

Proposition de R&D dans le cadre SuperBeam/VFact

Auteurs : J.E Campagne, M. Omeich, J. Bonis
Date : 20 avril 2004

Diffusion :

LAL : J.-L. Borne, Ph. Lavocat
LPNHE: J. Dumarchez
IN2P3 : S. Katsanevas

Introduction

Dans le cadre des prospectives du nouveau service de mécanique (SDTM), nous proposons une recherche et développement sur les cornes pouvant être utilisées dans les usines à neutrinos envisagées dans l'avenir. Cette R&D prolonge naturellement l'investissement du service dans le cadre des Cornes du CNGS.

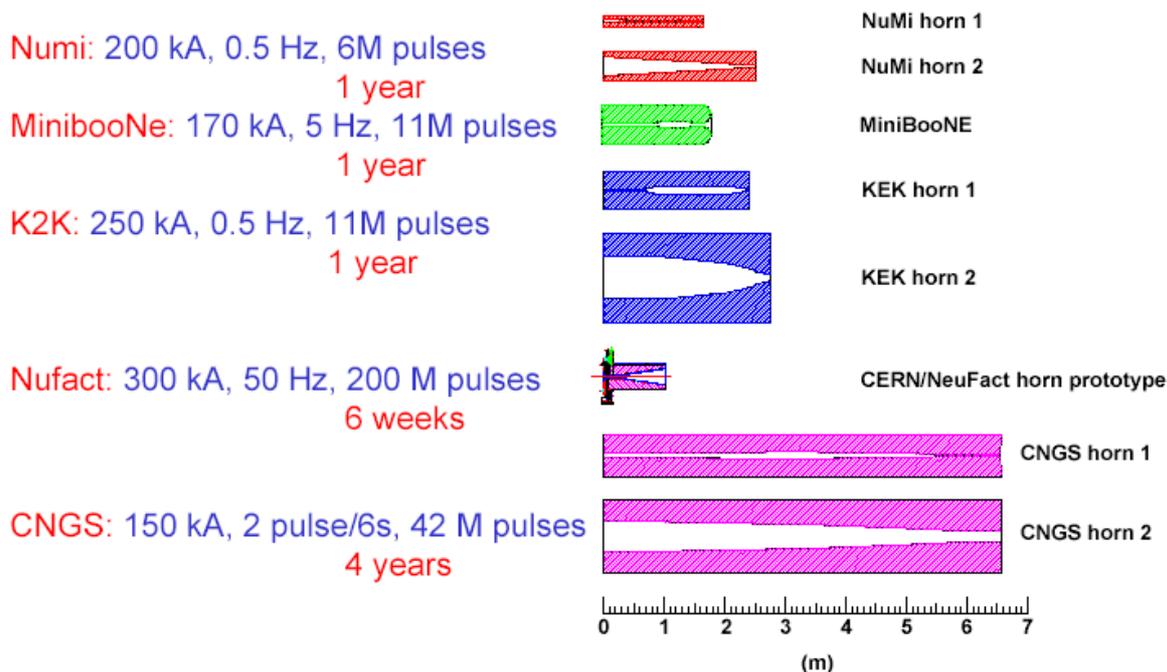


Figure 1 Quelques paramètres de comparaison des cornes actuelles

Contexte International

Le contexte international est centré sur les R&D en vue de réalisations de sources intenses de neutrinos afin de pouvoir étudier leur matrice de mélange c'est à dire de déterminer les angles de mélange et la phase de violation de CP comme BB/Belle le font actuellement dans le secteur des mésons beaux. Ces R&D sont structurés en groupes de travail au sein de l'ENG¹ organisé dans le réseau européen BENE² du programme CARE (financé par le 6ème PCRD). Jean-Eric chapote le groupe « Collector ». Une autre structure au niveau européen,

¹ European Neutrino Group

² Beams for European Neutrino Experiments

l'EMCOG³, a été mise en place afin de coordonner, promouvoir et faciliter ces R&D, son président est C.Wyss chef de la division accélérateur du CERN. On note également que l'IN2P3, le CEA et l'INFN essayent de se coordonner pour promouvoir l'extension du Laboratoire Souterrain de Modane en vue d'une éventuelle installation d'un détecteur MegaTonne.

Calendrier prévisionnel

Il serait intéressant de pouvoir intégrer durant le second semestre de 2004 des résultats d'études préliminaires en vue de l'édition d'un document de Design Studies pour le projet NuFact qui serait présenté en 2005 afin de recueillir des fonds européens. En 2006, le directeur général du CERN doit présenter le planning du CERN pour le futur avec on l'espère le lancement du projet Linac 4 (tête de machine d'un SPL) pour sa construction en 2007, et un projet SPL en 2009. Avant cette époque la communauté devrait pouvoir rendre des conclusions sur la faisabilité d'un tel projet : pour notre part sur la construction à moindre coût des Eléments Magnétiques et de leur Alimentation.

Contours du projet de R&D

Dans le cadre international de R&D précité, nous avons étudié la possibilité que le LAL participe à la recherche et au développement ainsi qu'à la réalisation des **Eléments Magnétiques**, qui pourrait comprendre aussi des **Alimentations** Hautes Intensités. L'intérêt de suivre de près également le développement de la **Cible** est motivé par le fait qu'elle se situe dans la partie centrale des Eléments Magnétiques), contrairement au projet CNGS, pour de simples raisons de physique (énergie des pions plus basses), et donc il apparaît des couplages forts entre la Cible et les Eléments Magnétiques liés :

- à l'intégration au sens mécanique du terme,
- aux sollicitations thermiques des Eléments Magnétiques par le flux de particules secondaires (protons pour l'essentiel) en plus de la dissipation par effet Joule,
- aux sollicitations des matériaux dues au flux très intense de neutrons rapides.

En première analyse des compétences requises, il semble naturel au vue de sa contribution au projet CNGS Corne magnétique que le LAL prenne en charge la R&D et la réalisation des **Eléments Magnétiques et l'Alimentation HT**. En effet, on dispose dans ce laboratoire à la fois des moyens et compétences suivantes : CAO, étude calcul en mécanique et en thermique, capacité de fabrication (usinage et soudure), contrôle métrologie et non destructif, montage et essais divers (mécanique, thermique,...), rédaction de spécifications en vue de contrats avec les industriels et plus généralement gestion de projet. J. Bonis est tout à fait favorable à prendre en charge ces études pour la partie Mécanique, tandis que M. Omeich est tout à fait à même de mener à bien la R&D et le suivi industriel pour la partie Alimentation HT.

R&D possibles à cours et moyen termes

1. Vers une alimentation 300kA/50Hz/100µs

Il existe à l'heure actuelle un ensemble complet, au CERN, comprenant une corne prototype et son alimentation permettant de la pulser à 100kA/1Hz. Cet ensemble a donné lieu à de nombreuses et fructueuses études à la fois techniques et de physique (NUFACT-NOTE : 4, 28, 42, 80, 81, 126, 129).

³ European MUON Coordination and Oversight Group

Le design de l'alimentation finale est connu (300kA/50Hz/100µs) étant donné le spectre en énergie des pions à focaliser et la fréquence du Linac qui accélère les protons (projet SPL au CERN). Une version préliminaire d'un cahier des charges a déjà été rédigé par M. Omeich en vue d'une industrialisation. Des premières estimations basées sur les devis d'industriels permettent de faire des prévisions budgétaires, de l'ordre de 500k€. Cependant, afin de préciser ce design et de mesurer et simuler quels sont les effets électromécaniques sur la corne existante d'un tel profile de courant, il est jugé bon de pratiquer des essais en vrai grandeur à 300kA/1Hz/100µs. Le passage de 1Hz à 50Hz serait une extrapolation des « switches » employés du côté électrique, tandis que le calcul dynamique des efforts pourraient donner de bonnes indications du mode de fonctionnement et aider au design d'un prototype démonstrateur.

Pour réduire au maximum les coûts d'un test (300kA/1Hz), il paraît judicieux et faisable, de pouvoir utiliser l'équipement actuel du CERN comme base de départ. Etant donné par ailleurs que l'équipe CERN ne reçoit plus de soutien pour continuer d'opérer cette installation, un transfert au LAL est envisagé. Il s'agit donc de transférer et de remettre en fonctionnement la chaîne constituée des éléments suivants :

Tableau 1 : Matériel listé dans le Draft MoU CERN-LAL (fev. 2004) en k€

Item	Valeur estimée
<i>Corne (en discussion)</i>	50
2 unités de commutation («switch »)	32
2 unités de capacités	10
Rack de Contrôle	16
2 DC H. V	22,5
Divers : capacités + ...	32
	(50) + 112,5

Pour résumé, l'expertise est pour le moment du côté CERN et il s'agit pour M. Omeich de s'imprégner de ce savoir-faire dans un premier temps avec l'aide des experts CERN (G. Maire, F. Voelker). Un document officiel (Collaboration Agreement) est en cours de rédaction concernant « a scientific and technical co-operation in the domain of a power supply for a magnetic horn suitable for Superbeams and Neutrino Factories ». Une version préliminaire est donnée en Annexe B.

Figure 2 : à gauche : Unité de commutation (switch) ; à droite : H.V. chargement des capacités et unité de contrôle





Figure 3 : banc de capacités

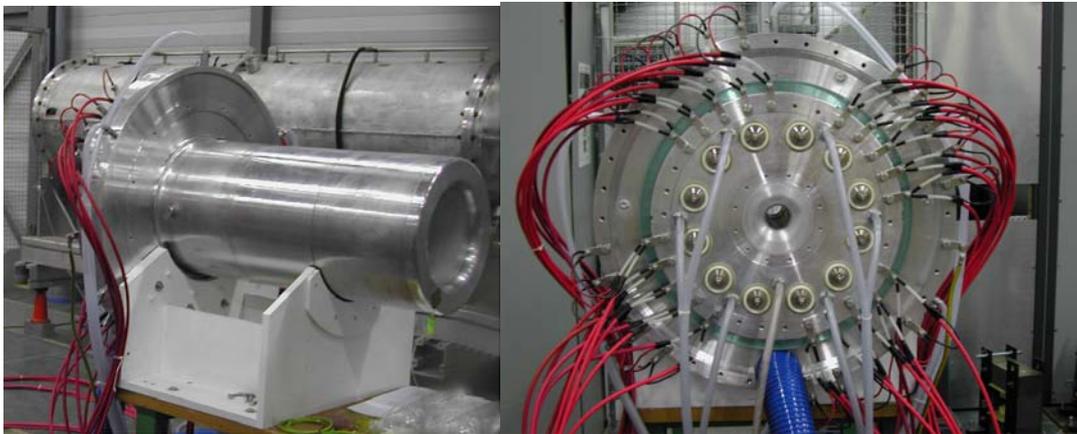


Figure 4 : Corne prototype (vues de côté et arrière).

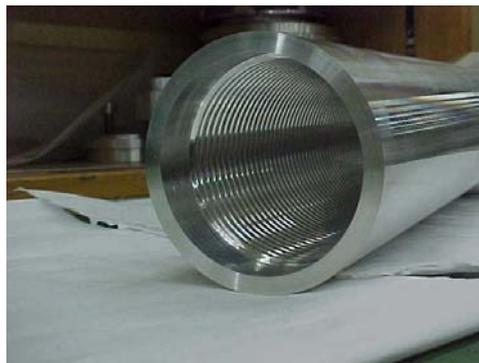
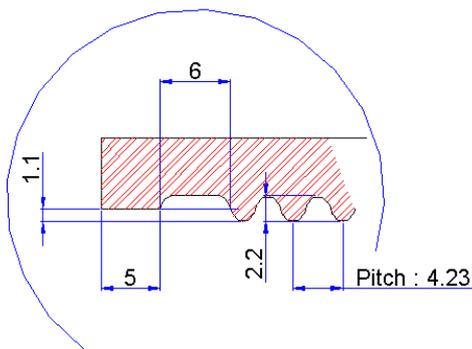


Figure 5 Détails du col (la partie la plus exposée), et la double peau à droite

Au delà de ce transfert de matériel bien appréciable, il sera néanmoins indispensable pour opérer à 300kA/1Hz/100 μ s de changer les éléments suivants:

- les câbles d'alimentation par des bus-bars du type de ceux en cours de réalisation pour le CNGS,
- l'alimentation de chargement,

- les switches car ils ont une tension de breakdown de 2,5kV alors qu'il faudrait les faire opérer à 7kV,
- le banc de capacités de 1500 μ F, s'il ne peut supporter le courant.

Une réunion avec les experts CERN doit permettre de finaliser ces points particuliers. Il faut ajouter un système de refroidissement pour fonctionner avec de l'eau déminéralisée en circuit fermé afin de ne pas perturber la distribution de cette eau pour la station coupleur et les autres utilisateurs.

Tableau 2 : Eléments à fournir pour pratiquer le test à 300kA/1Hz

Item	Coût sur devis ou origine
Bus-bars	Coût non estimé à ce jour
H.V. de chargement	Devis en cours (~10k€)
2 unités de décharge (300kA/1Hz/100 μ s)	2 x 50k€ (devis ABB)
Capacités (1500 μ F)	24k€ (devis Atesys)
Système de refroidissement (échangeur)	3k€ (estimation CNGS)

2. Vers un nouveau prototype de Corne

Un nouveau prototype de corne, selon les études approfondies (cf. NUFACT-NOTE 134, J.E Campagne et A. Cazes) devrait être conçu pour tenir compte de la puissance dissipée par le dépôt d'énergie des particules secondaires: c'est l'effet majoritaire se montant pour le design CERN actuel à 62kW dans la partie cylindrique du conducteur interne de la corne (8mm d'aluminium) contre une puissance dissipée de 8kW par effet Joule. Notons que dans la partie critique, on atteint des puissances de l'ordre de 500kW/m² soit un bon ordre de grandeur par rapport au CNGS. Donc, son épaisseur devra être optimisée selon deux critères : la transparence aux particules et la longévité/robustesse de l'objet.

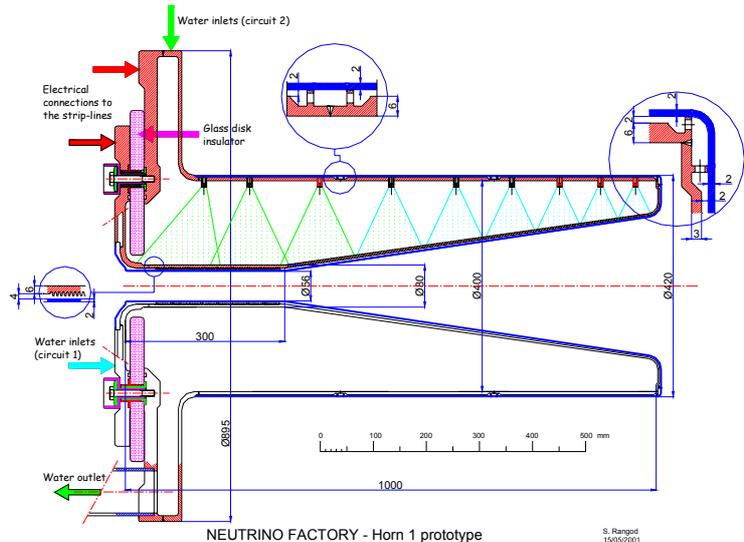


Figure 6 Ancien design CERN (cf. Figs. 4,5)

Une version préliminaire d'un nouveau design, étudié par A.Cazes, permet de réduire à 25kW le dépôt d'énergie dans la partie la plus critique. Mais il faut valider l'aspect mécanique de ce design.

Pour ce faire, au delà de la remise en fonctionnement de la Corne CERN au LAL afin de refaire quelques mesures (vibration du conducteur interne et refroidissement), trois axes de recherche ont été identifiés : l'un consiste à faire une analyse vibratoire d'un nouvel objet

Figure 7 Résistance chauffante de 30kW noyée dans un cylindre d'aluminium



modélisé plus transparent mais nécessitant des renforts, un autre favorise l'expérimentation sur banc de test de divers systèmes de refroidissement afin d'évacuer une puissance de l'ordre de 30kW, enfin étant donné la forte irradiation attendue (10^{22} n rapides/cm²/6 mois, cf. NUFACT-NOTE 130, J.E Campagne) une mesure de la limite de fatigue de l'aluminium de série 6000 est envisagée par mode ultrasonique auprès d'ISOLDE par exemple.

Le moment où l'aspect modélisation pourrait commencer dépend de la disponibilité des personnes ayant cette compétence (cf. J. Bonis). Côté banc de test du système de refroidissement, une résistance chauffante de 30kW noyée dans un cylindre d'aluminium a été réceptionnée et la réalisation du banc de test et des gicleurs (à la CNGS et autres systèmes) est en attente de disponibilité pour conception. Pour ce qui concerne les mesures de limite de fatigue au delà de 10^9 cycles (à 50Hz, en 6 semaines on a 10^8 cycles), le CNAM peut procéder à ces mesures avec des éprouvettes non irradiées (4500€). Pour l'emploi de la même installation de test en milieu radioactif, des contacts avec les autorités d'ISOLDE ne pourraient être entamés efficacement pour juger de la faisabilité d'une telle irradiation que si le projet est soutenu.

Moyens humains

Afin de faire des propositions pertinentes de R&D en vue de demande de fonds européens en 2005, il est serait bon que J.Bonis puisse consacrer une fraction non négligeable de son temps dès 2004 à 1) la conception du banc de test thermique 2) à la modélisation thermo-mécanique d'un nouveau prototype de corne (notons qu'aucune étude de ce type n'a pu être engagée par le CERN pour le prototype actuel). Dès que le matériel CERN serait au LAL, M. Omeich souhaiterait lui aussi consacrer une fraction non négligeable de son temps dans ce projet. Au delà de ces deux ingénieurs, l'assistance d'A. Thiebault et F. Cordillot est souhaitée ainsi qu'une aide au dessin et à quelque tâche de montage/usinage.

Collaborateurs

Hors mis les experts CERN déjà cités pour la partie Alimentation, nous recherchons des collaborateurs au sein de l'IN2P3 et du CEA.

Masses budgétaires

Réinstallation au LAL	10
Banc de test thermique	5
Courbes de résistance Alu non irradié (CNAM)	4,5
R&D Alim 300kA/1Hz	150
Proto corne (design LAL)	50
Alim 300kA / 50 Hz	500

Tableau 3 Budget prévisionnel en k€