm
épaisseur d'une flasque	:	40 mm
épaisseur d'une tôle	:	1,5 mm
nombre de tôles	:	$(607 - (2 \times 40))/1,5 \approx 351$

### 1.6 Contrôle de la rectitude d'un quadrant

Elle sera contrôlée sur plusieurs points du pôle et des surfaces de référence A et B et devra être inférieure ou égale à  $\pm 0,025$  mm.

### 1.7 Contrôle de la perpendicularité des faces de référence

Elle devra être inférieure ou égale à 0,150 mm.

### 1.8 Contrôle des cales d'extrémité

Elles seront usinées sur la même machine à commandes numériques que les flasques et ne nécessitent pas en principe un contrôle du profil.

Jeumont livrera au CERN, avec le premier aimant QN, un jeu de 8 cales d'épaisseur 20 mm, c'est-à-dire qu'elles seront "à fleur" avec les flasques, et un jeu de 8 cales de 35 mm d'épaisseur.

Après les mesures magnétiques effectuées sur les premiers aimants QN (3 types différents), le CERN communiquera l'épaisseur définitive des futures cales d'extrémité.

### 1.9 Procès-verbaux

Chaque quadrant sera marqué de 1 à 108. Il fera l'objet d'un procès-verbal comme décrit dans les spécifications techniques.

## 2. BOBINES

### 2.1 Contrôles du cuivre

Il est fourni par la firme OKTOKOUMPU (Finlande).

Une mesure des sections, des trous de refroidissement, de leur excentricité et de la dureté du cuivre sera effectuée pour chaque type de cuivre (QN et QW).

	Sectjions mm <sup>2</sup>	Ø trou mm	Excentricité	Dureté Vickers
QN	15 × 23 ±0,1	6,5 ±0,05	7%	<55
QW	18,2 × 21 ±0,1	7,5 ±0,05	7%	<55

Une mesure de la résistivité sera aussi faite et devra être inférieure à  $1,73 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  à 20°C.

## 2.2 Contrôles d'échantillons de brasage

Pour le cuivre QW (18,2 × 21 mm<sup>2</sup>), une série d'échantillons seront soumis aux tests suivants :

- Le joint sera soumis à une force de traction de  $4 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  ( $\sim 4 \text{ kp/mm}^2$ ). Aucune fissure ou détérioration de surface ne doit apparaître.
- 3 échantillons seront soumis à une traction jusqu'à la rupture. La force nécessaire doit être supérieure ou égale à  $12 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  ( $12 \text{ kp/mm}^2$ ).
- Durant 3 minutes, de l'eau à 80°C circulera dans le conducteur avec brasure pendant que de l'eau froide (15°C) sera projetée extérieurement sur le cuivre. On répétera ce cycle 25 fois et ensuite le test a) sera recommencé.
- Le joint sera soumis à un test sous vide avec détecteur de fuite à l'hélium.
- Enfin, le joint sera coupé pour une inspection visuelle de la répartition homogène du brasage, les porosités éventuelles et de la non-obstruction au niveau de la douille de jointure.

## 2.3 Contrôle des joints de brasure durant le bobinage

A chaque jointure dans la bobine QW, on procédera à un essai de traction de  $4 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  et à un essai en pression d'eau de  $6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  sauf pour le jointure entre les couches 2 et 3.

## 2.4 Contrôle du ruban d'isolation pré-imprégné

Jeumont fournira un échantillon de ce ruban afin de faire des tests d'imprégnation au CERN.

## 2.5 Contrôle de la résine époxy

Etant donné que certaines bobines devront fonctionner dans un environnement radioactif, Jeumont fournira au CERN un échantillon de la résine prévue pour l'imprégnation des bobines. Celle-ci sera soumise à un rayonnement de  $10^7 \text{ Gy}$  ( $10^9 \text{ rad}$ ) de dose intégrée.

La force de flexion des échantillons irradiés ne devra pas être inférieure de 50% par rapport aux échantillons témoins.

Le document LEP-MA/C.W./r.h. du 6/1/84 donne les résultats des échantillons fournis par Jeumont et leurs approbations.

## 2.6 Tests sur la première bobine QW et QN

On fera passer du courant dans la bobine jusqu'à ce que la différence de température de l'eau entre entrée et sortie soit de 50°C.

On coupe le courant et on laisse refroidir.

On répète 50 fois ce cycle.

Tous les tests électriques décrits ci-après seront alors effectués.

## 2.7 Contrôles géométriques

### a) Bobines QW

Celles-ci doivent être expédiées chez Tesla (Angleterre), fabricant des culasses QW. Afin de respecter les contraintes de montage des aimants, toutes les cotes tolérancées sur les dessins de Jeumont devront être respectées, en particulier les cotes sur la section qui devront être de :

$$160 \text{ mm } \begin{matrix} + 3 \\ - 1 \end{matrix} \text{ mm}$$

et

$$82 \text{ mm } \begin{matrix} + 0 \\ + 3 \end{matrix} \text{ mm}$$

### b) Bobines QN

Toutes les cotes tolérancées sur les dessins de Jeumont devront être respectées.

## 2.8 Contrôles de débit et pression

### a) Bobines QW

Sous une pression de  $10^6$  Pa ( $\sim 10$  kp/cm<sup>2</sup>), le débit devra être supérieur ou égal à 32 l/min.

### b) Bobines QN

Sous une pression de  $10^6$  Pa ( $\sim 10$  kp/cm<sup>2</sup>), le débit devra être supérieur ou égal à 24 l/min.

### c) Toutes les bobines

Elles seront soumises durant 15 minutes, à 20°C, à une pression d'eau de  $6 \cdot 10^6$  Pa. Aucune fuite ne devra apparaître.

## 2.9 Contrôles électriques

### a) Résistance contre la masse

- La bobine est mise entièrement dans l'eau à 20°C, et les extrémités sont entourées par des chiffons imbibés d'eau. On applique la tension de 2 kV. La résistance mesurée  $R_1$  devra être supérieure à 100 M $\Omega$ .

- Après 1 minute, on mesurera une résistance  $R_2$ .
- Après 10 minutes, on mesurera une résistance  $R_3$ .
- Après 12 heures, on mesurera une résistance  $R_4$ . Le résultat devra donner  $R_4 > 0,9 R_2$ .

Pour les premières bobines, la complète immersion devra durer 24 heures.

On terminera ces mesures par le test suivant : une tension de 7 kV (efficaces) à 50 Hz sera appliquée entre cuivre et masse pendant 1 minute.

b) Test d'isolation des spires

Une tension de 70 V (efficaces) par spire sera appliquée pendant une minute sur la bobine. Ceci donnera 1820 V pour les bobines QW et 1330 V pour les bobines QN.

Jeumont-Schneider a proposé une méthode par ondes de choc qui permet d'obtenir ces tensions. Il appliquera une tension induite pour la première bobine. Le CERN a accepté.

c) Test d'isolation masse

La bobine étant revenue dans des conditions normales, on fera une mesure de résistance  $R_5$  à l'aide des 2 kV (continus). Le résultat devra être  $R_5 > 0.9 R_1$ .

d) Résistances électriques

Les résistances seront mesurées à 20°C pour chaque bobine. Elles devront être inférieures ou égales à celles mentionnées dans le tableau ci-après.

	Bobines QN			Bobines QW			
	19 spires	17 spires	15 spires	26 spires	22 spires	20 spires	17 spires
R (mΩ)	2,2	1,9	1,7	3,4	2,8	2,5	2,2

2.10 Procès-verbaux

Chaque bobine QN sera marquée de 1 à 108. Chaque bobine QW sera marquée de 1 à 120 (voir compte rendu du 28 août 1984). Chacune fera l'objet d'un procès-verbal de Jeumont-Schneider.

### 3. AIMANT COMPLET

#### 3.1 Décalage longitudinal

Entre 2 quadrants adjacents, le décalage longitudinal mesuré en différents points du pôle ne devra pas excéder 0.5 mm.

#### 3.2 Jeu entre les faces de référence

Les faces de référence en contact ne devront pas avoir un jeu supérieur à 0.050 mm.

#### 3.3 Distances entre bords du pôle

Le contrôle sera fait en plusieurs points .

Dans les 4 entrefers, on devra avoir  $64,580 \text{ mm} < g < 64,660 \text{ mm}$ .

#### 3.4 Vrillage de l'aimant

Il ne devra pas excéder  $\pm 0,085 \text{ mm}$  sur toute la longueur du quadripôle.

#### 3.5 Tests de pression

Tout le système de refroidissement de l'aimant sera soumis à une pression de  $6 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  pendant 1 h.

#### 3.6 Tests de débit

Sous une pression de  $10^6 \text{ Pa}$  entre entrée/sortie de l'aimant, le débit mesuré devra être supérieur ou égal à 24 l/min.

#### 3.7 Résistance de l'aimant

Le circuit électrique de chaque aimant devra avoir une résistance inférieure ou égale à celles mentionnées dans le tableau ci-après.

	Bobines QN		
	19 spires	17 spires	15 spires
R (mΩ)	9	8	7

#### 3.8 Test d'isolation masse

Pendant 1 minute, on appliquera une tension de 7 kV (efficaces) à 50 Hz entre bobine et culasse. La résistance d'isolation contre la masse sera mesurée à l'aide d'une tension de 2 kV (continus) et devra dépasser 100 MΩ.

### 3.9 Echantillons de brasage des connexions

La firme devra réaliser 5 échantillons de brasage pour tester les connexions entre extrémités de bobine et cuivre de raccordement allant aux distributeurs d'eau.

### 3.10 Test avec alimentation de courant

Etant donné que la firme n'est pas équipée en alimentation de puissance (~2000 A) et en eau déminéralisée, ces tests seront faits au CERN.

### 3.11 Essais de levage

Le CERN fournira le gabarit de levage des aimants. On procédera à quelques essais de manutention à Jeumont.

### 3.12 Procès-verbaux

Pour chaque aimant, de 1 à 27, il sera fourni un procès-verbal des tests et mesures effectuées. Le 2<sup>ième</sup> aimant sera livré en 4 quadrants et 4 bobines.

## 4. TESTS D'ACCEPTANCE

L'aimant sera accepté :

- a) après avoir été soumis au courant nominal pendant 48 h au CERN et montré aucune défaillance technique.
- b) après avoir été soumis aux mesures magnétiques et montré une carte de champ acceptable.