

Programm "Elektrizität"



Transformateur supraconducteur à haute température 10 MVA

Auteur :Harry Zueger
ABB Sécheron SA
Rue des Sablières 4-6
Z.I. Meyrin Satigny (CP 2095)
CH-1211 Genève 2

Im Auftrag des

Bundesamts für Energie

Vertragsnummer: 64981

Projektnummer: 25144

**Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden.
Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor
dieses Berichts verantwortlich.**

Table des matières

Resumé	2
1. Objectifs.....	3
2. Réalisations et résultats obtenus:	4
2.1. Conducteur	4
2.2. Limitation de courant.....	6
2.3. Isolation diélectrique	7
2.4. Bornes	10
2.5. Cryostat	11
2.6. Système de refroidissement.....	12
2.7. Réglage de tension	13
2.8. Unité complète.....	14
3. Terminaison du projet	17
4. Activités futures et perspectives.....	18
5. Conclusion	18
6. Collaborations.....	18
7. Publications	18

Zusammenfassung

Die Ziele des Projektes waren Studien, Auslegung und Bau eines Transformators mit Hochtemperatur - Supraleiter - Wicklungen mit integrierter Kurzschlussstrombegrenzung. Der Transformator soll eine Leistung von 10 MVA, eine Primärspannung von 63 kV und die Fähigkeit zur Spannungsregelung unter Last haben. Um die Kurzschlussstrombegrenzung zu erreichen, wird ein neuer Hochtemperatur - Supraleiter mit speziellen Eigenschaften benötigt. Hierzu wurde parallel ein separates Projekt zur Leiterentwicklung durchgeführt. Um die Konstruktion und den Betrieb des Transformators zu ermöglichen, wurde ganze Anzahl innovativer Lösungen entwickelt. Der Transformator soll mit flüssigem Stickstoff auf 66 K gekühlt werden.

Abstract

The aim of this project is to study, design and manufacture a high temperature superconducting transformer with an integrated current limiting functionality. The transformer rating is set to 10 MVA, the primary voltage reaches 63 kV and it integrates a voltage regulation. In order to achieve the short circuit current limiting, the transformer needs a new kind of HTS conductor. The conductor development is running in a parallel R&D project. A great number of innovative solutions were developed in order to allow the manufacturing and operation of this prototype. The transformer is liquid nitrogen cooled at 66K.

Resumé

Le but de ce projet est d'étudier, dimensionner et réaliser un transformateur supraconducteur à haute température intégrant une fonctionnalité supplémentaire de limitation de courant de court circuit. Le transformateur, d'une puissance de 10 MVA, possède un niveau de tension de 63 kV, intègre un réglage de tension sous charge. Afin de réaliser la fonction de limitation de courant, le transformateur a besoin d'un nouveau type de conducteur qui est l'objet d'un développement parallèle au transformateur. Un nombre important de solutions originales ont dû être trouvées afin de rendre la réalisation du prototype possible. Le transformateur est dimensionné pour l'azote liquide à 66 K.

1. Objectifs

A la suite du premier prototype de transformateur supraconducteur à haute température de distribution 630 kVA (1996-97) il était évident que le domaine d'application économiquement intéressant se situait aux environs de 100 MVA. La montée en puissance et en tension nécessaire pose de nouveaux défis technologiques. En observant le marché, il apparaît clairement que l'intégration de nouvelles fonctionnalités offre de meilleures perspectives de succès qu'un simple "scale up". Dans le cas d'un transformateur supraconducteur, une fonctionnalité "naturelle" peut-être mise en évidence en observant les propriétés physiques des conducteurs SCHT. La transition vers un mode résistif du conducteur lors de sur-courants est susceptible d'être utilisée dans le but de limiter le courant de défaut. Cette spécificité va être développée comme un objectif dans le cadre de ce projet.



fig.1 : Prototype 630 kVA dans les locaux des Services Industriels de Genève (1997)

La définition des valeurs électriques du transformateur ont été définies en commun par le groupe de développement mixte (ABB,EDF, ASC) :

Puissance apparente	10 MVA	Tension appliquée HT	140 kV
Tension primaire	63 kV +/- 8*1.75%	Tension appliquée BT	50 kV
Tension secondaire	21 kV	Tension de choc HT	325 kV
Groupe de couplage	Yyn0	Tension de choc BT	125 kV
I primaire dans enroulement	91.6 A	Niveau de bruit	<67 dBA (à 0.3 m)
I secondaire dans enroul.	274.9 A	Fréquence	50 Hz
Impédance inductive de CC	8%	Cycle de froid	Cycle fermé
Limitation du courant de CC résistive à :	5 p.u.	Durée de CC permettant de réenclencher sur In	300 ms
Température de service	77 K / 68 K	Liquide isolant	Ln2

Tableau 1 : caractéristiques électriques

En parcourant le tableau ci-dessus on voit que l'unité devra comprendre une possibilité de réglage de tension, un cycle du froid fermé, et la limitation par voie résistive du courant de court-circuit. Ces éléments supplémentaires vont imposer des choix techniques permettant un fonctionnement similaire à une unité conventionnelle.

Il faut relever que ce prototype de transformateur devait être mis en service dans un poste d'alimentation conventionnel "client" pour une durée minimale d'un an afin d'acquérir une large expérience d'exploitation.

D'un point de vue temporel les objectifs avaient été définis comme suit :

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| - Phase de développement | 1998-1999 |
| - Phase de réalisation & Tests | 2000-2001 |
| - Phase d'exploitation | 2002 |

Le transformateur SCHAT limiteur de courant nécessitant un conducteur approprié, un programme spécifique de développement de conducteur fut lancé en parallèle dès 1998. Ce développement, effectué aux USA, conditionnant le succès du projet transformateur fut supporté intégralement, avec des moyens lourds, par les partenaires industriels (EDF, ASC, ABB).

Le fait de démarrer le développement du conducteur en parallèle est un facteur de risque certain mais nécessaire si l'on désire intégrer de nouvelles fonctionnalités dans un laps de temps raisonnable.

2. Réalisations et résultats obtenus:

Le projet, divisé en multiple sous-systèmes, a permis d'obtenir un nombre élevé de solutions fiables qui vont être détaillées ci dessous.

2.1. Conducteur

L'intégration de la fonction limiteur de courant dans les enroulements du transformateur à nécessité un développement important au niveau du conducteur.

Un conducteur classique est soit un mono ou un multi filament de BSCCO enrobé d'une matrice d'argent.

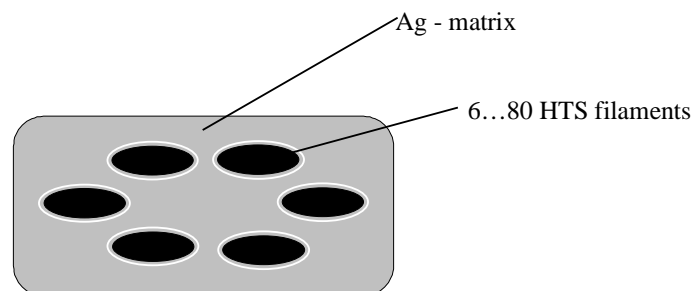


fig.2 : composition typique d'un conducteur

Lors d'un court-circuit, le courant est principalement conduit par la matrice d'argent qui représente environ 80% de la section du fil. La résistance totale du conducteur est certes plus élevée mais encore loin d'être suffisante pour espérer limiter le courant de défaut à une valeur de 5 per unit.

Les axes de développement du conducteur BSCCO sont :

- Réduction des pertes en AC
- Augmentation de la densité de courant critique
- Augmentation de la résistivité de la matrice d'argent
- Augmentation de l'inertie thermique
- Transition à l'état résistif contrôlable
- Stabilité mécanique (pour le bobinage)
- Caractéristiques régulières sur de grandes longueurs (>500m)

Après 2 ans d'efforts ininterrompus, les caractéristiques de pertes ne purent être atteintes. En fait, l'augmentation de la résistivité de la matrice demande un traitement spécial qui a un effet antagoniste sur la densité de courant ce qui nous oblige à baisser la température de service du transformateur à 68 K. Cette baisse de température entraîne quelques modifications du design du transformateur. Le tableau ci dessous illustre les écarts entre les objectifs et la situation au début 2000.

Grandeur	Objectif	Fév. 2000	Conséquence
Température de service	77 K	68 K	Modification du cryostat, (voir 2.5) nouveau design diélectrique (voir 2.3)
Courant dans un conducteur	100 %	30%	Nombre de conducteurs en parallèles et quantité plus grande, complexité du bobinage
Pertes spécifiques dans un champ axial de 50 mTrms	0.25mW/Am	+60%	Plus de pertes, refroidisseur cryogénique plus grand
Longueur	>500 m	500 m	
Régularité sur 500 m en nb de défauts / 500 m	0	10	Couper et ressouder tout les 50 m !!
Résistivité de la matrice	7-8 $\mu\Omega\text{cm}$	7.4 $\mu\Omega\text{cm}$	Parfait !

Malgré les écarts entre objectifs et valeurs actuelles, il faut saluer l'énorme effort réalisé en si peu de temps par le partenaire ASC. Le conducteur obtenu nous a tout de même permis de démontrer que le principe de la limitation de courant était réellement faisable.

Le facteur le plus critique est le nombre de défauts contenus dans un lot de 500 m. Le transformateur nécessitant plus de 70'000 m de conducteur, il était exclus d'imaginer la production avec une perte de supraconductivité tous les 50 m. Le procédé de production de ce conducteur spécial (*) n'étant pas suffisamment reproductible ni American Superconductors, ni les autres partenaires n'entrevoient une solution avant 2002. Bien que d'autres conducteurs non limiteurs de courants étaient disponibles, la décision de stopper le projet fut prise avec raison étant donné qu'il ne correspondait plus à l'objectifs le plus porteur.

(*) Pour des raisons de confidentialité le conducteur n'est pas détaillé mais cela aurait fortement aidé à la compréhension des problèmes de production.

2.2. Limitation de courant

La limitation de courant en tant que nouvelle fonctionnalité du transformateur est réalisée par les enroulement primaires et secondaires. Pour développer une résistance suffisante et pouvoir supporter thermiquement le court-circuit, le transformateur est dimensionné plus richement en nombre de spires. Un nombre de spires élevé tend produire une grande tension de court-circuit inductive ce qui provoque de chute de tensions conséquentes en service. Etant donné que l'objectif est une limitation résistive, les bobinages ont été alternés de manière à réduire le champ magnétique influençant la densité de courant et de ne pas dépasser 8% d'impédance de court circuit inductive.

Lors du court circuit, le conducteur voit un courant (et un champ magnétique) supérieur ce qui provoque la transition de l'oxyde supraconducteur vers un mode résistif. La matrice ayant une forte résistivité, le courant transite aussi par le ballast thermique. On se retrouve avec un système conducteur composite qui s'échauffe rapidement. Le dimensionnement des enroulements et des conducteurs étant établi pour supporter 300 ms de défaut. Après cette durée, le conducteur "chaud" se trouve toutefois en dessous de sa température critique ce qui permet de ré-enclencher le transformateur sur la charge nominale en conservant la stabilité thermique. Avec le temps le conducteur se refroidit et recouvre son état purement supraconducteur.

La démonstration de ce comportement est illustré par la figure 3 qui représente un court circuit mesuré sur un échantillon de 80 m. On voit clairement le courant de défaut durant 300 ms et la tension apparaissant sur le conducteur devenu résistif.

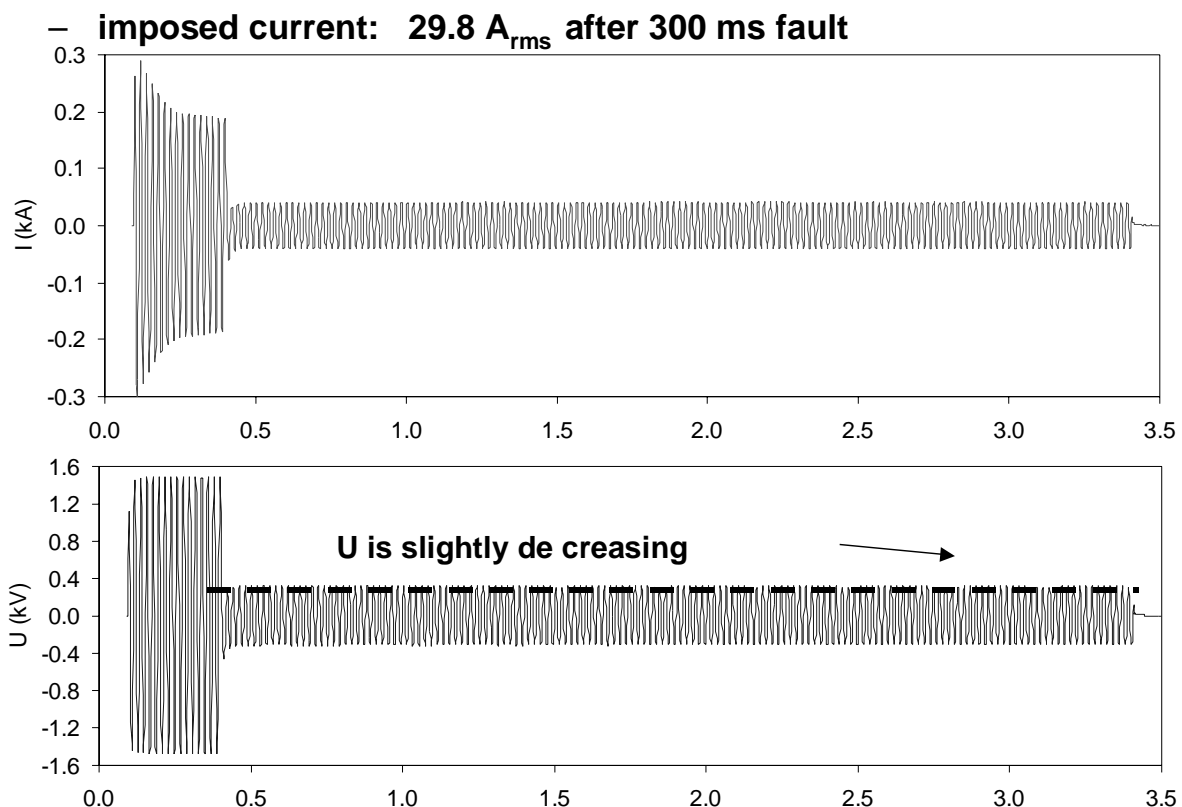


fig 3: comportement U et I durant et après le court circuit.

La limitation de courant passe par une courte phase transitoire. Lors du premier cycle en court circuit, le courant atteint son premier pic avec une valeur supérieure à la valeur de limitation ($8.8 \cdot I_c$). On peut qualifier ce premier pic de "trigger". Une fois ce pic franchis la limitation est effective ($5 \cdot I_c$).

2.3. Isolation diélectrique

Les investigations sur l'isolation furent nombreuses car avec l'augmentation de tension (à 63 kV) les problèmes de décharges partielles deviennent prédominants.

D'autre part, une attention particulière fut portée sur le prix de revient du système isolant et sa disponibilité sur le marché. De très nombreux essais diélectriques furent réalisés dans l'azote liquide.

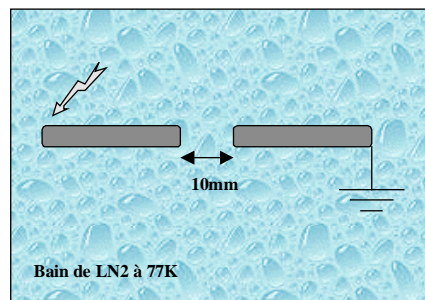
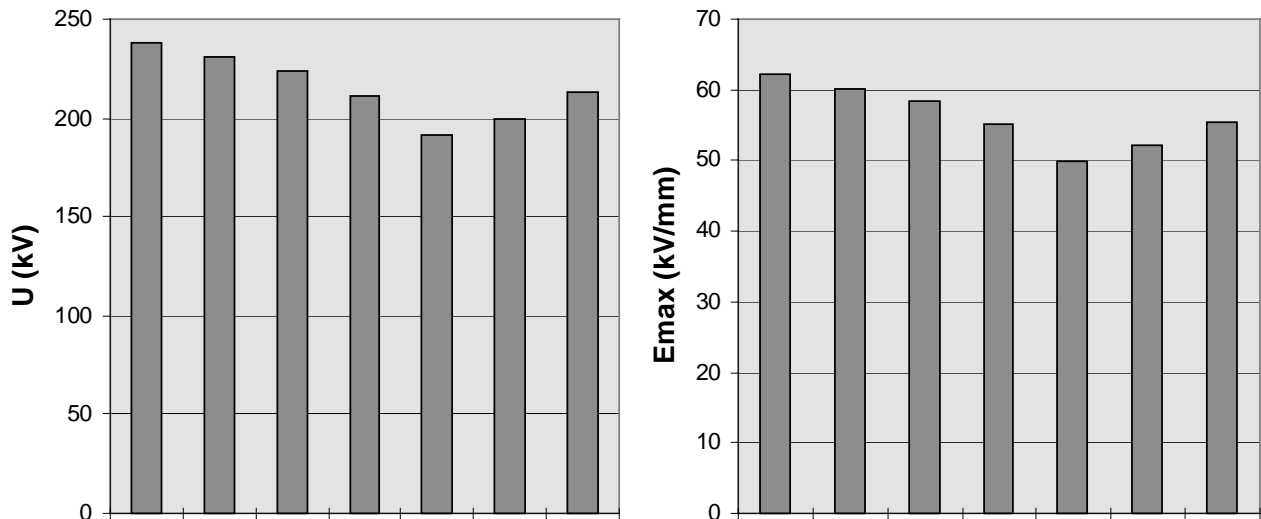


fig 4 : Essais de choc dans l'azote liquide entre 2 électrodes de rayon 2mm et distantes de 10mm à pression atmosphérique 77K.

Le prototype 630 kVA de 1996 était principalement isolé avec un système fibre de verre epoxy spécial qui assurait une excellente tenue mécanique mais qui présente un taux de décharge partielles important pour des tensions supérieures.

Dans le cadre du projet 10 MVA, un nouveau concept fut développé combinant des matériaux divers avec une imprégnation spécifique.

Au niveau du conducteur lui même, le problème d'isolation est pointu car le fait de conduire plus de courant par unité de surface réduit les dimensions du conducteur (4x1mm) ce qui présente un désavantage du point de vue contrainte diélectrique (effet de pointe). La figure 5 présente quelques résultats de tenue du système d'isolation entre spires. On constate que le claquage se produit essentiellement par contournement en surface et non en direct.

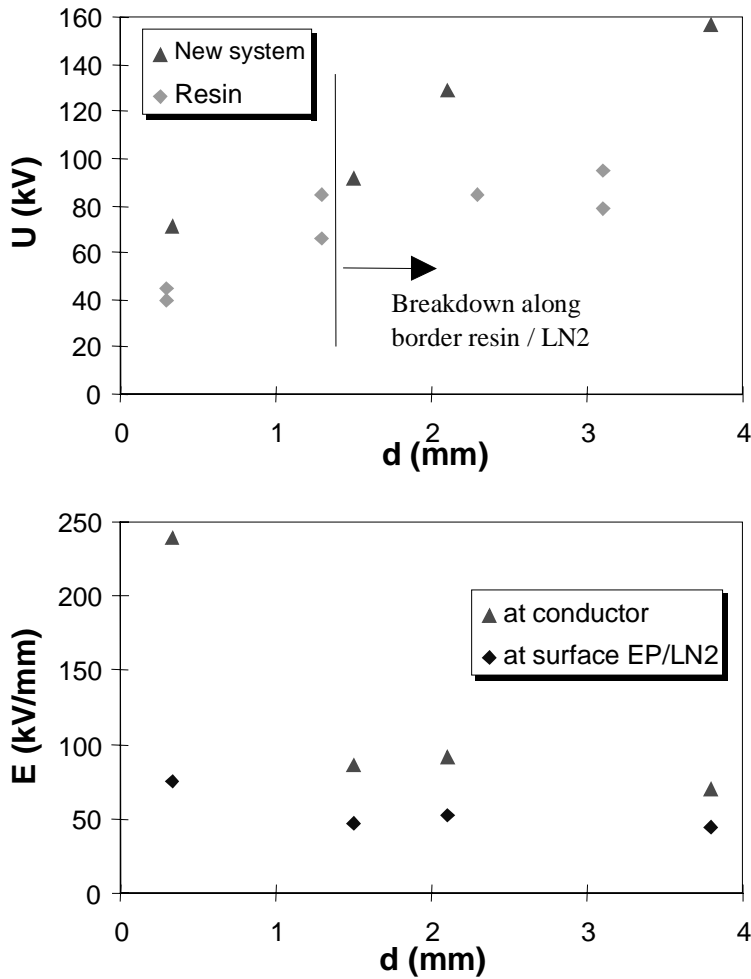


fig 5: essais de surtension 1.2/50 μ s entre 2 conducteurs (7x1mm) espacés de d [mm] $\Rightarrow \Leftarrow$

Le dimensionnement des isolations et des distances dans l'azote à été fortement conditionné par le mode de fonctionnement du transformateur. Afin de limiter la quantité absolue de conducteur et d'obtenir un nombre de conducteurs en parallèle raisonnable, donc d'avoir une densité de courant élevée, le conducteur devait être placé à une température plus basse (66K) que le point d'ébullition de l'azote liquide à pression atmosphérique (77K). Cette baisse de température doit s'accompagner d'une baisse de pression afin de conserver l'azote à son point d'ébullition. Cette condition est liée à l'uniformité de la distribution de courant critique. Dans le cas où l'azote est purement liquide, un gradient thermique s'établi le long des enroulements et l'échange thermique se mal et un pompe s'avère nécessaire. En supraconductivité haute température, un gradient signifie une modification du courant critique entre le bas et le haut des enroulements ce qui peut mener à une dérive thermique. Le choix de réduction de pression à été fait dans une optique de simplification du système de refroidissement.

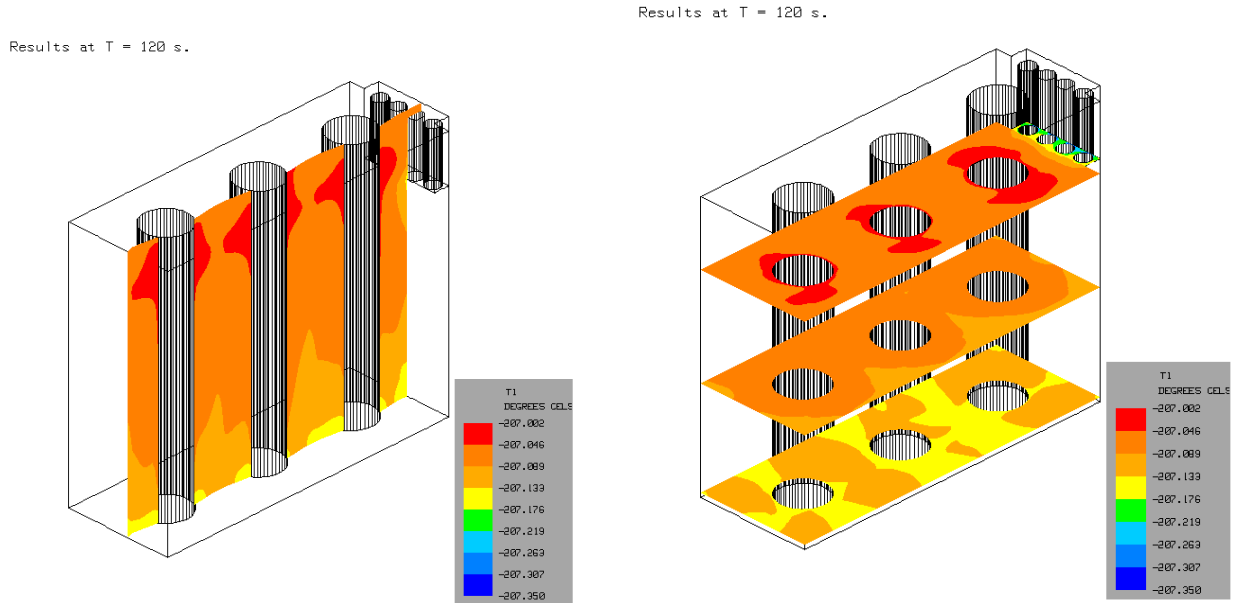


Fig 6: Gradients de température calculés pour une convection naturelle à 66K après 120 sec. Les gradients (faibles ici) s'accroissent nettement avec le temps.

Si l'azote est maintenu à son point d'ébullition, la quantité de chaleur absorbée par ce dernier est nettement plus élevée et le maintien à la température de consigne du conducteur est assurée. Maintenir de l'azote à 66K -68K à son point d'ébullition impose une réduction de pression dans la cuve du transformateur (0.2-0.3bars) . Cette réduction de pression provoque une réduction de la tenue diélectrique de l'azote dépendant de la loi de Paschen qui impose un dimensionnement spacial plus large.

$$E_{BD} = p \cdot \frac{B/T}{\ln\left(\frac{A/T \cdot p \cdot d}{K}\right)}$$



Fig 7: bloc enroulement subissant un test de compression

Les tests diélectriques effectués ont démontré que le dimensionnement diélectrique du transformateur était fiable et pouvait passer en production. Ce dimensionnement inclut un grand nombre de barrières et de chapeaux qui sont similaires de part leur formes aux transformateurs classiques.

2.4. Bornes

Le transformateur devant fonctionner dans un réseau électrique conventionnel, la connexion vers ce dernier est réalisée à l'aide de traversées HT. Ces bornes assurant la tenue diélectrique dans l'air (conditions extérieures) doivent aussi supporter la transition de la température ambiante vers le milieu froid. Notre partenaire, la société Micafil, réalisa aussi bien les bornes HT (niveau 72.5 kV) que les bornes moyenne tension (niveau 24 kV) selon une technologie de borne capacitive.

Les matériaux utilisés sont similaires à ceux déjà employés pour le prototype 630 kVA de 1996 mais étant donné les dimensions plus importantes, les problèmes de contraction du matériau durent être revus afin d'éviter toute apparition de fissures. Les bornes livrées peuvent être engagées facilement et la maintenance est similaire aux traversées conventionnelles.

La technologie des traversées est à présent considérée comme parfaitement fiable.



Fig 8: Borne 24 kV, BIL 125 kV. La partie entrante est prolongée afin de gérer l'interface Azote gazeux puis azote liquide.

2.5. Cryostat

Le cryostat est à lui seul un projet d'envergure internationale. Le fait d'inclure un réglage sous charge de la tension impose un cryostat commun aux trois phases du transformateur si l'on veut réduire les pertes thermiques liées aux connexions de l'enroulement de réglage vers le changeur de prises (OLTC). Le circuit magnétique générant des pertes trop importantes pour être dissipées dans l'azote il doit être exclus du cryostat. Ceci impose des tubes centraux qui soient de parfaits isolants thermiques et de plus ne formant aucune spire en court circuit autour des trois noyaux magnétiques.

L'enveloppe du cryostat doit résister à une surpression provenant de la vaporisation de l'azote consécutive à la limitation de courant durant le court-circuit de 1.4 bar ainsi qu'à une pression interne de service de 0.2 bars.

Le développement du cryostat a nécessité la collaboration d'un grand nombre de partenaires répartis en Europe et aux Etats unis.

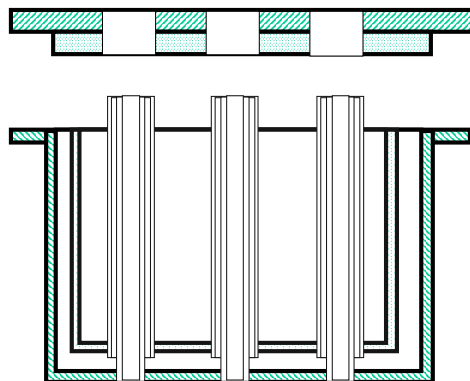


Fig 9 : schéma de principe du cryostat triphasé

La conception du cryostat fait appel à des techniques de pointe en matière de combinaison de matériaux. L'acier doit être lié à des pièces en époxy à l'aide de joints de dilatation. L'isolation thermique doit être parfaite et fait appel au vide et à l'isolation solides.

Un cryostat de test en vraie grandeur monophasé fut réalisé et répond parfaitement aux spécifications. Le développement du cryostat est un acquis indéniable pour les applications inductives nécessitant l'exclusion d'un circuit magnétique

2.6. Système de refroidissement

Le marché offre de machines de refroidissement à des tarifs plus ou moins compétitifs. Le choix s'est originellement porté sur un cryogénérateur de la société Stirling Cryogenics possédant 4 cylindres de 4.4kW à 77K. La géométrie des condenseurs doit être adaptée avec succès au fonctionnement à 66K. La puissance électrique d'entrée étant de 50 kW.



Fig 10 : vue de la machine à froid Stirling 4.4kW à 77K

L'azote gazeux entre dans le refroidisseur via un tube isolé au vide et ressort sous forme liquide en direction du cryostat. Une régulation très fine de la machine est nécessaire afin d'éviter un gel de l'azote (63K) sur les têtes froides. La circulation de l'azote se fait par gravité sans pompes additionnelles.

2.7. Réglage de tension

Dans un transformateur de réseau conventionnel on procède à l'ajustement du rapport de transformation en ajoutant ou soustrayant des spires à l'aide d'un changeur de prise sous charge. La même fonction devant être intégrée au prototype supraconducteur, plusieurs possibilités furent étudiées. Le réglage comportant de l'électronique de puissance on vite étés écartés au profit d'une solution plus conventionnelle.

Un changeur de prise conventionnel fut adapté au service sous azote. Le problèmes de contraction et de jeu mécanique furent maîtrisés et l'appareil testé sous azote liquide.



Fig 11: le changeur de prise et son cryostat d'essai après les essais

2.8. Unité complète

Le design du transformateur complet à été achevé fin 1999. Une partie du matériel pour la réalisation de la première phase du transformateur à été livrée.. Le local de production entièrement aménagé pour le bobinage, l'imprégnation et le montage.

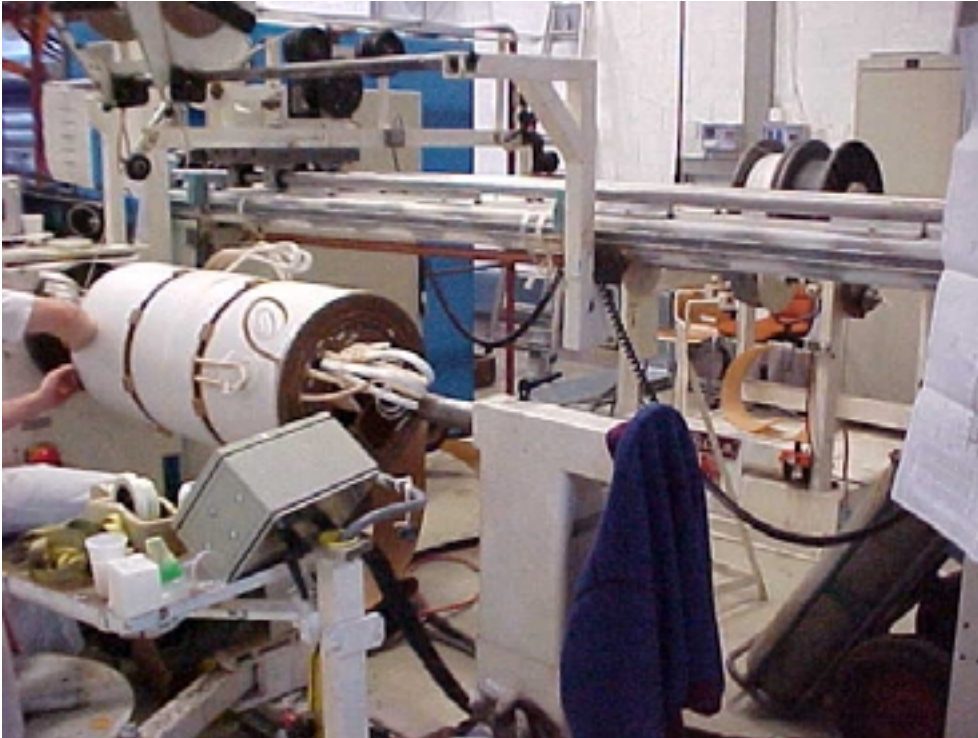


Fig 12: tour de bobinage rallongé spécialement pour le bobinage du prototype



Fig 13: Installation d'imprégnation. Au premier plan le mélangeur dégasur.

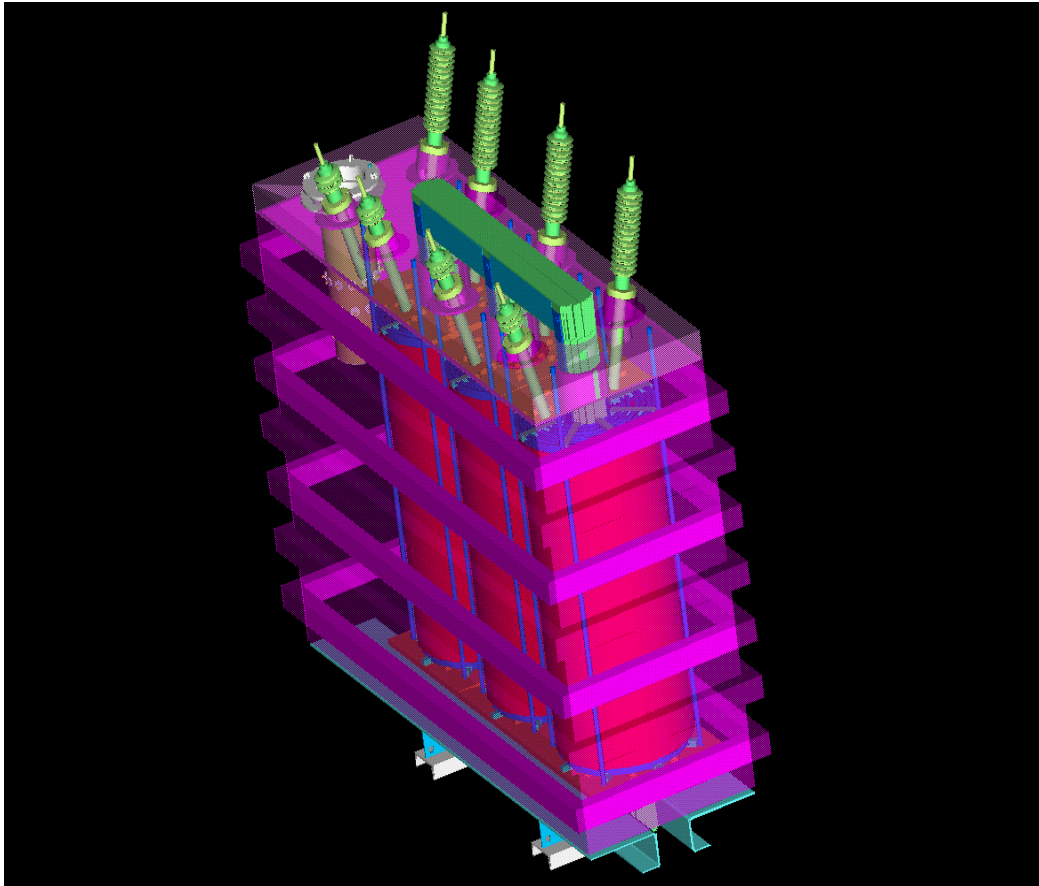


Fig 14: Vue fantome du transformateur 10 MVA SCHT limiteur de courant

La première phase du transformateur aurait du être réalisée durant l'année 2000 mais, compte tenu des problèmes de fabrication du conducteur limiteur de courant, le bobinage n'a pas pu débuter.

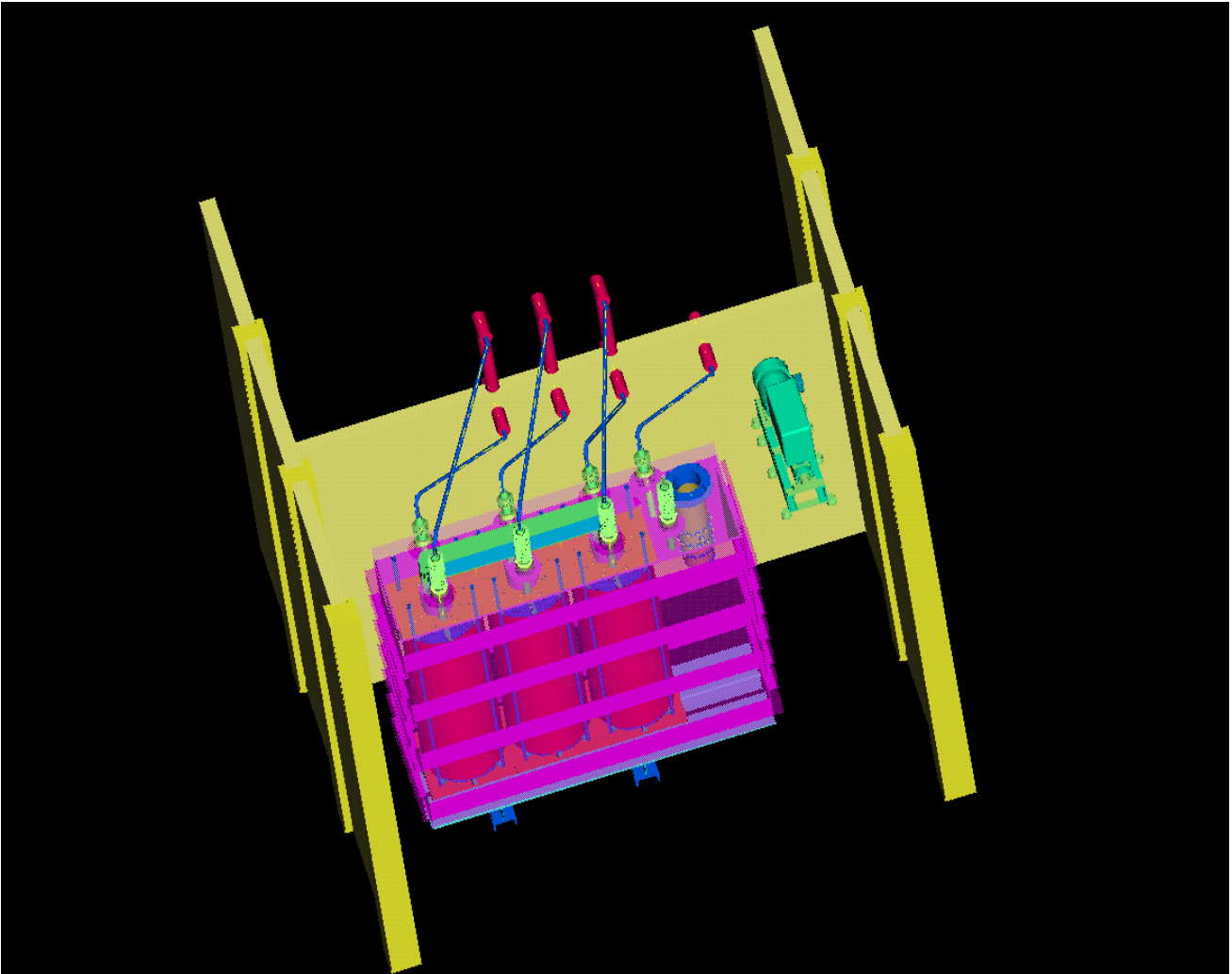


Fig 15 : Le transformateur et le cryogénérateur positionnés dans la cellule client d'EDF.

La première phase du transformateur aurait du être réalisée durant l'année 2000 mais, compte tenu des problèmes de fabrication du conducteur limiteur de courant, le bobinage n'a pas pu débuter.

Le prototype répond aux caractéristiques suivantes :

UHT	: 63kV +/- 8* 1.1kV
UBT	: 21 kV
Couplage	: YNYn0 (neutres pleinement isolés)
Fréquence	: 50Hz
Impédance XL	: 7.8%
Résistance de court circuit (transition résistive)	:81 Ohm (vu de la HT)
Limitation de courant de CC	: $I_{cc\ rms} = 4.57 \cdot I_n (R+wL_{cc})$
Durée de CC	: 300 ms avec possibilité de ré-enclencher sur I_n : 1 sec. sans operational recovery
Pertes du circuit magnétique	: 6.4 kW (à temp. Ambiante)
Pertes dans les conducteurs	: 2.06 kW (à 66K)
Pertes thermiques	: 0.6 kW (à 66K)
Longueur	: 4450 mm
Largeur	: 1460 mm
Hauteur	: 3700 mm sans les bornes, 4460mm avec les bornes
Poids au transport	: 26500 kg
Azote liquide	: 7000 kg
Poids total	: 33600 kg

En comparaison avec un transformateur conventionnel et en considérant un facteur de pénalité sur les pertes produite dans le froid de 20, les pertes fer ainsi que celles dans les enroulements sont réduites de 15% . Il faut toutefois considérer les pertes thermique qui , ramenées à 20°C représentent env. 12 kW . Du point de vue des dimension elles sont relativement similaires alors que le poids du prototype est supérieur de 30%. La plus part des études (y compris les nôtres) montre que l'emploi de la supraconductivité permet de réduire les encombrement et les masses. Ceci reste vrai mais il faut remettre le prototype dans son contexte spécifique. Le fait d'avoir baisser la pression de service et d'avoir ajouté la limitation de courant ont physiquement agrandi le transformateur ce qui explique ce regain de poids. Avec des conducteurs offrant des densités de courant plus élevées à 77K on retrouve les tendances naturelles de compacité.

3. Terminaison du projet

Le projet comportait dès le départ plusieurs risques majeurs. L'un d'eux, l'obtention d'un conducteur adapté à la limitation de courant, est devenu fatal. Ce ne sont pas les pertes ,plus élevées que prévu, qui sont déterminante. Etant donné que le conducteur a démontré sa capacité à limiter le courant de court circuit , la réalisation physique du prototype restait attractive. C'est bien un problème de continuité des performance (cf. chap. 2.1) qui empêche le bobinage du prototype.

Malgré un nombre impressionnant d'actions , la résolution des problèmes liés au processus de production de ce conducteur très particulier ne semble plus trouver de réponse dans un laps de temps raisonnable pour ce projet.

D'autre part, une étude économique à démontré qu'en l'état de performance actuel, le marché potentiel se limiterait à des niches spécifiques ou des solutions alternatives pouvaient être concurrentes.

Les partenaires principaux du projet, à savoir ASC, ABB et EDF ont d'un commun accord, décidé d'interrompre ce projet.

4. Activités futures et perspectives

Les activités dans le domaine de la supraconductivité à haute température restent un domaine important pour ABB. Suite à l'étude menée dans un autre projet relative aux applications SCHAT dans le réseau et co-financé par l'OFEN, le PSEL et RDP-CREE, il est clair que des thèmes comme la limitation de courant de court-circuit et l'utilisation de câbles supraconducteurs démontrent un bon potentiel.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet sont transposables, dans une large mesure, sur des développements en cours chez ABB touchant les limiteurs de courants.

L'arrêt de la réalisation du prototype de transformateur supra conducteur 10 MVA ne signifie pas que l'activité dans ce domaine soit réduite à néant. ABB continue de suivre de près l'évolution des conducteurs et de la technologie HTS en général au travers d'un team spécialisé situé au centre de recherche ABB de Dättwil (CH).

Les perspectives futures dépendent fortement de l'évolution des conducteurs. De nombreux espoirs sont placés sur la technologie YBCO notamment en ce qui relève du procédé de production de ces conducteurs.

5. Conclusion

Ce projet réalisé avec de nombreux partenaires nationaux et internationaux a permis de résoudre un nombre important de problèmes technologiques dans le domaine d'application de l'électrotechnique cryogénique. La collaboration entre les partenaires a été exemplaire.

Le risque initial consistant à entreprendre un développement de conducteur en parallèle avec un développement d'application peut paraître osé mais cette manière de procéder a permis de lier et d'orienter les développements fondamentaux du conducteur avec des perspectives d'applications commerciales. Cette synergie permet d'activer énergiquement l'ensemble du mouvement lié à la supraconductivité et profite directement à la collectivité.

6. Collaborations

Le développement du transformateur a été réalisé en collaboration avec Electricité de France (Etudes et recherche), les centres de recherche ABB de Dättwil (CH), Heidelberg (D), ETI (USA) et Vasteras (S), les entreprises ABB Sécheron SA (CH), Micafil AG (CH), ABB Transformatoren GmbH (D), American superconductors Ltd et ABB Calor Emag (D) et le soutien de l'EPFL.

Le projet a été supporté par :

- L'Office Fédéral de l'Energie Suisse (OFEN/BFE) représenté par Mr. R. Brüniger
- Le Fond pour Projets et Etudes des électriciens Suisses (PSEL) représenté par Mr. T. Gysel
- Les Electriciens Romands commission RDP-CREEI représenté par Mr. M. Aguet

Nous tenons à remercier chaleureusement ces organismes et leur représentants pour leur soutien actif et la confiance qu'ils nous ont accordée.

7. Publications

- Rapport d'activité annuel RDP-CREE 1998,1999,2000
- Current limiting in high temperature superconducting transformers and impact on the grid (E. Serres, CIGRE 2000)