



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**Université de Lorraine
Faculté des Sciences et Technologies**

**Master Ingénierie Electrique Electronique et
Informatique Industrielle**

Spécialité Master 2 « en Energie Electique »

Année universitaire 2013/2014

**APPLICATIONS DES RESEAUX
ELECTRIQUES DE RUBANS
SUPRACONDUCTEURS HTC**

Mémoire présenté par « ZHANG Qi »

Soutenu le 08 Septembre 2014

**Stage effectué laboratoire GREEN
Faculté des Sciences et Technologies, BP 70239
54506 Vandoeuvre lès Nancy CEDEX**

**Tuteur universitaire : DOUINE Bruno
DIDIER Gaëtan**

Sommaire

Avant propos	1
Introduction	2
I. Modélisation d'un stabilisateur supraconducteur HTC pour réseau DC	4
I.1 Principe d'un stabilisateur supraconducteur HTC	4
I.2 Mesures en DC et AC pour choix de matériaux supraconducteurs HTC	5
I.2.1 Mesures de caractéristiques des rubans supraconducteurs HTC en DC.....	6
I.2.2 Mesures de pertes des rubans supraconducteurs HTC en AC	10
I.3 Etudes d'influence de différentes formes de matériaux supraconducteurs HTC	13
I.3.1 Mesures en DC et AC en forme de bobine	13
I.3.2 Mesures en DC et AC en forme de tube.....	15
I.4 Résultats de mesures et Conclusion	15
I.4.1 Forme de rubans	15
I.4.2 Forme de bobine	18
I.4.3 Forme de tube	20
II. Modélisation d'un réseau AC composant de multi-machines	21
II.1 Principe de AVR	21
II.1.1 Principes de PSSs.....	21
II.1.2 Principe de système d'excitation	24
II.2 Principe d'un réseau AC composant de multi-machines.....	25
II.3 Modélisation du réseau AC composant de multi-machines sous EMTP-RV	25
II.4 Résultats du simulation et Conclusion.....	28
III. Conclusion et Perspective	31
Bibliographie	32
Annexes	33
Annexe A Les résultats de mesures de caractéristiques en DC des rubans supraconducteurs	33
Annexe B Les résultats de mesures de pertes en AC des rubans supraconducteurs	38
Annexe C Les résultats de mesures de caractéristiques en DC des bobines supraconductrices.....	59
Annexe D Introduction en bref de EMTP-RV	60
Annexe E Les valeurs de paramètres du chaque composant du réseau modélisé sous EMTP-RV	61
E-1 Les valeurs de paramètres des générateurs synchrones sous EMTP-RV	61
E-2 Les valeurs de paramètres des PSSs sous EMTP-RV	61
E-3 Les valeurs de paramètres des transformateurs sous EMTP-RV	62
E-4 Les valeurs de paramètres des lignes de transmission sous EMTP-RV	62
Annexe F Résultats de simulation complémentaires du réseau AC composant de Multimachines	64
RESUME	65

Avant propos

Ce mémoire est issu du stage de fin d'études que j'ai réalisé dans le cadre de l'obtention du Master 2 en Ingénierie Electrique Electronique et Informatique Industrielle, spécialité Energie Electrique à la Faculté des sciences et technologies de l'Université de Lorraine à Nancy en France.

Ce travail est effectuée au siège du laboratoire GREEN (Groupe de Recherche en Électrotechnique et Électronique de Nancy) pendant 4 mois du 1 avril au 31 juillet, 2014. Le sujet du stage est sur l'application de supraconducteur HTC. Il se compose de 2 parties d'études: l'une est la modélisation d'un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC ; l'autre est la modélisation d'un réseau AC composant de multi-machines. En fait, l'objectif des études de ce stage est d'établir un fondement afin de réaliser et de tester à l'avenir la performance d'un stabilisateur supraconducteur HTC. Le plan des études de ce sujet est :

- Etape 1. modélisation d'un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC ;
- Etape 2. choix d'un type de matériau supraconducteur HTC qui est le plus adaptable pour notre stabilisateur ;
- Etape 3. études d'influence de formes différentes de matériaux supraconducteurs HTC ;
- Etape 4. modélisation d'un réseau AC composant de multi-machines ;
- Etape 5. études de la performance de stabilisateurs de puissance existés dans le réseau AC ;
- Etape 6. modélisation d'un réseau DC ;
- Etape 7. réalisation d'un stabilisateur supraconducteur HTC ;
- Etape 8. tests et études de la performance de stabilisateurs supraconducteur HTC dans le réseau DC.

Les étapes du 1 au 5 sont réalisés pendant ce stage, et les études des étapes du 6 au 8 seront faites à l'avenir. Toutes les missions de ce sujet sont des nouveaux défis pour moi au raison de la chétivité expérimentale sur applications de supraconducteurs HTC et sur le logiciel professionnel de simulation EMTP-RV utilisé dans l'industrie. Cependant, avec les aides de mes directeurs de sujet, j'ai accompli les missions du stage. Cette expérience du stage pourrai faire valoir dans mon emploi future.

Avant tout, je tiens à remercier tous les chercheurs et les doctorats qui m'ont aidés beaucoup pendant mon stage.

Je tiens à remercier tout en particulier M. DAVAT Bernard, directeur du laboratoire, qui m'a permis de faire ce stage au sein du laboratoire en France.

Je tiens particulièrement à remercier M. DOUINE Bruno, directeur et responsable de ce stage, qui m'a aidé beaucoup sur les connaissances de supraconducteurs HTC, sur la manipulation expérimentale, et sur la présentation orale en français.

Je tiens à remercier en particulier M. DIDIER Gaëtan, co-directeur et responsable de ce stage, qui m'a aidé beaucoup sur les connaissances sur le réseau AC composant de multi-machines.

Je tiens à remercier en particulier M. Ngor SENE, ingénieur de support technique, chez l'entreprise POWERSYS, qui m'a aidé beaucoup sur le logiciel EMTP-RV.

Enfin, un merci à mes parents M.ZHANG Baoyuan et Mme. DONG Peiyu pour leur soutien, pour leur amour.

Introduction

Avec le développement d'industrie, la puissance de réseau électrique devient de plus en plus grosse, on ne peut pas négliger le risque qu'il occupe un courant transitoire important. Cependant, il existe les 2 problèmes principaux à résoudre. un est que pluspart des stabilisateurs existés fonctionnent uniquement dans le réseau AC, ainsi que ils génèrent pertes importants ; l'autre est que les limiteurs supraconducteurs HTC ne peuvent pas fonctionner bien pour l'amortissement d'oscillation de basse fréquence, de fréquence intermédiaire, et de haut fréquence en régime normal.

Par conséquent, on propose un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC. L'objectif de ce stage est d'établir un fondement afin de réaliser et tester à l'avenir la performance d'un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC. Ce stage est effectuée au siège du laboratoire GREEN (Groupe de Recherche en Électrotechnique et Électronique de Nancy) pendant 4 mois du 1 avril au 31 juillet, 2014. Avec la direction de M. DOUINE Bruno, directeur et responsable de mon stage et de M. DIDIER Gaëtan, co-directeur et responsable de mon stage. j'ai accompli favorablement les travaux.

En 2005, IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers en anglais) définit les standards de 4 modèles de stabilisateurs de puissance en excitation de DC (PSS1A, PSS2B, PSS3B et PSS4B)[1]. Biblio [2] [3] ont comparés la performance de PSS1A, celle de PSS2B, et celle de PSS4B, On conclut au PSS4B possède le plus bonne performance d'amortissement d'oscillation de basse fréquence, de fréquence intermédiaire et haute fréquence. Biblio [4] a optimisé le paramétrage de stabilisateurs de puissance pour améliorer la performance d'amortissement les petites perturbations.

Pluspart des structures des stabilisateurs existés sont sur la base de la composant d'électronique de puissance, il existe donc les pertes importants pendant la toute période de fonctionnement du réseau. Cependant, avec l'évolution de la technologie de supraconducteurs HTC, un nombre croissant d'études focalisent l'attention sur applications de supraconducteurs HTC. Parmi les applications de supraconducteurs HTC, la technologie de limiteurs supraconducteurs HTC est comparativement mature^[5]. Cependant, le problème est que beaucoup de limiteurs supraconducteurs HTC sont conçus pour le réseau AC.

Certains chercheurs ont fait études sur limiteurs supraconducteurs HTC pour le réseau DC. Biblio [6] a proposé un type de résistance de limiteur supraconducteur DC. Le principe est que la résistance de supraconducteur augmentée très grande et très rapide lorsque le courant dans le réseau est supérieur à la valeur critique, par contre il ne produit pas les pertes en régime normal grâce au caractéristique de non-résistance de supraconducteur lorsque le courant est inférieur à la valeur critique. Biblio [7] a fait une étude sur la location optimale du type de limiteur supraconducteur précédant afin de réguler la sensibilité. Biblio [8] a proposé un autre type de limiteur supraconducteur DC qui est sur base de la compensation de flux. le principe est que la bobine supraconductrice peut créer un fort champ magnétique contre celui créé par le courant de défaut. Biblio [9] est le test réel et la évaluation sur la performance d'un limiteur supraconducteurs HTC.

Cependant, le problème est que ces sont limiteurs, ne sont pas stabilisateurs. Ils peuvent limiter le courant de défaut lorsque il occupe le court-circuit dans le réseau par exemple, mais ils ne peuvent pas fonctionner pour l'amortissement d'oscillation de basse, intermédiaire, et haut fréquence en régime normal.

Ce mémoire se compose de deux parties d'études. La première partie est la modélisation d'un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC. Dans cette partie, on a d'abord modélisé un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC. Ensuite, on a mesuré les caractéristiques en DC et les pertes en AC des 15 différents types des échantillons en forme de rubans supraconducteurs HTC. Ces 15 échantillons se composent des matériaux YBCO, BSCCO, et Di-BSCCO, etc. Les carapaces enveloppées de rubans supraconducteurs HTC sont également différentes y compris cuivre et non-cuivre. Les dimensions de rubans sont également différentes : la largeur est 3mm, 4mm, 4,5mm et 6mm ; l'épaisseur est 0,05mm, 0,1mm, 0,15mm, 0,2mm et 0,3mm. Ces 15 échantillons sont fabriqués respectivement par SUPERPOWER en les Etats-Unis, SUPEROX en Russie, SUNAM en Corée du Sud, SUMITOMO et FUJIKURA en Japon. Selon les résultats de mesures, on a comparé ses courants critiques à 77K, les courbes du champ électrique en fonction de courant et en fonction de densité de courant en DC, les pertes par le longueur unitaire et par la fréquence unitaire en fonction de courant, et de densité de courant. on a également comparé les qualités mécaniques de ces rubans supraconducteurs HTC y compris la solidité mécanique, la flexibilité et la thermo-résistance. A la fin, on préfère choisir le ruban N°10 Di-BSCCO ACT fabriqué par SUMITOMO comme le matériau de notre stabilisateur supraconducteur HTC.

Par ailleurs, on a refait les mêmes mesures à un tube supraconducteur HTC et à deux bobines supraconductrices HTC pour étudier l'influence de formes différentes sur les caractéristiques en DC et en AC de matériaux supraconducteurs HTC. On peut s'avoir que les formes en tube et en bobine effectuent la diminution de la valeur de courant critique de matériaux supraconducteurs HTC, et la diminution effectuée en forme de tube est plus importante.

La deuxième partie est la modélisation d'un réseau AC composant de multi-machines. Dans cette partie, on a analysé la structure d'un réseau AC composant de multi-machines, il faut se composer de quels dispositifs. Et puis, on a étudié le modèle du régulateur de tension automatique (AVR en anglais) et du stabilisateur de puissance (PSS en anglais) qui sont les deux dispositifs le plus importants pour ce réseau. Ensuite, on a réalisé ce modèle du réseau sous EMTP-RV et MATLAB/Simulink. A la fin, on a testé et comparé les performances de 3 types de PSSs (y compris PSS4B, PSS1A dont entrée est la déviation de la vitesse rotorique, et PSS1A dont entrée est la déviation de la puissance) dans le réseau. Les résultats de simulation nous montre que la performance de PSS4B est le meilleur. Il possède la forte capacité d'amortissement d'oscillation dans les bandes de basse fréquence, de fréquence intermédiaire, et de haut fréquence, ainsi que la réponse de fonctionnement est le plus rapide. La capacité d'amortissement d'oscillation dans les bandes de fréquence intermédiaire, et de haut fréquence de PSS1A d'entrée de la déviation de la puissance est le plus faible, ainsi que le temps de réponse est le plus longue, mais ses avantages sont que l'amplitude maximale d'oscillation de la déviation de puissance est le plus petite et que il est le plus facile de mesure de la puissance qui est comme son l'entrée par rapport des autres 2 PSSs.

I. Modélisation d'un stabilisateur supraconducteur HTC pour réseau DC

Dans ce chapitre, le principe d'un stabilisateur pour le réseau DC est présenté dans un premier temps. Ensuite, on a mesuré les caractéristiques en DC et les pertes en AC des différents échantillons supraconducteurs HTC afin que choisir un type de matériau supraconducteur HTC qui est le plus adapté pour notre stabilisateur. A la fin, on a étudié l'influence en différentes formes d'un type de matériau supraconducteur HTC sur les caractéristiques en DC et les pertes en AC.

I.1 Principe d'un stabilisateur supraconducteur HTC

Le schéma du modèle d'un réseau en DC composant d'un stabilisateur supraconducteur HTC est présenté dans la figure I.1.1. U_{DC} est la source de courant continu, l'inductance et le condensateur signifient le propriété de cables, la charge est signifiée par une source de courant.

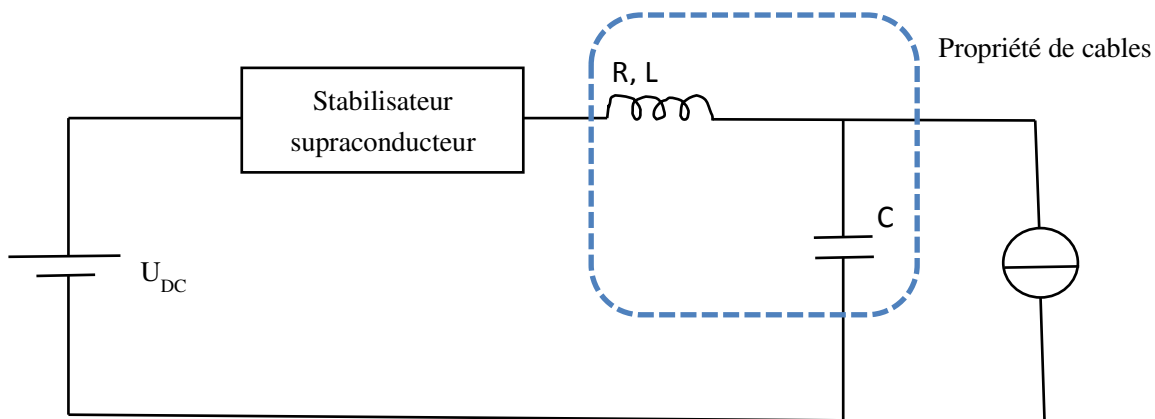


figure I.1.1 le modèle d'un réseau en DC composant d'un stabilisateur supraconducteur

En régime normal, le stabilisateur supraconducteur fonctionne sans pertes si le courant normal passant dans le circuit est inférieur au courant critique du stabilisateur supraconducteur (voir la figure I.1.2).

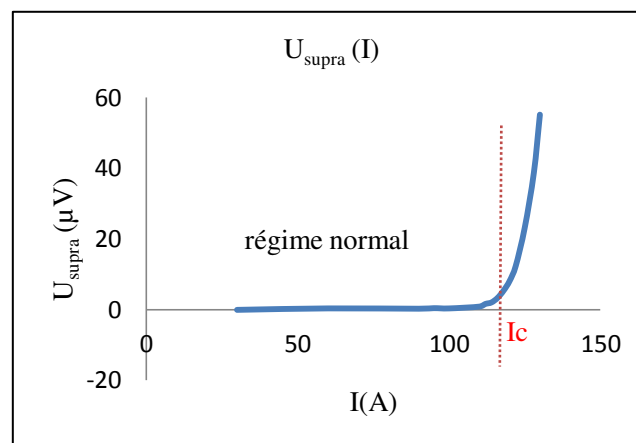


figure I.1.2 le caractéristique $U(I)$ du supraconducteur en DC

En régime transitoire (voir la figure I.1.3), il peut effectuer le constant de temps du courant afin que le courant se restabilise rapidement et en même temps, les pertes du stabilisateur supraconducteur sont plus faible en AC (voir la figure I.1.4).

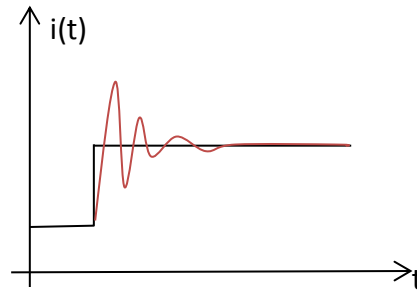


figure I.1.3 le courant qui passe le stabilisateur en régime transitoire

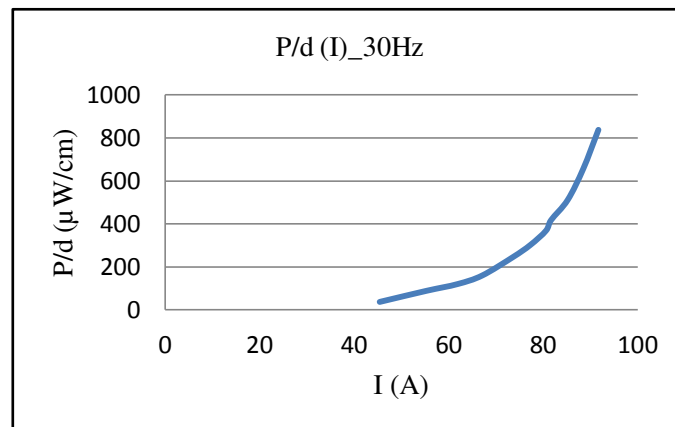


figure I.1.4 les pertes par longueur unitaire du supraconducteur en AC

Les pertes du supraconducteur sont influencées par beaucoup de facteurs. Il comprend le composant de supraconducteur, sa dimension, la fréquence, la température, le courant et etc. Par conséquent, dans la partie suivante, on présentera les mesures des caractéristiques en DC et des pertes en AC des différents échantillons supraconducteurs afin que choisir un matériau supraconducteur qui est le plus adaptable pour notre stabilisateur.

I.2 Mesures en DC et AC pour choix de matériaux supraconducteurs HTC

Le but de mesures des caractéristiques en DC et des pertes en AC des différents matériaux supraconducteurs est de choisir d'un type de matériau supraconducteur qui est le plus adaptable pour notre stabilisateur. On a mesuré les caractéristiques en DC et les pertes en AC de tous les différents supraconducteurs en forme de ruban que on a au laboratoire GREEN (en total 15 rubans), et ensuite on a comparé les caractéristiques et qualités de ces échantillons supraconducteurs par rapport des résultats mesurés. A la fin, on a une décision préliminaire de choix d'un type de matériau supraconducteur.

I.2.1 Mesures de caractéristiques des rubans supraconducteurs HTC en DC

Le ruban supraconducteur est alimenté par une source de courant continu programmable. Les connexions entre le ruban et la source sont deux électrodes. Le schéma du montage de mesures en DC est représenté dans la figure I.2.1

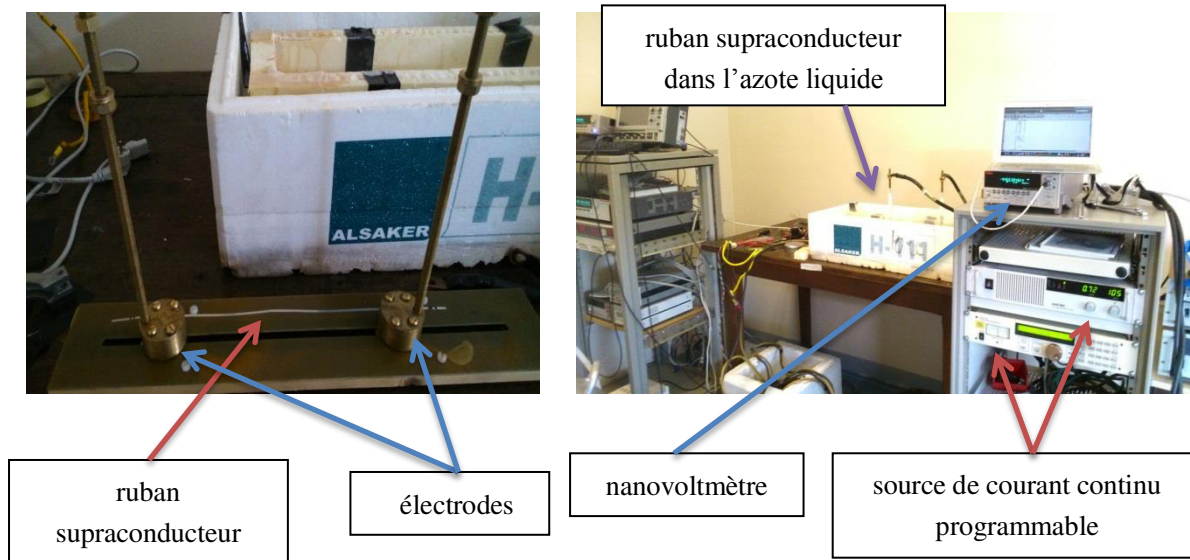


figure I.2.1 le schéma du montage de mesures en DC

On mesure la tension entre les 2 prises de potentiels du ruban supraconducteur par nanovoltmètre. L'échantillon de ruban est immergé dans l'azote liquide pour fixer la température à 77K. Pour obtenir les résultats précis, la distance entre les deux électrodes et les prises de potentiels doivent être supérieur à 5 cm, car le champ magnétique créé par le courant dans l'électrode influence la tension mesurée entre les prises de potentiels. On choisi un échantillon de ruban comme l'exemple à présenter, les résultats mesurés des autre rubans sont représentés dans l'annexe A.

Le rubans d'exemple est N° 12, type Di-BSCCO ACT, fabriqué par l'entreprise SUMITOMO en Japon. sa dimension est : largeur 2,81mm ; épaisseur 0,31mm ; la distance d entre les 2 prises de potentiels d=34,3cm. D'après la relation entre la tension critique U_c et la distance d,

$$U_c = d * 1 \mu V/cm \quad (I.1)$$

La tension critique est

$$U_c = 34,3 \mu V$$

Les valeurs mesurées de la tension et des erreurs de mesures sont montrées dans la tableau I.2.1

I (A)	U(μV)	Erreur (μV)
20	0,254	1,48
40	0,521	1,47
60	2,72	1,61
62	5,01	1,56
64	9,13	1,53
66	15,06	1,48
67	20,02	1,52
68	25,01	1,52
69	30,49	1,58
70	36,8	1,51
71	48,13	1,52
72	52,42	1,54
73	66,19	1,51
75	86,44	1,56
78	136,68	1,53
80	180,08	1,59

tableau I.2.1 les valeurs mesurées de la tension et des erreurs de mesures

La tableau I.2.1 nous montre que la tension U atteint 36,8μV approché de la tension critique $U_c=34,3\mu V$, lorsque le courant est 70A. Cependant, En fait , les valeurs de tension mesurées ne sont pas les valeur présies de la tension de l'échantillon entre les prises de potentiels dans le cas précédent, car elles comprennent la tension thermoélectrique. La relation est :

$$U_{mes} = U_{themo} + U_{supra} \quad (I.2)$$

Lorsque le sens du courant est inversé, le sens de la tension thermoélectrique ne change pas, elle est correspondant à la relation suivante :

$$U_{mes_inverse} = U_{themo} - U_{supra} \quad (I.3)$$

D'après les expressions précédentes , on peut alors obtenir la valeur mesurée présie de la tension supraconductrice entre les prises de potentiels :

$$U_{supra} = \frac{U_{mes} - U_{mes_ir}}{2} \quad (I.4)$$

Donc, j'ai refait la même opération en inversant le sens du courant. Les données sont représentées dans la tableau I.2.2.

I (A)	U(μV)	Erreur (μV)
20	-0,182	1,31
40	-0,353	1,15
60	-2,31	1,13
62	-4,71	1,15
64	-8,29	1,15
66	-14,26	1,08
67	-18,13	1,11
68	-22,9	1,1
69	-28,39	1,08
70	-34,15	1,09
71	-47,39	1,13
72	-49,98	1,01
73	-66,35	1,12
75	-82,72	1,02
78	-129,08	0,898
80	-173,79	1,06

tableau I.2.2 les valeurs mesurées de la tension et des erreurs de mesures en inversant le sens du courant

Les valeurs mesurées précises de la tension du ruban supraconducteur en fonction de courant sont présentées dans la tableau I.2.3 et la figure I.2.2

I (A)	U _{supra} (μV)
20	0,218
40	0,437
60	2,515
62	4,86
64	8,71
66	14,66
67	19,075
68	23,955
69	29,44
I_c=70	35,475
71	47,76
72	51,2
73	66,27
75	84,58
78	132,88
80	176,935

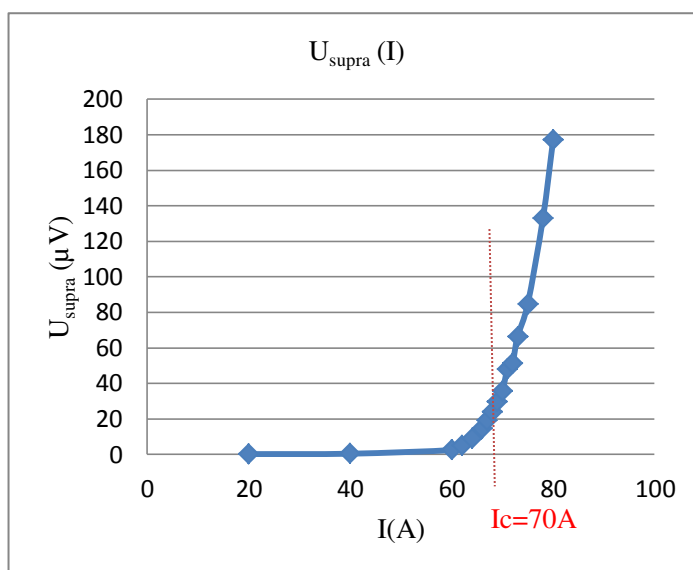


tableau I.2.3 et figure I.2.2 la tension du ruban supraconducteur en fonction de courant

Donc, on peut considérer approximativement le courant critique I_c est 70A. Pour vérifier le résultat mesuré, on a cherché le document technique montré par le fabricant (voir la tableau I.2.4).

Sumitomo BSCCO Wire (DI-BSCCO) Type ACT	
Twisted BSCCO filaments, for AC Use	
Specifications	
Average Width	$2.8 \pm 0.3 \text{ mm}$
Average Thickness	$0.31 \pm 0.04 \text{ mm}$
Reinforced Material	Copper Alloy (50 μm)
I_c (77K, Self Field)	60A, 70A
Critical Wire Tension* (RT)	150 N**
Critical Tensile Strength* (77K)	270 MPa**
Critical Tensile Strain* (77K)	0.4%**
Critical Double Bend Diameter* (RT)	40 mm**

* 95% I_c Retention
** Typical Value

tableau I.2.4 le document technique montré par le fabricant

(http://global-sei.com/super/hts_e/type_ac.html)

Donc, la valeur mesurée du courant critique est correspond à celle présenté par le fabricant.

On déduit la valeur scalaire du champ électrique E et la densité du courant J par les expressions suivantes :

$$E = \frac{U_{\text{supra}}}{d} \quad \text{et} \quad J = \frac{I}{S} \quad (\text{I.5 et I.6})$$

D'où S est la section de ruban supraconducteur, et ensuite on trace la courbe de E en fonction de J et la représente dans la figure I.2.3.

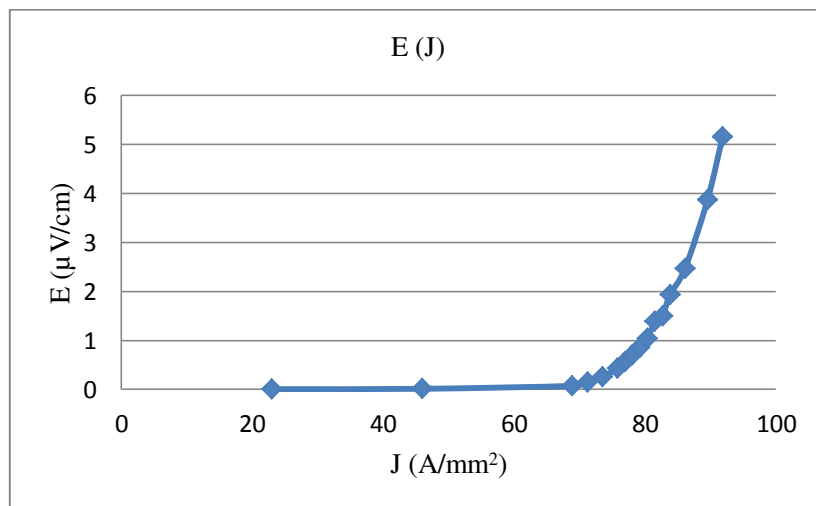


figure I.2.3 la valeur scalaire du champ électrique E en fonction de la densité du courant J

La relation théorique de E en fonction de J est :

$$E = E_c \left(\frac{J}{J_c} \right)^n \quad (I.7)$$

Pour obtenir la valeur de n dans l'équation précédente, on fait le calcul de « log10 » à la gauche et à la droite de cette équation, et ensuite elle devient :

$$\log_{10} \left(\frac{E}{E_c} \right) = n \cdot \log_{10} \left(\frac{J}{J_c} \right) \quad (I.8)$$

Donc, on calcule la valeur de n par :

$$n = \frac{\log_{10}(J/J_c)}{\log_{10}(E/E_c)} \quad (I.9)$$

à la fin, on a obtenu la valeur de n de l'échantillon de ruban N°12 est

$$n=12$$

La courbe de E en fonction de I est représentée par la figure I.2.4.

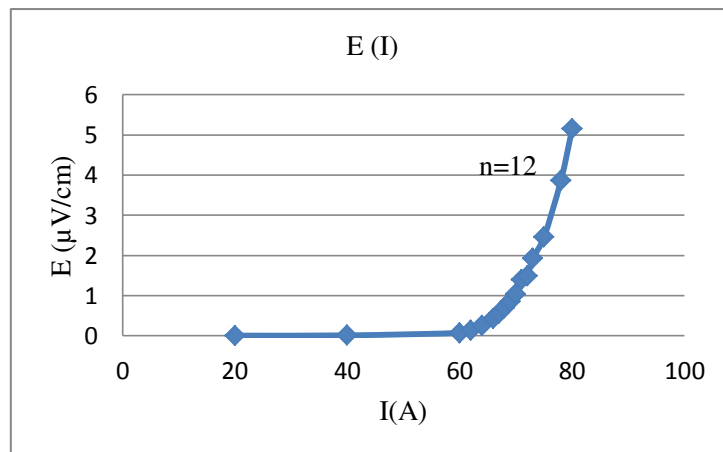


figure I.2.4 E en fonction de I

Les résultats E(I) et E(J) des autres échantillons de rubans seront représentés ensemble avec les résultats de mesures en AC dans la partie *I.4 Résultats de mesures et Conclusion* à la fin de ce chapitre pour comparer la qualité de matériaux supraconducteurs et décider le choix.

I.2.2 Mesures de pertes des rubans supraconducteurs HTC en AC

Les expérimentations précédentes nous montrent que les rubans supraconducteurs HTC possèdent la bonne qualité de nuls-pertes si le courant continu qui les passe est inférieur à le courant critique de rubans supraconducteurs, mais il existe toujours les pertes dans les rubans supraconducteurs si on les alimente par le courant alternatif. Donc mesures de pertes de chaque échantillon de ruban supraconducteur sont très importantes pour décider le choix pour notre stabilisateur. Dans cette partie, on présentera la méthode et la manipulation de mesures de pertes de rubans supraconducteur en AC. L'échantillon comme l'exemple de présentation est également N°12 Di-BSCCO ACT SUMITOMO. Les résultats des autres échantillons de rubans seront représentés dans

l'annexe B. Le schéma du montage est présenté dans la figure I.2.5.

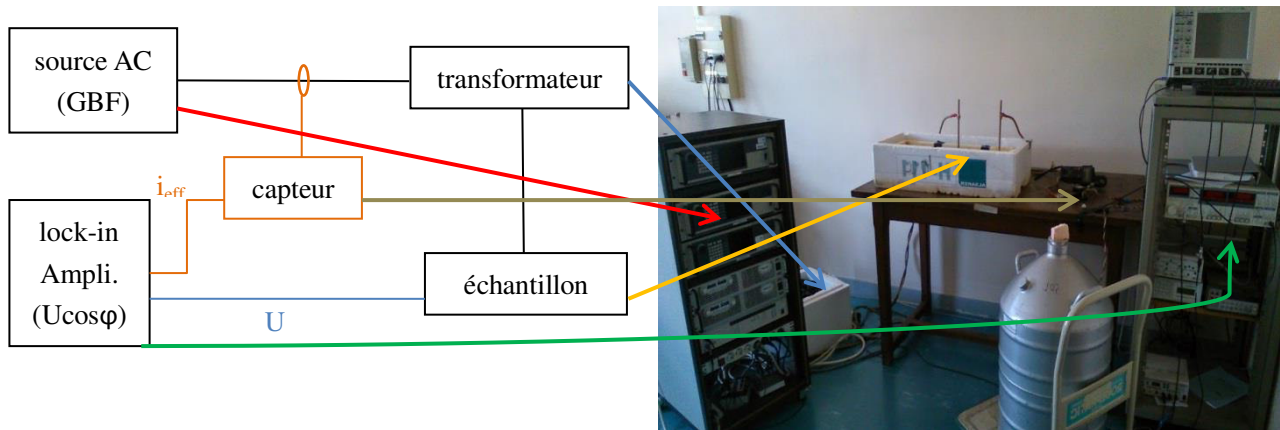


figure I.2.5 le montage pour mesures de pertes d'échantillon en AC

Les 2 électrodes sont liées avec le côté de base tension du transformateur et la source AC liées avec le côté de haut tension du transformateur. On mesure la valeur efficace du courant passant l'échantillon supraconducteur par un capteur de courant et mesure la tension entre les 2 prises de potentiels par un amplificateur lock-in, et puis la valeur $U\cos\phi$ peut être calculé directement par l'amplificateur lock-in. On peut déduire que les pertes P en fonction du courant et du produit de $U\cos\phi$ est ci-dessous :

$$P = I_{\text{eff}} U \cos\phi \quad (\text{I.10})$$

La source AC alimente l'échantillon supraconducteur par le courant sinusoïdale, la fréquence du courant alimenté est 10Hz, les pertes par longueur unitaire P/d en fonction du courant I est relèvé ci-dessous : (voir la figure I.2.6)

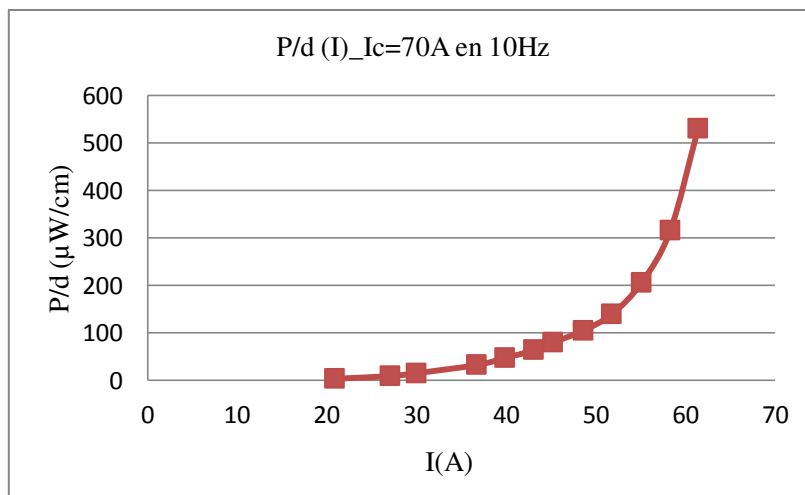


figure I.2.6 les pertes par longueur unitaire P/d en fonction du courant I en AC

On varie la fréquence à partir de 10Hz à 40Hz, la variation des pertes par longueur unitaire P/d en fonction du courant I est relèvé ci-dessous : (voir la figure I.2.7)

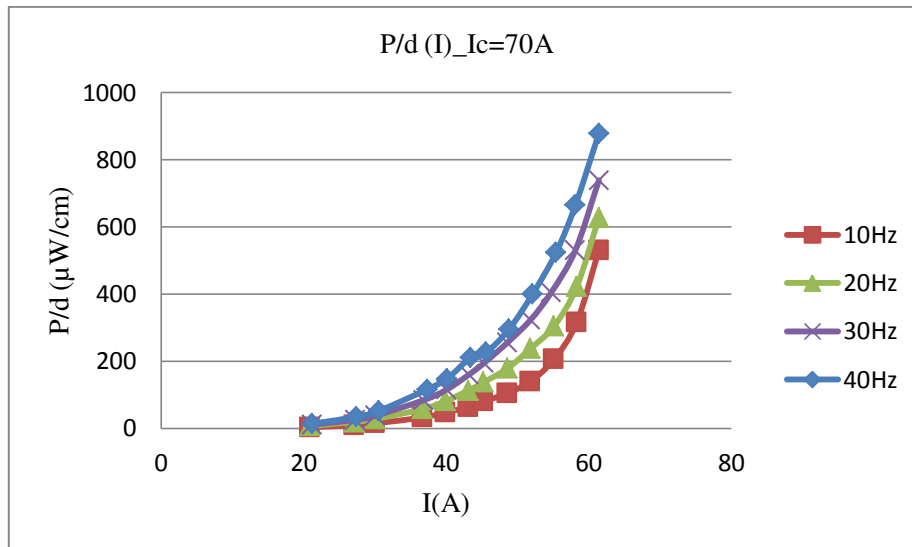


figure I.2.7 les pertes par longueur unitaire P/d en fonction du courant I en variant la fréquence du courant

La figure I.2.7 précédente nous montre que les pertes augmentent lorsque la fréquence augmente pour un ruban supraconducteur. Si on trace la courbe qui présente les pertes par longueur unitaire par fréquence unitaire $P/(f.d)$ en fonction du courant I (voir la figure I.2.8), on peut découvrir que la relation entre les pertes et la fréquence n'est pas linéaire.

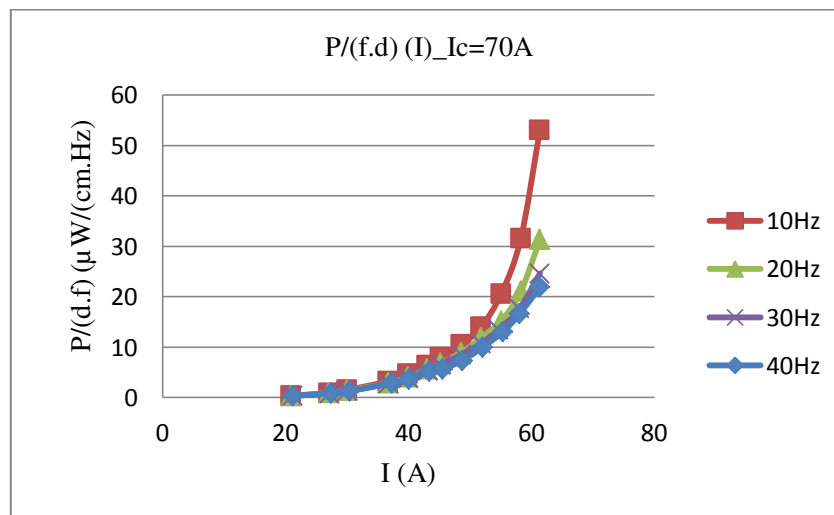


figure I.2.8 les pertes par longueur unitaire par fréquence unitaire $P/(f.d)$ en fonction du courant I

Ceci correspond à la formule de pertes de Norris[10] :

$$P_{strip} = f \frac{I_c^2 \mu_0}{\pi} ((1-i) \ln(1-i) + (1+i) \ln(1+i) - i^2) \quad (I.11)$$

avec $i = I_{max} / I_c$

P_{strip} signifie les pertes de bande par longueur unitaire, μ_0 signifie la perméabilité magnétique du vide. I_{max} est le courant maximal qui passe le ruban supraconducteur, I_c est le courant critique du ruban supraconducteur. Selon la formule précédente I.11, on peut déduire que les courbes $P(I)$, $P/d(I)$ et $P/(f.d)(I)$ sont mêmes avec celles $P(J)$,

P/d (J) et P/(f.d) (J) car

$$i = I_{\max} / I_c = J_{\max} / J_c \quad (\text{I.12})$$

Les résultats P/d (I) et P/(f.d) (I) des autres échantillons de rubans seront représentés ensemble avec les résultats de mesures précédentes en DC dans la partie *I.4 Résultats de mesures et Conclusion* à la fin de ce chapitre pour comparer la qualité de matériaux supraconducteurs et déciter la choix.

I.3 Etudes d'influence de différentes formes de matériaux supraconducteurs HTC

Pour un matériau supraconducteur, les différentes formes de structure sont également influencent ses caractéristiques et qualités. Donc, on a choisi certains esrèces de matériaux supraconducteurs, et fait les même mesures en forme de bobine et en forme de tube. à la fin, on a comparé les résultats de mesures des formes différentes.

I.3.1 Mesures en DC et AC en forme de bobine

On a mesuré 2 échantillons de bobines supraconductrices en DC et en AC pour s'avoir l'influence de forme aux caractéristiques de matériaux supraconducteurs. la méthode et le montage de mesures de bobines supraconducteur en DC sont les mêmes avec ceux précédentes de rubans supraconducteurs. Les paramètres des 2 échantillons de bobines sont présentés ci-dessous (voir la tableau I.3.1).

Bobines	type	D _{int} (mm)	D _{ext} (mm)	H (mm)	L _{tot} (m)	S (mm ²)	E _p (mm)	L _{ru} (mm)
N°1	Di-BSCCO ACT	50	100	3	14,8	0,924	0,33	2,8
N°2	SUMITOMO BSCCO	61,5	115	8,3	57	0,88	0,21	4,1

tableau I.3.1 les paramètres des 2 échantillons de bobines

D_{int} : le diamètre intérieur de la bobine ; D_{ext} : le diamètre extérieur de la bobine ; H : l'hauteur de la bobine ; L_{tot} : le longueur total du ruban qui compose la bobine ; S : la section du ruban ; E_p : l'épaisseur du ruban ; L_{ru} : le largeur du ruban.

La figure I.3.2 nous montre les 2 bobines. Le courant critique mesuré de la bobine N°1 est 44A, de la bobine N°2 est 19A. La valeur calculé de n de la bobine N°1 est 10 , de la bobine N°2 est 13. Les courbes U_{supra} en fonction de I et les courbes E en fonction de J des 2 bobines seront représentées dans l'annexe C. Les courbes E en fonction de I seront représentées dans la partie *I.4 Résultats de mesures et Conclusion* à la fin de ce chapitre pour comparer la qualité de matériaux supraconducteurs et déciter la choix.



a. bobine N°1



b. bobine N°2

figure I.3.2 les échantillons de bobines supraconductrices

Le montage de mesures des pertes de bobines supraconductrices en AC (voir la figure I.3.3) est un peu différent avec celui précédent de rubans supraconducteurs. Il faut ajouter une bobine en série comme compensation entre la bobine supraconductrice à mesurer et le composant de mesure de la tension, ici, c'est l'amplificateur lock-in.

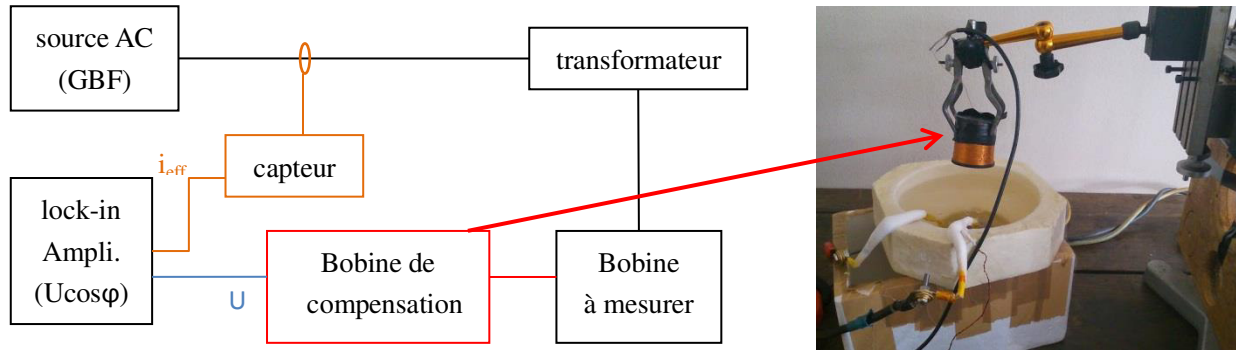


figure I.3.3 le montage de mesure des pertes de bobines en AC

Si on n'ajoute pas une bobine de compensation, la tension mesurée entre les 2 prises de potentiels de bobine supraconductrice est :

$$U_{s \text{ u } m} = L \frac{di}{dt} + Ri \quad (I.13)$$

U_{supra} est la tension mesurée entre les 2 prises de potentiels de la bobine supraconductrice ; L est l'inductance propre de la bobine supraconductrice ; R est l'insistance de la bobine supraconductrice. La tension mesurée comprend la partie qui est induit par l'inductance propre de la bobine supraconductrice. Donc les pertes P n'est pas égale au produit de $IU_{supra}\cos\varphi$:

$$P \neq I_{eff} U_{supra} \cos\varphi \quad (I.14)$$

Après ajouter la bobine de compensation en serie entre la bobine supraconductrice à mesurer et le composant de mesure de la tension, la tension mesurée devient :

$$U_{supra} = L \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt} + Ri \quad (I.15)$$

M est l'inductance mutuelle entre la bobine supraconductrice et la bobine de compensation. Si on approche la bobine de compensation de la bobine supraconductrice afin que l'inductance mutuelle M égale à l'inductance propre de la bobine supraconductrice, alors, la tension mesurée est

$$U_{m e s u r e e} = Ri \quad (I.16)$$

Donc, les pertes P est

$$P = I_{eff} U_{mesuree} \cos\varphi \quad (I.17)$$

Les courbes P/d et $P/(f.d)$ en fonction de I seront représentées dans la partie I.4 Résultats de mesures et Conclusion à la fin de ce chapitre pour comparer la qualité de matériaux supraconducteurs et déciter la choix.

I.3.2 Mesures en DC et AC en forme de tube

On a mesuré les caractéristiques en DC et les pertes d'un tube supraconducteur en AC. Ce tube est montré dans la figure I.3.4. les paramètres du tube sont donnés par la tableau I.3.2

type	BSSCO - CSL-5/70.1
Fabricant	CAN Superconductors (Thèque)
L'_{tot}	11.3cm
D'_{ext}	5mm
S'	$7mm^2$
d'	7.9cm
U_{c_tube}	$7.9\mu V$



tableau I.3.2 les paramètres du tube
supraconducteur

figure I.3.4 le tube supraconducteur

L'_{tot} : longueur total du tube ; D'_{ext} : diamètre extérieur du tube ; S' : la section du tube ; d' : la distance entre les 2 prises de potentiels du tube ; U_{c_tube} : la tension critique du tube.

La méthode et le montage de mesures du tube supraconducteur en DC et en AC sont les mêmes avec ceux précédents des rubans supraconducteurs. Le courant critique mesuré est 36A, la valeur de celui donnée par le document technique est 35A [11], l'erreur de mesure est 2.8% inférieur à 5%. La valeur calculée de n du tube est 12. Tout les courbes obtenues seront représentées dans la partie *I.4 Résultats de mesures et Conclusion* à la fin de ce chapitre pour comparer la qualité de matériaux supraconducteurs et déciter la choix.

I.4 Résultats de mesures et Conclusion

I.4.1 Forme de rubans

La figure I.4.1 représente les courbes du champ électrique E en fonction du courant continu I des 13 échantillons de différents rubans qui sont fabriqués par 5 entreprises différentes. Les échantillons N°8 et N°9 ne fonctionnent plus en état supraconducteur car ils sont déjà cassés.

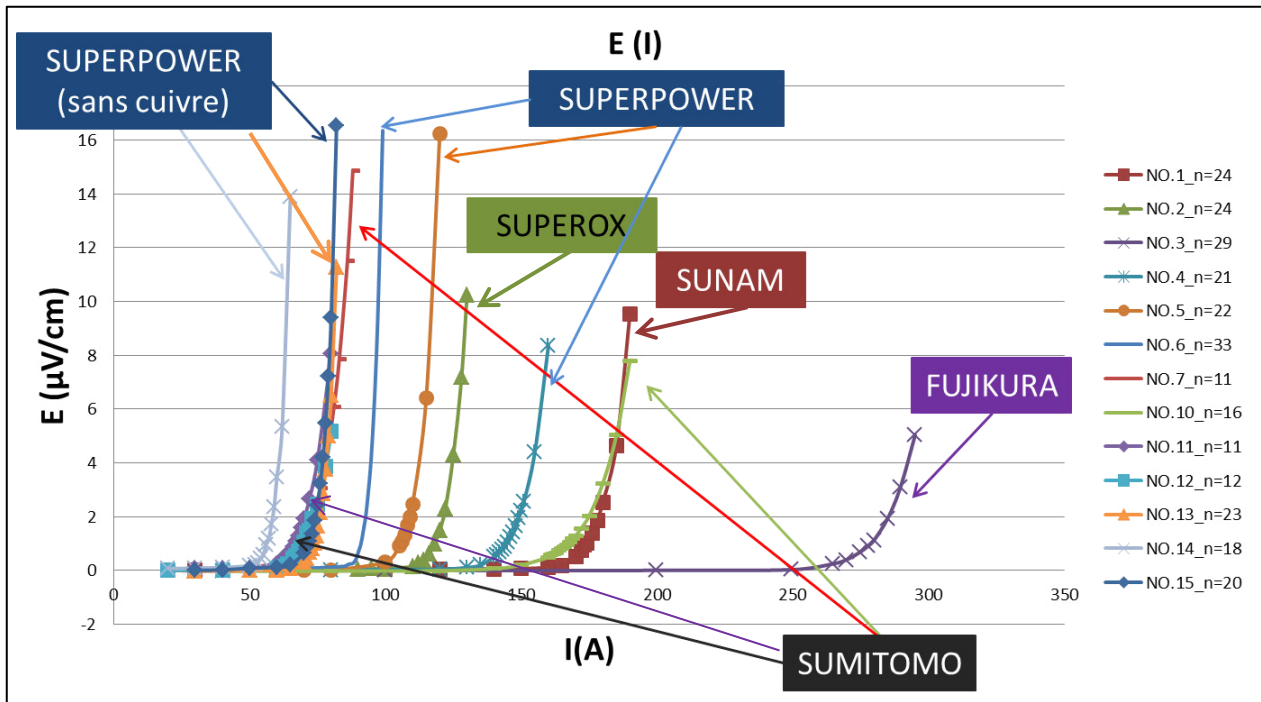


figure I.4.1 les courbes $E(I)$ des 13 échantillons de rubans différents

A cause de la condition limite au laboratoire, le courant efficace maximal mesurable en AC est 125A, donc on n'a pas mesuré de pertes des échantillons des rubans supraconducteurs N°1, 3, 4 en AC. Les courbes du champ électrique E en fonction de la densité de courant J sont représentées dans la figure I.4.2.

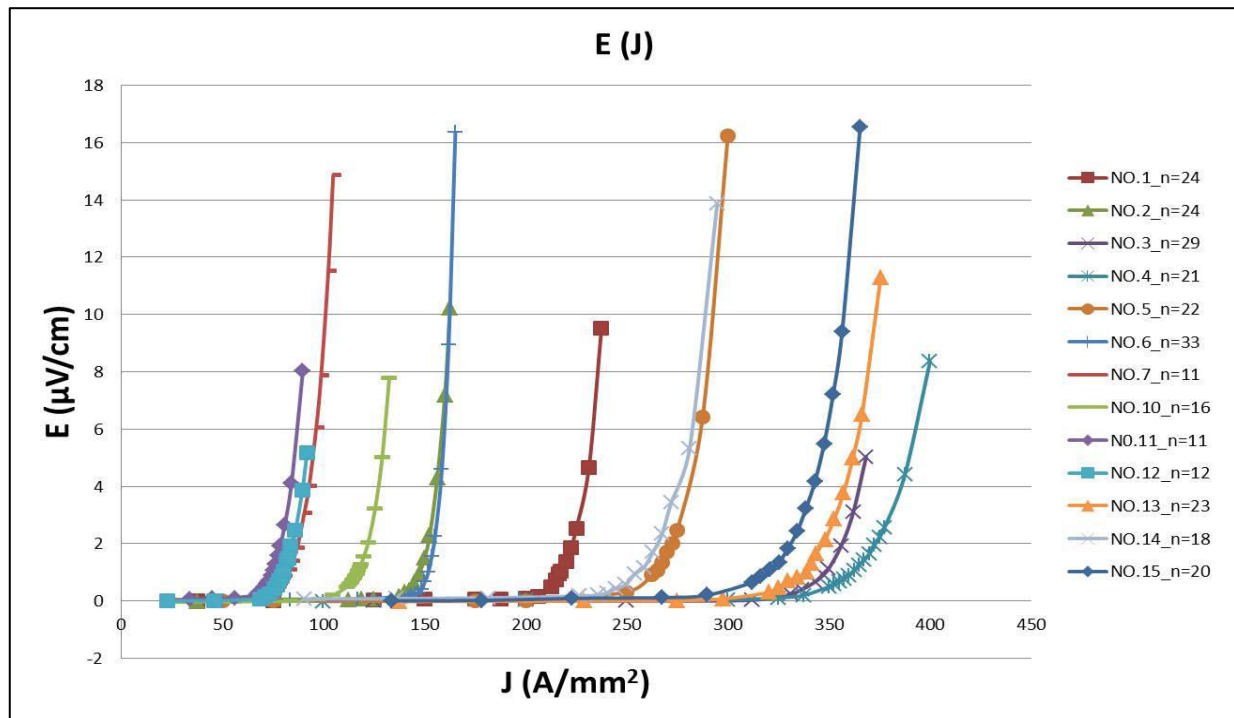


figure I.4.2 les courbes $E(J)$ des 13 échantillons de rubans différents

Donc on a mesuré les pertes des 10 échantillons de rubans en AC. Pour les mesures de pertes en AC, la valeur efficace du courant alimentée doit être inférieure à $I_c/\sqrt{2}$ afin de protéger l'échantillon supraconducteur. Cependant, les échantillons N°13 et N°15 ont été cassés en raison de fusion local même si le courant alimenté n'a pas passé la valeur maximale loisible. C'est-à-dire, ces deux échantillons, YBCO sans cuivre fabriqué par SUPERPOWER, sont très flexible, ils ne sont pas adaptable pour notre stabilisateur.

Les pertes par longueur unitaire P/d en fonction du courant I en 40Hz des 8 échantillons des rubans supraconducteurs sont représentés dans la figure I.4.3.

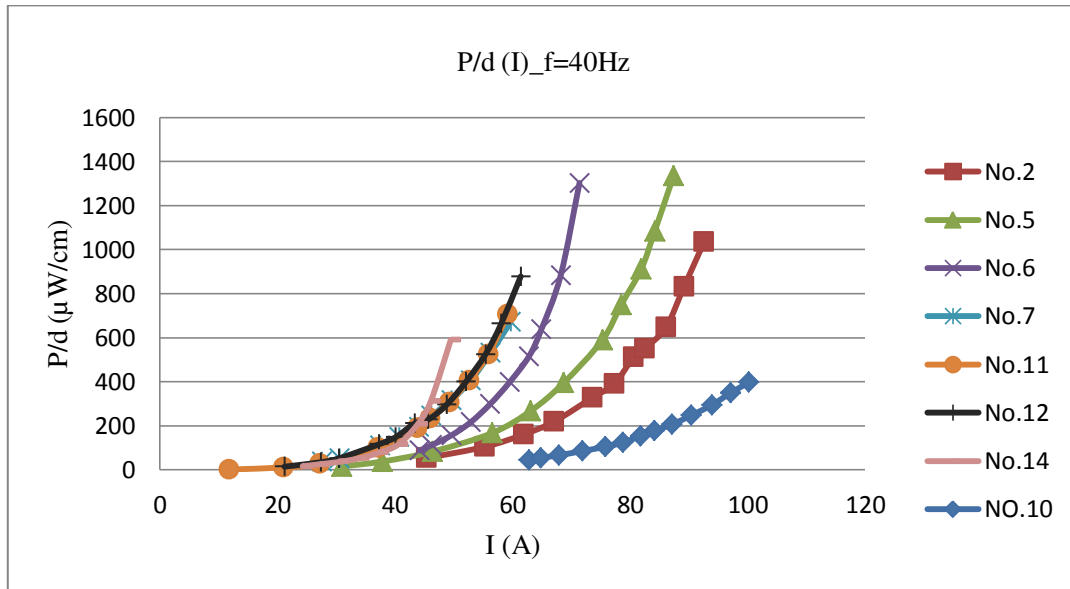


figure I.4.3 les pertes par longueur unité P/d en fonction du courant I en 40Hz des 8 échantillons de rubans supraconducteurs

On représente les courbes $E(I)$ en DC de ces 8 échantillons des rubans (voir la figure I.4.4) pour comparer les qualités de ces échantillons en DC et en AC.

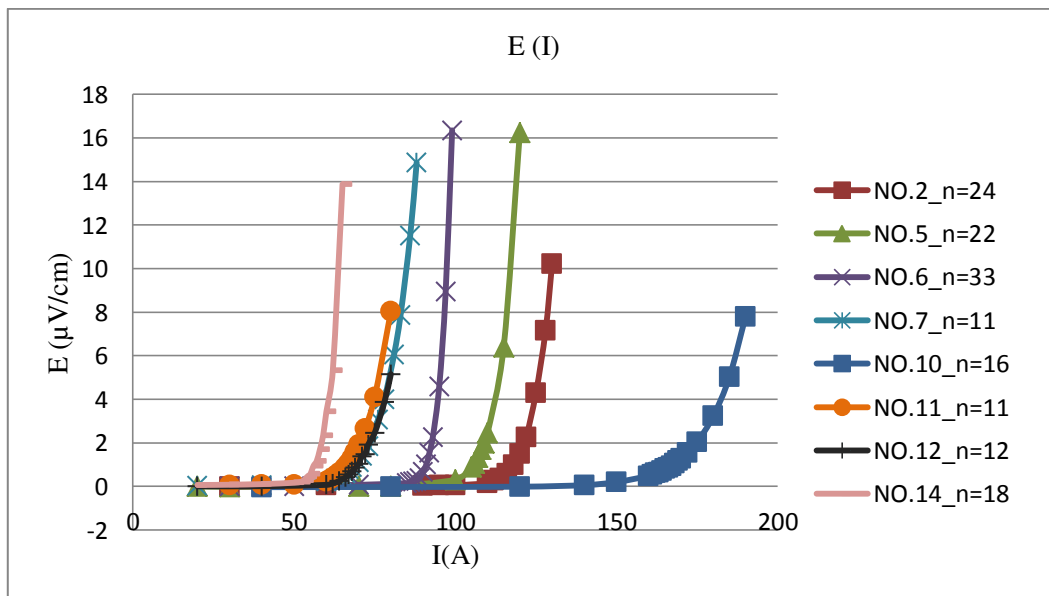


figure I.4.4 les courbes $E(I)$ en DC de ces 8 échantillons de rubans supraconducteurs

En comparant la figure I.4.3 et la figure I.4.4, on peut découvrir que Les courants critiques des échantillons N°7, N°11, N°12, et N°14 sont beaucoup moins que ceux des autres échantillons, en outre, les pertes en AC de ces 4 rubans sont plus grand que ceux des autres échantillons. On a résumé les caractéristiques de ces 8 échantillons de rubans et les présenté dans la tableau I.4.1 suivante :

Rubans supraconducteur	DC		AC	qualité mécanique et thermique			note en total
	E(I)	n	P/d (I)	solidité mécanique	flexibilité	thermo-résistance	
N°2 superox	7	7	7	5	6	6	38
N°5 superpower	6	6	6	3	7	5	33
N°6 superpower	5	8	5	3	7	5	33
N°7 sumitomo	4	1	4	7	5	7	28
N°10 sumitomo	8	4	8	8	4	8	40
N°11 sumitomo	3	1	4	7	5	7	27
N°12 sumitomo	4	2	4	7	5	7	29
N°14 superpower (sans cuivre)	1	5	3	1	8	3	21

tableau I.4.1 la comparaison de caractéristiques des 8 échantillons de rubans supraconducteurs

On impose le classement de caractéristiques à partir 1 au 8. Pour E(I), '1' signifie le courant critique est le plus petit, par contre '8' signifie le courant critique est le plus grand ; pour n, '1' signifie la valeur de n est le plus petite, par contre '8' signifie la valeur de n est le plus grande ; pour P/d(I), '1' signifie les pertes sont le plus grand, par contre '8' signifie les pertes sont le plus petit ; pour la solidité mécanique, '1' signifie la solidité mécanique est le plus flexible, par contre '8' signifie la solidité mécanique est le plus forte ; pour flexibilité, '8' signifie le ruban possède le meilleur flexibilité, par contre '1' signifie le ruban possède le dernier flexibilité ; pour thermo-résistance, '1' signifie le capacité de thermorésistance de ruban est le dernier, par contre '8' signifie le capacité de thermorésistance de ruban est le plus fort. La tableau I.4.1 nous montre que le ruban N°10 possède le meilleur qualité synthétique. Donc on préfère choisir le ruban N°10 comme le matériau de notre stabilisateur supraconducteur HTC.

I.4.2 Forme de bobine

La figure I.4.5 présente la courbe E(I) de la bobine qui est bobinée par le ruban N°7 Di-BSCCO ACT SUMITOMO et celle du ruban N°7.

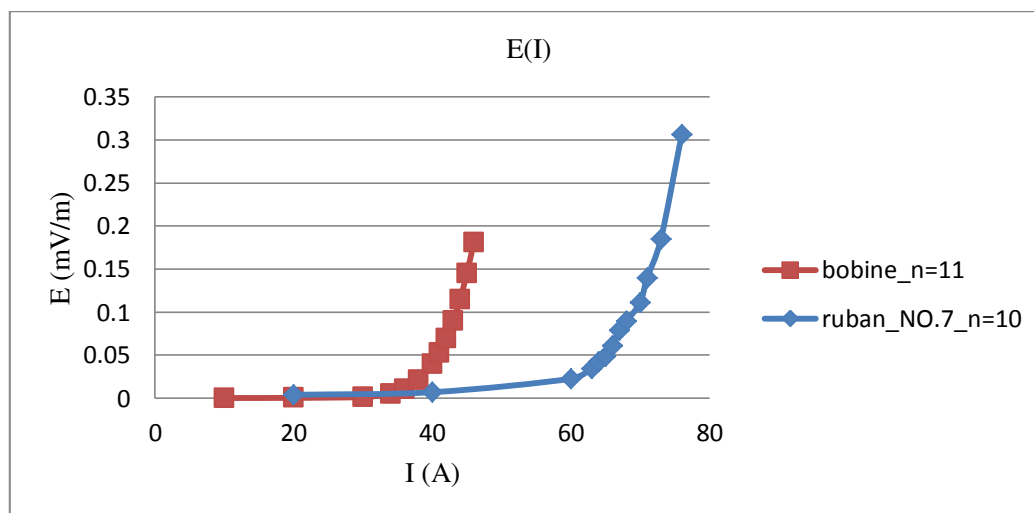


figure I.4.5 les courbes E(I) en DC de la bobine et du ruban N°7

Le courant critique mesuré est 44A, la valeur calculée de n est 10. Par rapport de celui du supraconducteur en forme de ruban, le courant critique diminue beaucoup par environ 38%. c'est-à-dire, si le stabilisateur supraconducteur est en forme de bobine, il faut choisir le matériau qui possède le courant critique en forme de ruban est plus grand que le courant normal dans le réseau DC où le stabilisateur travaille.

La figure I.4.6 nous montre les courbes des pertes par longueur unitaire en fonction du courant I en AC en variant la fréquence de la bobine.

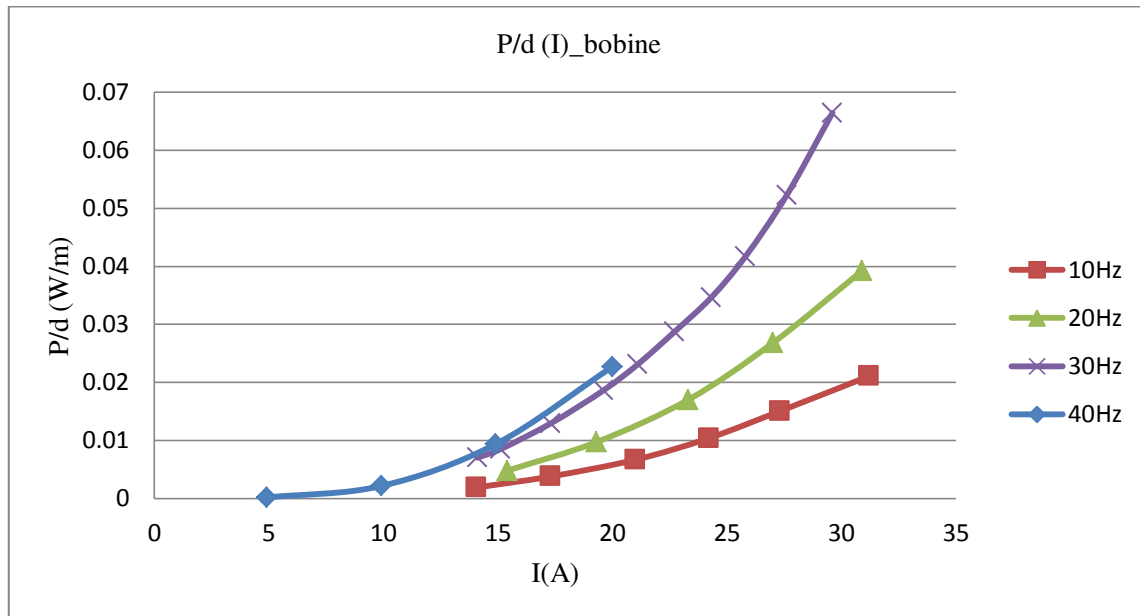


figure I.4.6 les courbes $P/d(I)$ de la bobine en variant la fréquence

Les pertes augmentent quand la fréquence du courant augmente. Par rapport des pertes en forme de ruban, l'augmentation des pertes par fréquence unitaire est plus grande que celle de ruban. On représente ensemble la courbe $P/d(I)$ en AC de la bobine en 30Hz et celle du ruban N°7 dans la figure I.4.7

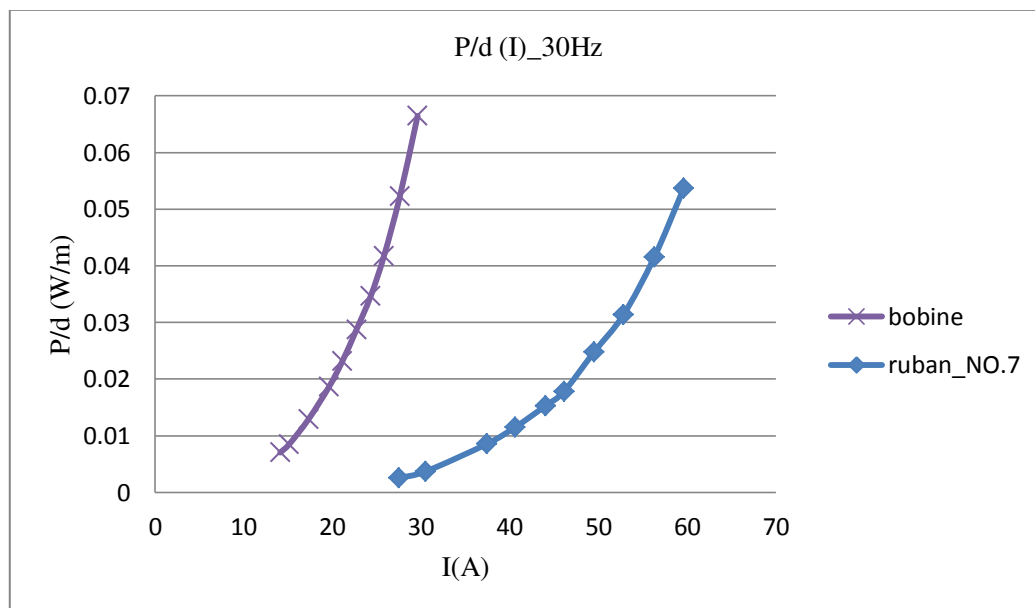


figure I.4.7 les courbes $P/d(I)$ en 30Hz de la bobine et du ruban N°7

Par rapport des pertes du ruban, les pertes augmentent plus grand par plusieurs fois en forme de bobine, mais les pertes de la bobine supraconducteur sont encore plus petits que ceux de la bobine de cuivre ou d'aluminium.

I.4.3 Forme de tube

La figure I.4.8 présente la courbe $E(I)$ du tube BSCCO qui est fabriqué par CAN Superconductors en Thèque.

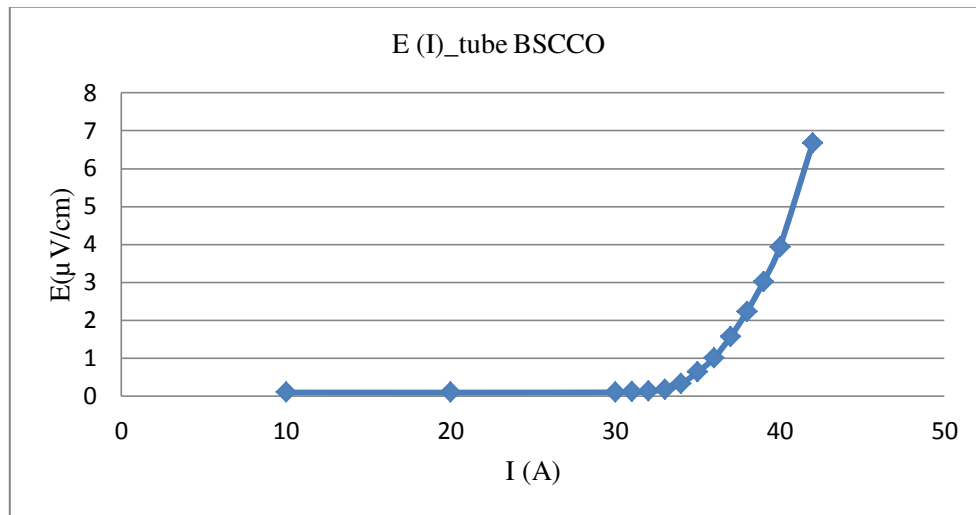


figure I.4.8 la courbe $E(I)$ du tube BSCCO

Le courant critique mesuré est 36A, la valeur calculé de n est 12. La courbe $P/d(I)$ en AC du tube en 40Hz est représenté dans la figure I.4.9

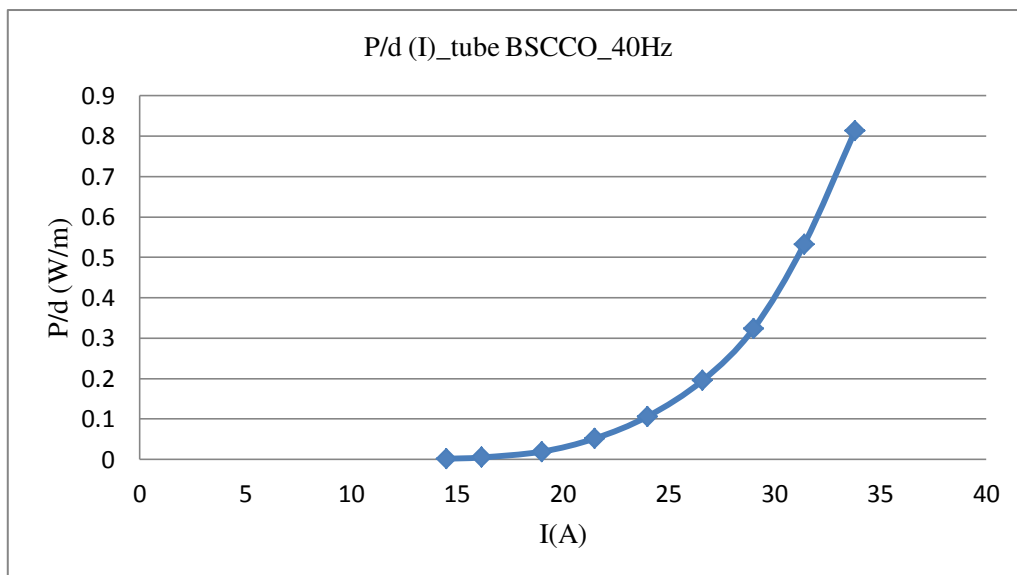


figure I.4.9 la courbe $P/d(I)$ en AC du tube en 40Hz

Par rapport de la bobine précédente (voir la figure I.4.7), les pertes sont plus grand par plusieurs dix fois en forme de tube. C'est-à-dire, s'il y n'a pas la limite de dimension pour le stabilisateur, on préfère que la structure du stabilisateur supraconducteur HTC est en forme de bobines.

II. Modélisation d'un réseau AC composant de multi-machines

L'objectif de la modélisation d'un réseau AC composant de multi-machines est qu'on va établir un fondement pour étudier à l'avenir la performance des stabilisateurs de puissance en état de défauts occupés dans le réseau, court-circuit par exemple. On établira un réseau DC en référant ce modèle et testera la performance de notre stabilisateur supraconducteur HTC à l'avenir.

Dans ce chapitre, on présente d'abord un dispositif important (AVR) qui est un composant de notre modèle. Ensuite on présente le principe et la structure d'un réseau AC composant de multi-machines, et puis on présente la modélisation de ce réseau sous le logiciel EMTP-RV. A la fin, on montre les résultats de simulation et fait la conclusion.

II.1 Principe de AVR

AVR, Automatic Voltage Regulator en anglais, est un dispositif qui peut réguler automatiquement la tension d'excitation de générateurs dans le réseau électrique afin que les générateurs peuvent fonctionner en régime normal. La variation de charges dans réseau peut provoquer l'oscillation de la force électromotrice (FEM) de générateurs. Cependant on peut réguler la force électromotrice de générateurs par le courant d'excitation commandé par AVR. Il existe beaucoup de types de AVR. Pour notre modèle du réseau, le bloc de l'AVR est composant d'un stabilisateur de puissance (PSS en anglais), d'un système d'excitation, et d'une turbine à vapeur. On exprime ci-dessous les principes des stabilisateurs de puissance et du système d'excitation. Pour la turbine à vapeur, son principe est très compliqué, et en raison de limite de pages du rapport, le principe de la turbine à vapeur est montré dans [12].

II.1.1 Principes de PSSs

Pour générateurs synchrones, le système d'excitation possédant le haut gain et le temps de réponse rapide aide bien à la stabilité transitoire (le couple synchrone), cependant il peut également réduire la stabilité de signaux petits (le couple d'amortissement). Les stabilisateurs de puissance PSSs (Power System Stabilizer en anglais), donnent une contribution positive en amortissant l'oscillation de l'angle de rotor de générateur. La fréquence d'oscillation est dans une domaine large à partir de 0.1Hz - 1Hz (modes d'interconnexion de basse fréquence), à 1 - 2Hz (modes locaux) ou à 2 - 3Hz (modes d'intra-usine).

La mode d'interconnexion de basse fréquence, en général, s'appelle la mode d'interzone. Elle est causée par les groupes cohérents d'oscillations de générateurs contre les autres groupes dans le réseau interconnecté. PSSs peuvent généralement fournir l'amélioration significative pour amortir l'oscillation de la mode d'interzone.

Les PSSs fonctionnent par la commande d'excitation. Ils fournissent un couple d'amortissement positif pour compenser l'amortissement négatif causé par AVR, d'ailleurs ils accroissent la stabilité de signaux petits. Le principe est que les PSSs produisent un signal qui est même avec la vitesse de rotors, et puis on additionne de ce signal de la valeur référencée obtenue de l'AVR. Par ailleurs, il existe un retard de phase, pour compenser ceci, PSSs fournissent une phase avancée.

En général, ils possèdent 3 types de variables d'entrées : la puissance, la déviation de la vitesse rotorique et la fréquence terminale. Les paramètres des PSSs doivent être correspondant au type du signal d'entrée car les paramètres pour les PSSs avec différents signaux d'entrées peuvent être différents en fournissant l'amortissement similaire.

Pour notre modèle, il comprend de 2 types de PSSs. On présente séparément les principes de ces 2 types de PSSs selon le standard « IEEE Std 421.5™-2005 »[1].

a) le modèle du type PSS1A

La figure II.1.1 représente le modèle du type PSS1A. Il possède une entrée single qui peut être imposé par la déviation de puissance, de vitesse rotorique ou de fréquence.

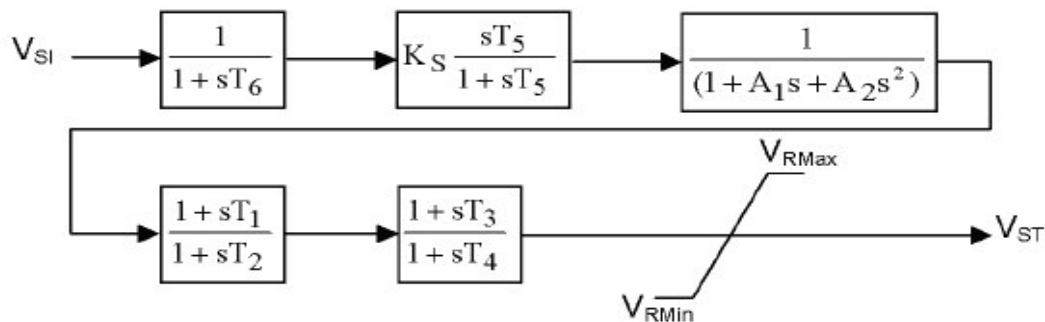


figure II.1.1 le mdèle du type PSS1A [1]

T_6 est le constant de temps d'un capteur pour surveiller le signal d'entrée. T_5 signifie le constant de temps d'un filtre washout qui peut laisser le signal de déviation de la puissance active passer sans changement. Si on ne utilise pas ce filtre, un changement permanent de la puissance active causera un changement de la tension de générateur. La valeur de T_5 doit être grande suffisante afin que le signal de déviation de la puissance active peut passer sans changement. Par contre, si le signal d'entrée n'est pas la déviation de la puissance active, mais est la déviation de la vitesse rotorique ou la fréquence, on n'a plus besoins de ce filtre.

K_S , la valeur du gain de stabilisateur, décide le rapport d'amortissement. Pour certains points, le rapport d'amortissement augmente si on accroît la valeur du gain K_S , mais si cette valeur est exorbitant, le rapport d'amortissement diminue.

A_1 et A_2 permettent de tenir compte de certains d'effets de la basse fréquence du filtre de torsion de la haut fréquence. Lorsque on l'utilise pour que ne pas atteindre ce but, ce bloc peut être utilisé pour assister à mise en forme les caractéristiques du gain et de la phase de stabilisateur.

Les deux blocs comprenant T_1 , T_2 , T_3 , et T_4 sont les deux étapes de la compensation de phase avancé-retard. ils compensent une phase avancé entre l'entrée du système de commande d'excitation et le couple électromagnétique, il est possible de atteindre la compensation de phase désirable.

La sortie de stabilisateur est limité par V_{RMax} (valeur positive) et V_{RMin} (valeur négative), La valeur de V_{RMax} peut être initialisé par la valeur un peu grande pour que le stabilisateur fonctionne bien quand une grande oscillation occupe.

La sortie de stabilisateur V_{ST} est une entrée du modèle de commande discontinu supplémentaire, si on n'utilise pas ce modèle, alors, $V_{SI}=V_{ST}$.

b) le modèle du type PSS4B

La figure II.1.2 représente le modèle du type PSS4B. Il peut fonctionner sous les multi-bandes de fréquence. Les 3 bandes séparées, respectivement dédié aux modes d'oscillations de la basse, intermédiaire et haut fréquence, sont utilisés par l'entrée de PSS.

Les bandes de la basse fréquence, de la fréquence intermédiaire et de la haut fréquence sont respectivement associé avec le mode global du système de puissance, le mode de l'interzone, et le mode local. Chaque bande est composant d'un filtre defférenciel, d'un gain, et d'un limiteur. Ses sorties sont additionnées et la somme passe au limiteur final V_{STmin}/V_{STmax} .

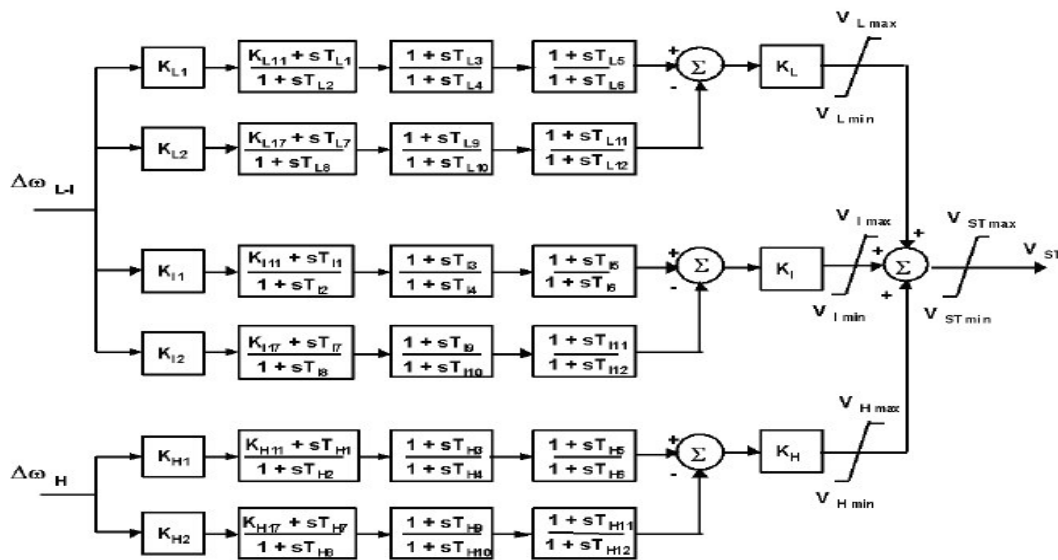


figure II.1.2 le modèle du type PSS4B[1]

Il y a 2 chemins pour mesurer la déviation de la vitesse rotorique. $\Delta\omega_{L-I}$ est pour Les bandes de la basse fréquence et/ou de la fréquence intermédiaire ; et $\Delta\omega_H$ est pour le band de la haut fréquence. Les modèles équivalents de ces deux capteurs de vitesse sont représentés dans la figure II.1.3.

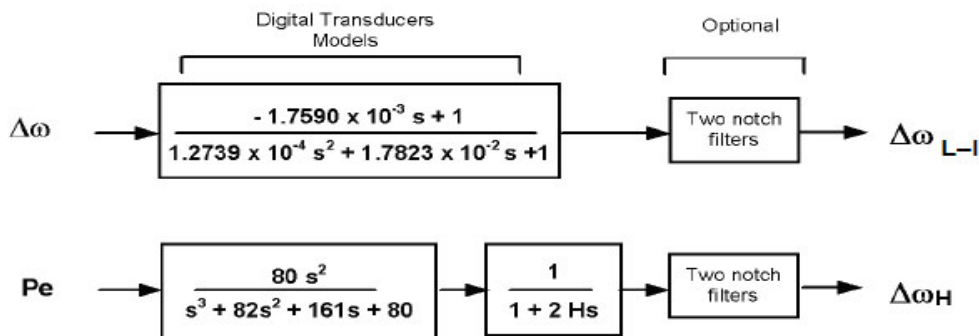


figure II.1.3. Les modèles équivalents des capteurs de vitesse[1]

Les filtres 'notch' sont utilisés pour modes de torsion de turbo-générateurs. ils sont définis par l'équation suivante[1] :

$$N_i(s) = \frac{s^2 + \omega_{ni}^2}{s^2 + B_{oi}s + \omega_{ni}^2} \quad (\text{II.1})$$

avec ω_{ni} la fréquence de filtre et B_{oi} son largeur de bande 3dB.

II.1.2 Principe de système d'excitation

Le système d'excitation est un dispositif qui commande le courant d'excitation afin que réguler la force électromotrice de générateur dans le réseau électrique. Pour notre réseau, on a besoins du modèle du système d'excitation en DC en raison de la requisition des générateurs synchrones. Le standard « IEEE Std 421.5™-2005 »[1] définit en total 4 types du système d'excitation en DC. Pour simplifier le modèle, on choisi le système d'excitation en type DC1A.

La figure II.1.4 représente le modèle du système d'excitation en type DC1A. Le signal d'entrée V_c est celui de la sortie qui viens du capteur de la tension d'excitation et de la sortie du PSS décrit précédemment. A la jonction de somme, on soustrait la tension d'excitation référence V_{REF} de V_c . La valeur de réaction V_F est soustrait et le signal de la sortie du PSS, V_s , est additionné pour produire l'erreur de la tension. Le résultat est amplifié dans le régulateur. T_A est le constant de temps principal et K_A est le gain. le bloc comprenant les constants de temps T_B et T_C sont utilisés comme les constants de temps inherents dans le régulateur de tension, cependant ces constants de temps, en général, sont très petits, on peut donc les négliger.

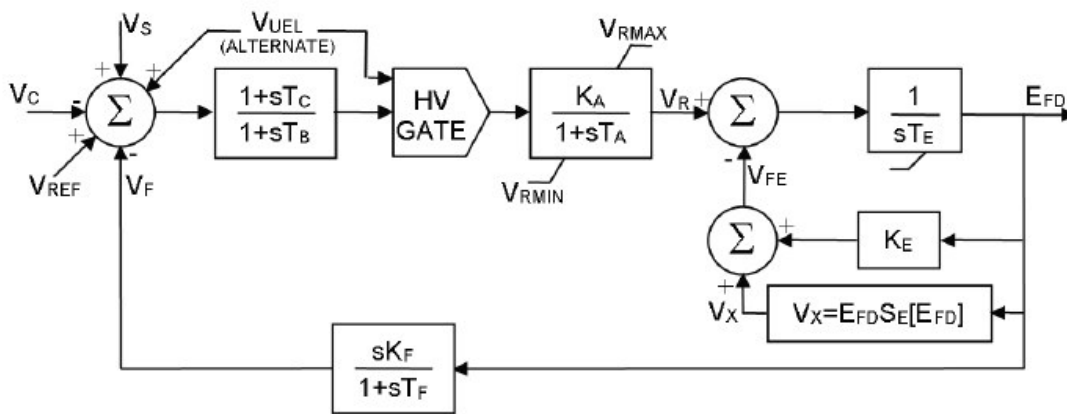


figure II.1.4 le modèle du système d'excitation en type DC1A [1]

La sortie du régulateur de tension V_R est utilisé pour commander l'excitateur. On impose K_E égale à 1 pour l'excitateur fonctionne en excitation séparée. Le terme $SE[E_{FD}]$ est une fonction non-linéaire pour éviter la saturation de l'excitateur. Pour simplifier le modèle, on supprime ce bloc. La fonction de transfert comprenant K_F et T_F est utilisée pour transférer la force électromotrice à la tension d'excitation qui compose un système de commande en boucle fermée.

II.2 Principe d'un réseau AC composant de multi-machines

La figure II.2.1 représente la structure d'un réseau AC composant de multi-machines. Ce réseau est composé globalement des 2 zones qui se connectent par une ligne de transmission 220km et par 2 lignes de transmission 110km en série. Dans chaque zone, il y a 2 générateurs synchrones triphasés commandés par l'AVR qui comprend 3 PSSs, 2 transformateurs triphasés, une charge triphasée, et un condensateur de compensation triphasée.

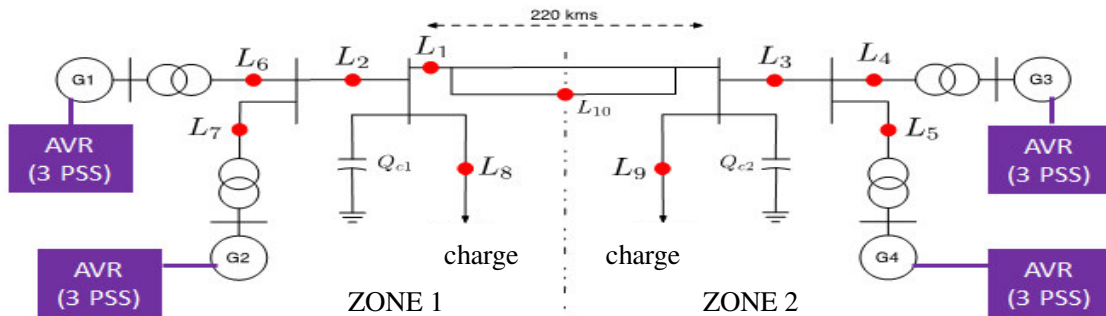


figure II.2.1 la structure d'un réseau AC composant de multi-machines

Le but de la modélisation de ce réseau est qu'on fera à l'avenir du travail de tests de la performance de stabilisateurs à différentes positions où les points rouges (L_1 - L_9) montrent dans la figure II.2.1. On analysera l'impact sur :

- le courant de court-circuit ;
- la stabilité du réseau ;
- la tension au noeud défaillant.

Donc pour mon stage, la mission de cette partie est que uniquement modéliser ce réseau sous le logiciel EMTP-RV et puis tester et déboguer le programme jusqu'à tant qu'il fonctionne bien.

II.3 Modélisation du réseau AC composant de multi-machines sous EMTP-RV

Dans cette partie, on représente la réalisation de chaque composant du modèle de ce réseau AC sous EMTP-RV, les paramètres de chaque composant sont montrés dans l'annex. L'introduction brève du logiciel EMTP-RV sont représentée dans l'annex D. La figure II.3.1 nous montre le schéma du modèle du réseau AC composant de multi-machines sous EMTP-RV selon la structure représentée par la figure II.2.1.

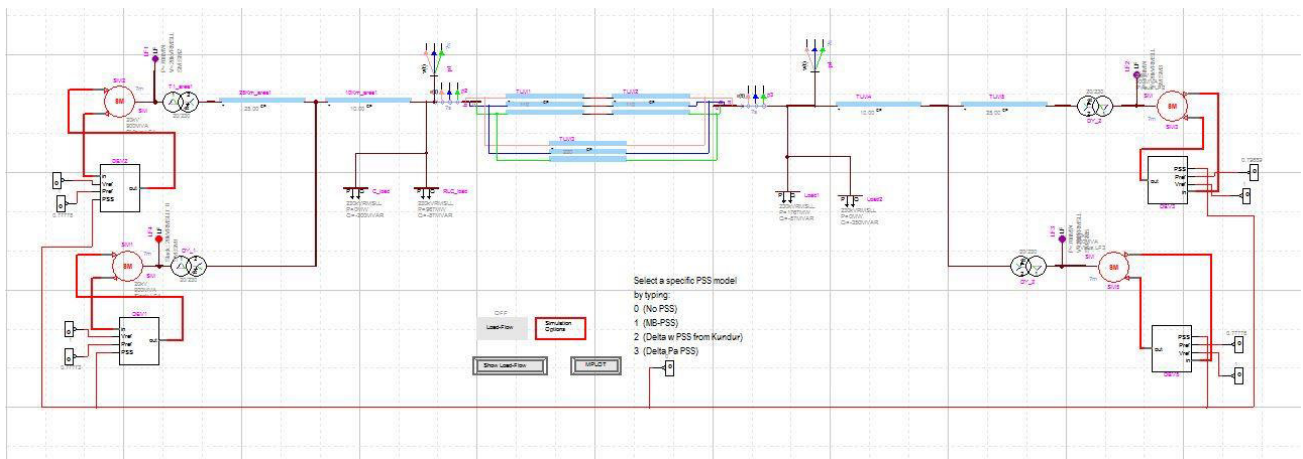


figure II.3.1 le modèle du réseau AC composant de multi-machines sous EMTP-RV

Chaque composant du modèle est représenté ci-dessous.

a) générateurs synchrones

Tous les 4 générateurs sont régulés par la puissance mécanique P_m et la tension d'excitation V_f qui sont les sorties de l'AVR. Les paramètres principales de ces 4 générqteurs synchrones sont les même sauf que les angles initiales des tensions de ligne, les angles électriques initiales, et les valeurs initiales de la tension d'excitation sont différentes et ces valeurs sont montrées dans l'annexe E-1. Les paramètres uniformes de générateurs synchrones sont également données dans l'annexe E-1.

Pour « Load Flow », le type de MS1 et de MS4 sont PV, la puissssance active est 700MW ; le type de MS3 est également PV, mais la puissssance active est 719MW ; le type de MS2 est swing.

b) AVR

La figure II.3.2 représente le modèle de l'AVR sous EMTP-RV. Il est composant de 3 PSSs de 2 types, d'un système d'excitation (DEV3 dans la figure II.3.2) et d'une turbine (ieeeg3 dans la figure II.3.2).

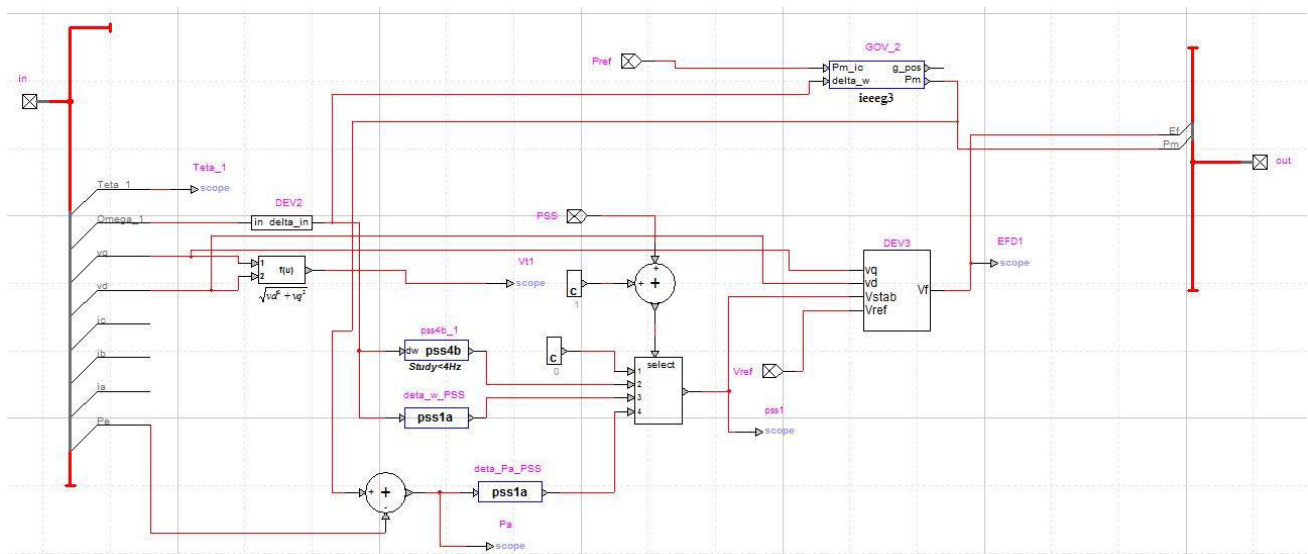
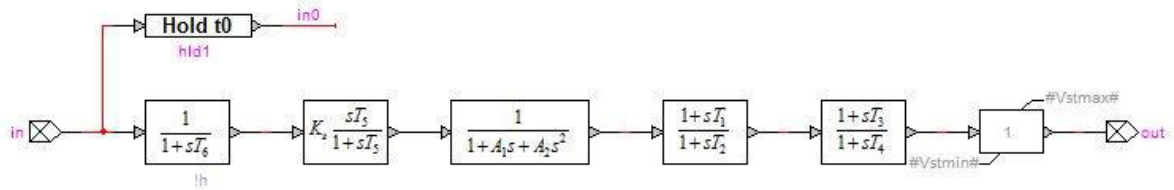


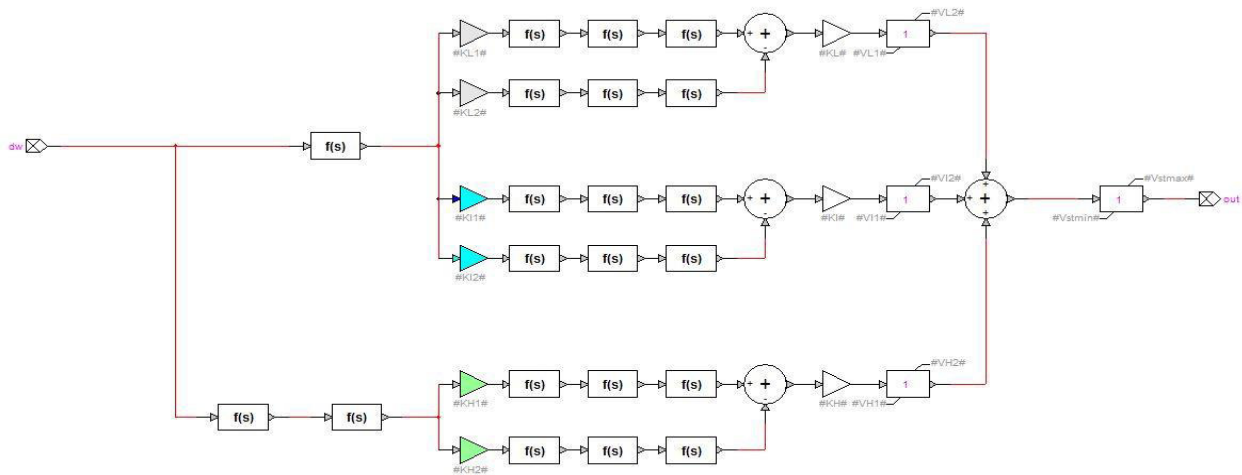
figure II.3.2 le modèle de l'AVR sous EMTP-RV

Les sorties de l'AVR sont la puissance mécanique de la turbine P_m et la tension d'excitation V_f qui sont connectée directement au générateur synchrone pour régulation et les entrées sont la vitesse rotorique Ω_r , les tensions de l'axe d et de l'axe q V_d , V_q , et la puissance électromagnétique P_e qui sont viennent des sorties du générateur synchrone. Donc l'AVR et le générateur synchrone compose un système de commande en boucle fermée.

On a testé les performance de PSS4B et PSS1A. Pour PSS1A, on a testé sa performance lorsque la variable d'entrée est différente, une est la déviation de la vitesse rotorique (dw), l'autre est la déviation de la puissance ($P_a = P_m - P_e$). Les modèles de ces 2 types de PSSs sous EMTP-RV sont représentés dans la figure II.3.3.



a. le modèle de PSS1A



b. le modèle de PSS4B

figure II.3.3 les modèles de 2 types de PSSs sous EMTP-RV

L'annex E-2 représente Les paramètres de PSS4B, de PSS1A dont entrée est la déviation de la vitesse rotorique dw , et dont entrée est la déviation de la puissance Pa .

c) Transformateur triphasé

Pour les transformateurs, la connexion de la première enroulement est le type 'Delta' ; la connexion de la secondaire enroulement est le type 'Yg'. Les paramètres de transformateur sont donnée dans l'annex E-3.

d) lignes de transmission

Dans chaque zone, les lignes de transmission (L_6, L_2, L_3, L_4 , marquées dans la figure II.2.1) sont les lignes de section PI triphasées. Les paramètres de lignes L_6, L_2, L_3, L_4 sont données par l'annex E-4. Les lignes de transmission (L_1, L_{10} marquées dans la figure II.2.1) qui connectent les deux zones sont les lignes de paramètres distribués triphasées. les paramètres de lignes L_1 et L_{10} sont données également par l'annex E-4.

e) charges et condensateurs de compensation

Les charges sont RLC triphasées en parallèles, la connexion est étoile-terre 'Y'. Les paramètres de 1^{ère} charge qui est dans la zone à gauche sont : la tension nominale entre phase V_n est 230kV ; la puissance active P est 967MW ; la puissance réactive inductive Q_L est 100MVAR ; la puissance réactive capacitive Q_c est -187MVAR. Pour l'autre charge qui est dans la zone à droite, la puissance active P est 1767MW, les paramètres restés sont les même avec ceux de la 1^{ère} charge.

Les condensateurs de compensation sont triphasés en parallèles, la connexion est également étoile-terre 'Y'. La puissance réactive capacitive Q_c de 1^{ère} condensateur qui est dans la zone à gauche est -200MVAR. l'autre est -350 MVAR.

II.4 Résultats du simulation et Conclusion

Le modèle peut fonctionner sous EMTP-RV, cependant les résultats ne sont pas bien correspond à la situation actuelle. Les raisons peut-être sont que le choix de type et/ou le paramétrage de la turbine, et/ou l'initialisation des générateurs synchrones car ces opérations sont différentes avec celles sous MATLAB/Simulink. Le modèle même peut fonctionner bien sous MATLAB/Simulink. Donc on présente les résultats correctes obtenues sous MATLAB/Simulink.

Avant tester le modèle du réseau, on a fait le calcul de Load Flow pour connaître les valeurs relatives aux tous les neuds de générateurs et la distribution de puissance. La méthode de calculs est choisi par Newton-Raphson, nombre d'itération est 6, La tableau II.4.1 représente les résultats de calculs de Load Flow.

	Block type	Bus type	Bus ID	Vbase (kV)	Vref (pu)	Vangle (deg)	P (MW)	Q (Mvar)	Qmin (Mvar)	Qmax (Mvar)	V_LF (pu)	Vangle_LF (deg)	P_LF (MW)	Q_LF (Mvar)	Block Name
1	RLC load	Z	B2	230.00	1	0.00	0.00	-350.00	-Inf	Inf	1.0028	-11.43	0.00	-351.95	-350MVAR
2	RLC load	Z	B2	230.00	1	0.00	1767.00	-87.00	-Inf	Inf	1.0028	-11.43	1776.86	-87.49	1767MW 100MVAR -187MVAR
3	RLC load	Z	B1	230.00	1	0.00	0.00	-200.00	-Inf	Inf	0.9916	15.06	0.00	-196.65	-200MVAR
4	RLC load	Z	B1	230.00	1	0.00	967.00	-87.00	-Inf	Inf	0.9916	15.06	950.81	-85.54	967MW 100MVAR -187MVAR
5	SM	PV	M1_Area1	20.00	1	0.00	700.00	0.00	-Inf	Inf	1	10.22	700.00	91.91	M1 900 MVA
6	SM	swing	M2_Area1	20.00	1	0.00	0.00	0.00	-Inf	Inf	1	0.00	699.92	117.70	M2 900 MVA
7	SM	PV	M3_Area2	20.00	1	0.00	719.00	0.00	-Inf	Inf	1	-15.88	719.00	82.25	M3 900 MVA
8	SM	PV	M1_Area2	20.00	1	0.00	700.00	0.00	-Inf	Inf	1	-26.53	700.00	82.68	M4 900 MVA
9	Bus	-	*1*	230.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9938	7.21	0.00	0.00	T3: 900MVA 20 kV-230 kV
10	Bus	-	*2*	230.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9918	33.48	0.00	0.00	T1: 900MVA 20 kV-230 kV
11	Bus	-	*3*	230.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9876	23.23	0.00	0.00	T2: 900MVA 20 kV-230 kV
12	Bus	-	*4*	230.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9931	-3.26	0.00	0.00	T4: 900MVA 20 kV-230 kV

tableau II.4.1 les résultats de calculs de Load Flow

LF1 signifie le neud de Load Flow du générateur GM1 ; LF2 signifie le neud du GM2 ; LF3 signifie le neud du GM3 ; LF4 signifie le neud du GM4.

La mission de ce stage est modélisation d'un réseau AC composant de multi-machines, donc on a simulé et testé la fonction de ce modèle du réseau, on n'a pas simulé la performance des PSSs en case de défauts occupés dans le réseau. Cette mission sera fait à l'avenir. Le temps de simulation est 100s en condition de non PSS et du PSS4B en série ; cependant il est modifié par 250s en condition du PSS1A d'entrée dw et du PSS1A d'entrée Pa car dans 100s, les générateurs ne peuvent pas atteindre à l'état stabilité. Le type de simulation du slover est choisi par 'phaser'. les variables clés en condition de non PSS et de chaque PSS en série sont montrées dans les figures de II.4.1 à II.4.3. La courbe jaune signifie celle du générateur GM1 ; la courbe violette signifie celle du générateur GM2 ; la courbe bleu signifie celle du générateur GM3 ; la courbe violette signifie celle du générateur GM2 ; la courbe rouge signifie celle du générateur GM4. Les autres résultats de simulation sont représentés dans l'annex F.

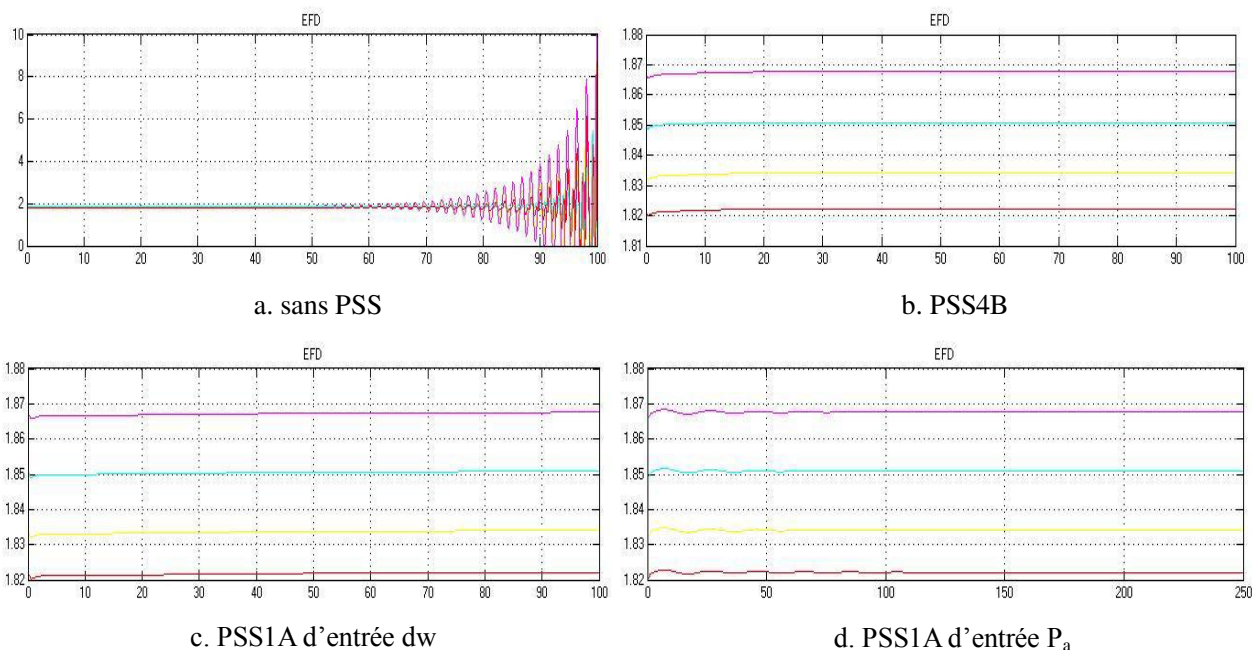


figure II.4.1 la tension d'excitation E_{fd} en condition de chaque PSS en série

La figure II.4.1.a nous montre que l'oscillation de la tension d'excitation E_{fd} est grande lorsqu'il y n'a pas le PSS en série dans le réseau, ainsi que il existe une tendance d'augmentation exponentielle de l'amplitude de E_{fd} . C'est-à-dire, le générateur est en état instabilité. La figure II.4.1.d nous montre qu'il existe encore de l'oscillation de basse fréquence quand le PSS1A d'entrée de la déviation de la puissance fonctionne en série dans le réseau dans environ 100s. Donc, par rapport des autres 2 PSSs, la capacité d'amortissement de l'oscillation de fréquence basse et intermédiaire est un peu faible. Par rapport du PSS1A d'entrée dw, Le PSS4B laisse la courbe de E_{fd} plus glisser en état stabilité. C'est-à-dire, pour la sabilisation de E_{fd} , la performance de PSS4B est le meilleur.

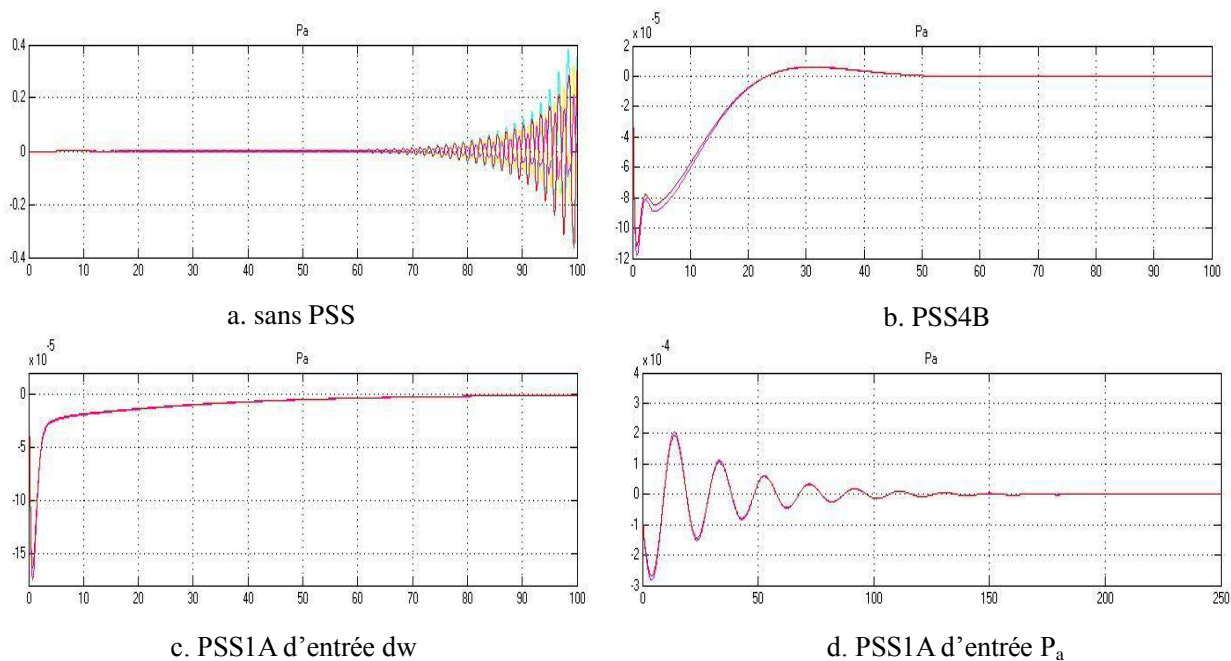


figure II.4.2 la déviation de puissance P_a en condition de chaque PSS en série

Pour la déviation de puissance P_a du générateur, le constant de temps est le plus court (environ 40s) en condition de fonctionnement du PSS4B, et le plus longue (environ 140s) en condition de fonctionnement du PSS1A d'entrée de la déviation de la puissance. En comparant la performance de PSS4B et PSS1A d'entrée de la déviation de la vitesse dw , il n'apparaît pas déplacement en utilisant PSS1A d'entrée de dw , cependant en régime transitoire, le PSS4B possède la capacité plus forte d'amortissement d'oscillation de la fréquence intermédiaire et haut car la figure II.4.2.b nous montre que la partie des courbes ascendante est plus glissée.

La figure II.4.2.d nous montre que la capacité d'amortissement de l'oscillation de la fréquence intermédiaire et haut est le plus faible pour le PSS1A d'entrée de la déviation de la puissance P_a . Cependant, il possède l'avantage que l'amplitude maximale d'oscillation de P_a est le plus petit car son l'entrée est la déviation de la puissance ($P_a = P_m - P_e$), pour le système de commande en boucle fermée (PSS1A d'entrée P_a), il peut limiter bien la déviation entre la variable d'entrée et la variable de réaction.

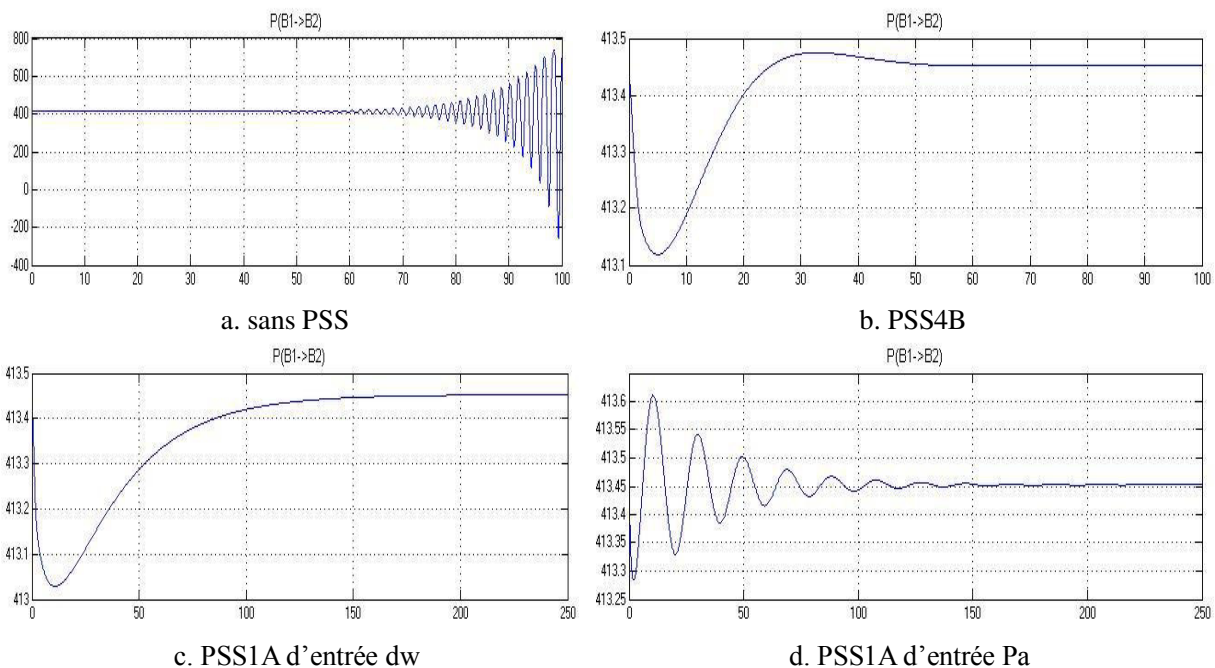


figure II.4.3 la puissance de transfert de la zone 1 à la zone 2 en condition de chaque PSS en série

En régime permanent, la zone 1 transfère la puissance active à la zone 2 par 413,45MW, si il n'exsiste pas le PSS, l'amplitude de cette puissance active augmente beaucoup et très rapide. L'amplitude atteint environ 800MW (193% de 413,45MW montré par la figure II.4.3.a). C'est très dangereux pour le réseau. Pour cette puissance de transfert, les amplitudes maximales d'oscillation de ces 3 PSSs sont les mêmes en régime transitoire.

En bref, la performance de PSS4B est le meilleur. Il possède la forte capacité d'amortissement d'oscillation dans les bandes de basse fréquence, de fréquence intermédiaire, et de haut fréquence, ainsi que la réponse de fonctionnement est le plus rapide. La capacité d'amortissement d'oscillation dans les bandes de fréquence intermédiaire, et de haut fréquence de PSS1A d'entrée de la déviation de la puissance P_a est le plus faible, ainsi que le temps de réponse est le plus longue, mais ses avantages sont que l'amplitude maximale d'oscillation de P_a est le plus petite et qu'il est le plus facile de mesure de la puissance qui est comme son l'entrée par rapport des autres 2 PSSs.

III. Conclusion et Perspective

Après les mesures de caractéristiques de différents échantillons supraconducteurs en DC et les mesures de pertes en AC, on a décidé que la sélection préliminaire du matériau du stabilisateur supraconducteur est l'échantillon N°10 Di-BSCCO ACT fabriqué par SUMITOMO selon son courant critique adapté, ses pertes plus faibles, et ses bonnes qualités mécaniques.

Pour la deuxième partie, sur la base d'études des principes de 3 types de PSSs, du principe de fonctionnement de AVR, et du logiciel de simulation EMTP-RV, on a modélisé un réseau AC composant de multi-machines sous EMTP-RV et sous MATLAB/Simulink. On a réussi la simulation sous MATLAB/Simulink et analysé les résultats obtenus. A la fin, on a comparé la performance des 3 PSSs dans ce réseau.

La performance de PSS4B est la meilleure. Il possède la forte capacité d'amortissement d'oscillation dans les bandes de basse fréquence, de fréquence intermédiaire, et de haute fréquence, ainsi que la réponse de fonctionnement est la plus rapide. La capacité d'amortissement d'oscillation dans les bandes de fréquence intermédiaire, et de haute fréquence de PSS1A d'entrée de la déviation de la puissance est la plus faible, ainsi que le temps de réponse est le plus long, mais ses avantages sont que l'amplitude maximale d'oscillation de la déviation de puissance est la plus petite et qu'il est le plus facile de mesurer la puissance qui est comme son l'entrée par rapport aux autres 2 PSSs.

Cependant, il reste certains travaux d'études pour approfondir et accomplir bien ce sujet. Pour la première partie, l'échantillon devra être remesuré et comparé en DC et en AC en forme terminale de la structure du stabilisateur supraconducteur HTC, en même temps, il faudra reconsidérer et comparer les qualités mécaniques de ces échantillons. Car pour un échantillon supraconducteur HTC, la forme dont elle compose influence grandement ses caractéristiques électriques et ses qualités mécaniques selon les résultats représentés dans ce rapport.

Par ailleurs, les mesures dans ce rapport sont faites lorsque les échantillons sont dans le champ magnétique propre. Donc il faudra refaire les mêmes mesures en condition du champ magnétique externe, par exemple, on peut approcher les aimants permanents de l'échantillon supraconducteur, et puis on refait les mêmes mesures dans cette condition pour comparer les caractéristiques électriques des échantillons supraconducteurs.

Pour la deuxième partie, il faut continuer rajuster les paramétrages et réguler le système afin qu'on peut obtenir les résultats corrects sous EMTP-RV dans un premier temps. Ensuite, on créera les défauts dans le réseau, par exemple court-circuit triphasé, pour tester la performance des PSSs et étudier plus profondément de ces 3 types de PSSs. A la fin, on modélisera le réseau DC composant de multi-machines pour tester la performance de notre stabilisateur supraconducteur HTC.

Bibliographie

- [1] Development and Power Generation Committee. -« IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies ». - IEEE Std 421.5™-2005, 2006, p 6-9, p21-25.
- [2] HAMMER (A.). -« Analysis of IEEE Power System Stabilizer Models ». - mémoire de Master, Université norvégienne de sciences et de technologie, Trondheim Norvège, 2011. - 110 p.
- [3] SUMINA (D.) et. al. -« Stabilization of the Electromechanical Oscillations of Synchronous Generator ». - Strojarstvo, 53, (3), 2011, p 209-219.
- [4] ALKHATIB (H.). -« Etude De La Stabilité Aux Petites Perturbations Dans Les Grands Réseaux Electriques :Optimisation De La Régulation Par Une Méthode Metaheuristique ». - thèse de doctorat, Université Paul Cézanne D'Aix-Marseille, Marseille France, 2009, -205 p.
- [5] LIN (Y.) et. al. -« Study of Superconducting Fault Current Limiters for System Integration of Wind Farms ». - IEEE Transactions On Applied Superconductivity, 20, (3), 2010, p 1233-1237.
- [6] MORANDI (A.) et. al. -« Design of a DC Resistive SFCL for Application to the 20 kV Distribution System ». - IEEE Transactions On Applied Superconductivity, 20, (3), 2010, p 1122-1126.
- [7] BYUNG (C.S.) et. al.-« Study on Optimal Location of a Resistive SFCL Applied to an Electric Power Grid ». - IEEE Transactions On Applied Superconductivity, 19, (3), 2009, p 2048-2052.
- [8] JING (S.) et. al. -« Active superconducting DC fault current limiter based on flux compensation ». - Physica C, 442, 2006, p 108-112.
- [9] KRAEMER (H.P.) et. al. -« Test of a 1 kA Superconducting Fault Current Limiter for DC Applications ». - IEEE Transactions On Applied Superconductivity, 15, (2), 2005, p 1986-1989.
- [10] DOUINE (B.). -« Etude des pertes dans les supraconducteurs à haute température critique ». - thèse de doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, Nancy France, 2001, -142 p.
- [11] CAN SUPERCONDUCTORS. -« Superconducting Current Leads ». - document technique, -3 p.
- [12] ANSWERS FOR ENERGY. -« Dynamic Models Package standard-1 ». - SIEMENS, 2012, - p 74-75.

Annexes

Annexe A Les résultats de mesures de caractéristiques en DC des rubans supraconducteurs

Echantillon N°1 : GdBCO (réf n° de produit : HLB04150)

Paramètres :

fabricant : SUNAM (Corée du Sud) ;

largeur : 4mm ;

épaisseur : 0,2mm ;

section $S=0,8 \text{ mm}^2$;

description : laiton laminage ;

$I_{c_mesuré}=174\text{A}$;

$I_{c_doc.technique} \geq 150\text{A}$; (doc.tech : <http://www.i-sunam.com/>)



Echantillon N°2 : YBCO

Paramètres :

fabricant : SUPEROX (Russie) ;

largeur : 4mm ;

épaisseur : 0,2mm ;

section $S=0,8 \text{ mm}^2$;

$I_{c_mesuré}=118\text{A}$;

$I_{c_doc.technique} \geq 100\text{A}$; (doc.tech : <http://www.superox.ru/en/products/42-2G-HTS-tape/>)



Echantillon N°3 : YBCO

Paramètres :

fabricant : FUJIKURA (Japon) ;

largeur : 5mm ;

épaisseur : 0,16mm ;

section $S=0,8 \text{ mm}^2$;

$I_{c_mesuré}=279,8\text{A}$;

$I_{c_doc.technique} \geq 250\text{A}$;

(doc.tech : <http://www.fujikura.co.jp/eng/products/new/superconductor/nd1003.html>)



Echantillon N°4 : YBCO SCS4050

Paramètres :

fabricant : SUPERPOWER (USA) ;

largeur : 4mm ;

épaisseur : 0,1mm ;

section $S=0,4 \text{ mm}^2$;

$I_{c_mesuré}=145\text{A}$;

$I_{c_doc.technique} \geq 80\text{A}$;

(doc.tech:http://www.superpower-inc.com/system/files/SP_2G+Wire+Spec+Sheet_for+web_2012FEC_v1.pdf)



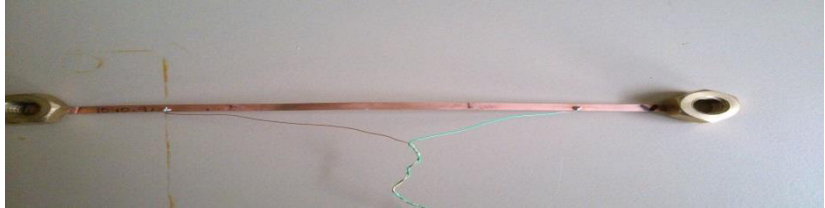
Echantillon N°5 : YBCO SCS4050

Paramètres :

fabricant : SUPERPOWER (USA) ;

largeur : 4mm ;

épaisseur : 0,1mm ;

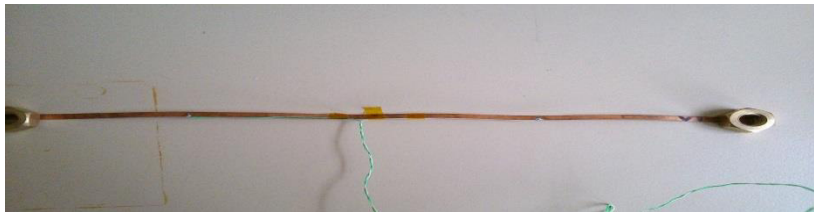
section $S=0,4 \text{ mm}^2$; $I_{c_mesuré}=105 \text{ A}$; $I_{c_doc.technique} \geq 80 \text{ A}$;(doc.tech:http://www.superpower-inc.com/system/files/SP_2G+Wire+Spec+Sheet_for+web_2012FEC_v1.pdf)**Echantillon N°6 : YBCO SCS4050**

Paramètres :

fabricant : SUPERPOWER (USA) ;

largeur : 4.28mm ;

épaisseur : 0,14mm ;

section $S=0,599 \text{ mm}^2$; $I_{c_mesuré}=91 \text{ A}$; $I_{c_doc.technique} \geq 80 \text{ A}$;(doc.tech:http://www.superpower-inc.com/system/files/SP_2G+Wire+Spec+Sheet_for+web_2012FEC_v1.pdf)**Echantillon N°7 : Di-BSCCO type ACT**

Paramètres :

fabricant : SUMITOMO (Japon) ;

largeur : 2.8mm ;

épaisseur : 0,3mm ;

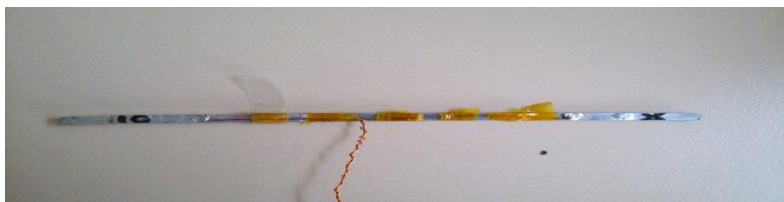
section $S=0,84 \text{ mm}^2$; $I_{c_mesuré}=70 \text{ A}$; $I_{c_doc.technique}$ =entre 60 et 70A ;(doc.tech: http://global-sei.com/super/hts_e/type_ac.html)**Echantillon N°10 : Di-BSCCO type HT**

Paramètres :

fabricant : SUMITOMO (Japon) ;

largeur : 4.48mm ;

épaisseur : 0,32mm ;

section $S=1.4336 \text{ mm}^2$; $I_{c_mesuré}=167 \text{ A}$; $I_{c_doc.technique}=170 \text{ A}$;(doc.tech: http://global-sei.com/super/hts_e/type_ht.html)

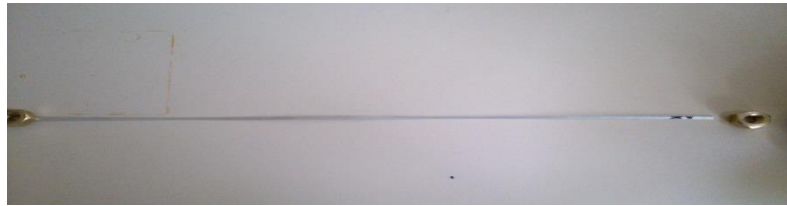
Echantillon N°11 : Di-BSCCO type ACT

Paramètres :

fabricant : SUMITOMO (Japon) ;

largeur : 2.97mm ;

épaisseur : 0,3mm ;

section $S=0.891\text{mm}^2$; $I_{c_mesuré}=67\text{A}$; $I_{c_doc.technique}=70\text{A}$;(doc.tech: http://global-sei.com/super/hts_e/type_ac.html)**Echantillon N°12 : Di-BSCCO type ACT**

Paramètres :

fabricant : SUMITOMO (Japon) ;

largeur : 2.81mm ;

épaisseur : 0,31mm ;

section $S=0.8711\text{mm}^2$; $I_{c_mesuré}=70\text{A}$; $I_{c_doc.technique}=70\text{A}$;(doc.tech: http://global-sei.com/super/hts_e/type_ac.html)**Echantillon N°13 : YBCO SF4050 (sans cuivre)**

Paramètres :

fabricant : SUPERPOWER (USA) ;

largeur : 3.97mm ;

épaisseur : 0,055mm ;

section $S=0,218\text{mm}^2$; $I_{c_mesuré}=73\text{A}$; $I_{c_doc.technique} \geq 80\text{A}$;(doc.tech:http://www.superpower-inc.com/system/files/SP_2G+Wire+Spec+Sheet_for+web_2012FEC_v1.pdf)**Echantillon N°14 : YBCO SF4050 (sans cuivre)**

Paramètres :

fabricant : SUPERPOWER (USA) ;

largeur : 4.01mm ;

épaisseur : 0,055mm ;

section $S=0,22\text{mm}^2$; $I_{c_mesuré}=56\text{A}$; $I_{c_doc.technique} \geq 80\text{A}$;(doc.tech:http://www.superpower-inc.com/system/files/SP_2G+Wire+Spec+Sheet_for+web_2012FEC_v1.pdf)

Echantillon N°15 : YBCO SF4050 (sans cuivre)

Paramètres :

fabricant : SUPERPOWER (USA) ;

largeur : 4.08mm ;

épaisseur : 0,055mm ;

section $S=0,224\text{mm}^2$;

$I_{c_mesuré}=72\text{A}$;

$I_{c_doc.technique} \geq 80\text{A}$;

(doc.tech:http://www.superpower-inc.com/system/files/SP_2G+Wire+Spec+Sheet_for+web_2012FEC_v1.pdf)



Les résultats de mesures de caractéristiques en DC des rubans supraconducteurs sont représentés dans la figure A.1 et la figure A.2.

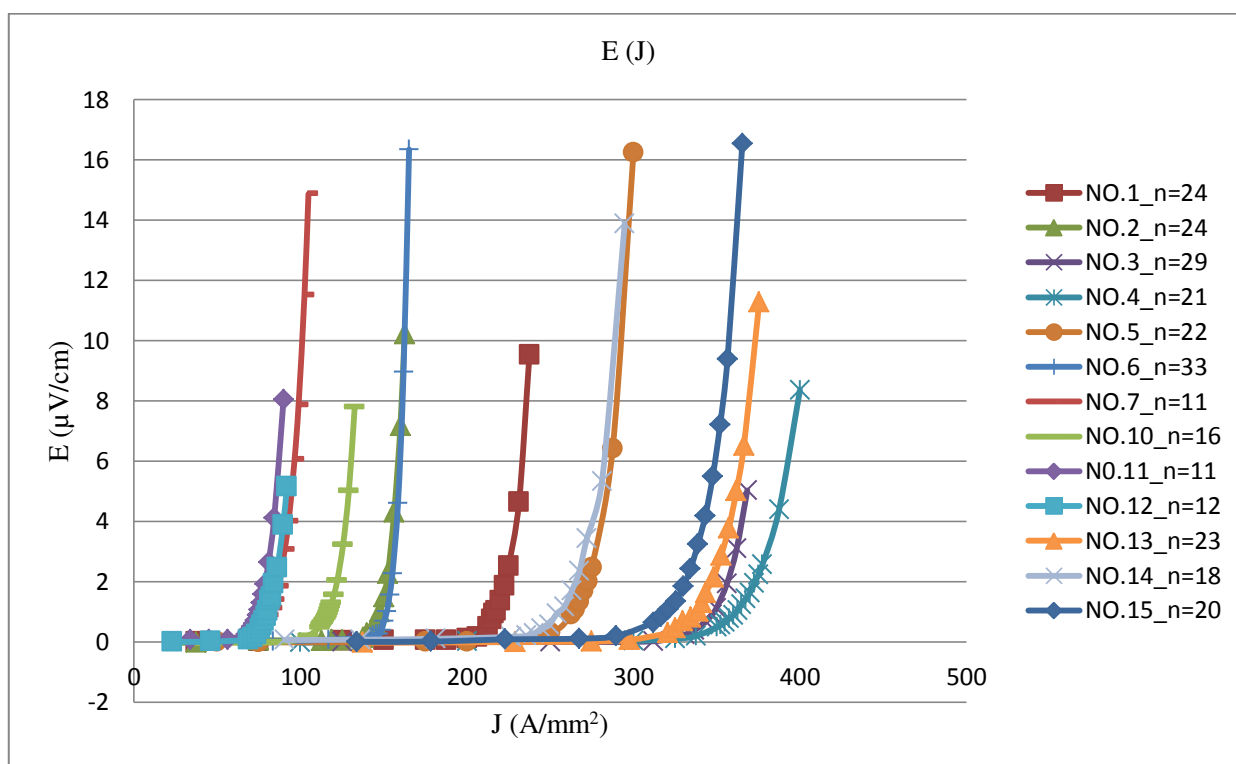


figure A.1 le champ électrique E en fonction de la densité de courant J des rubans supraconducteurs HTC

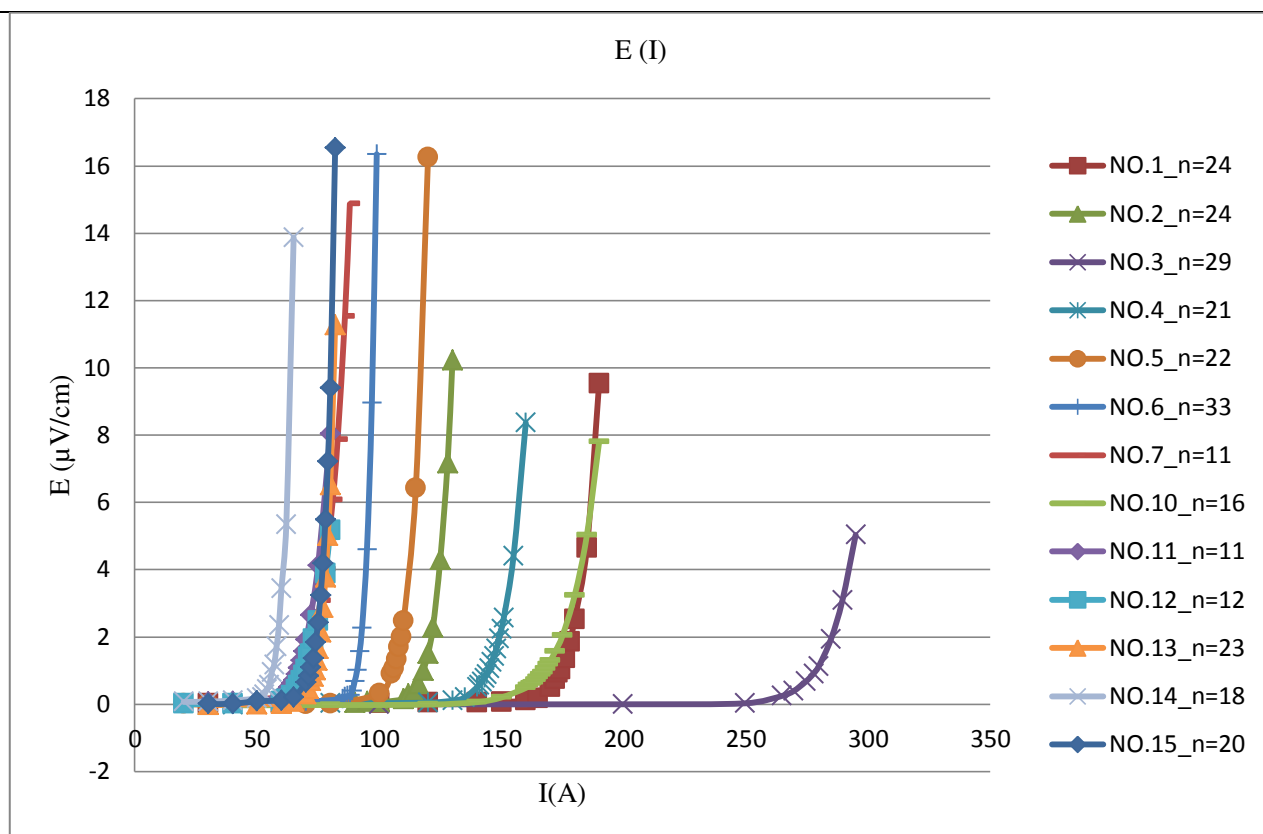
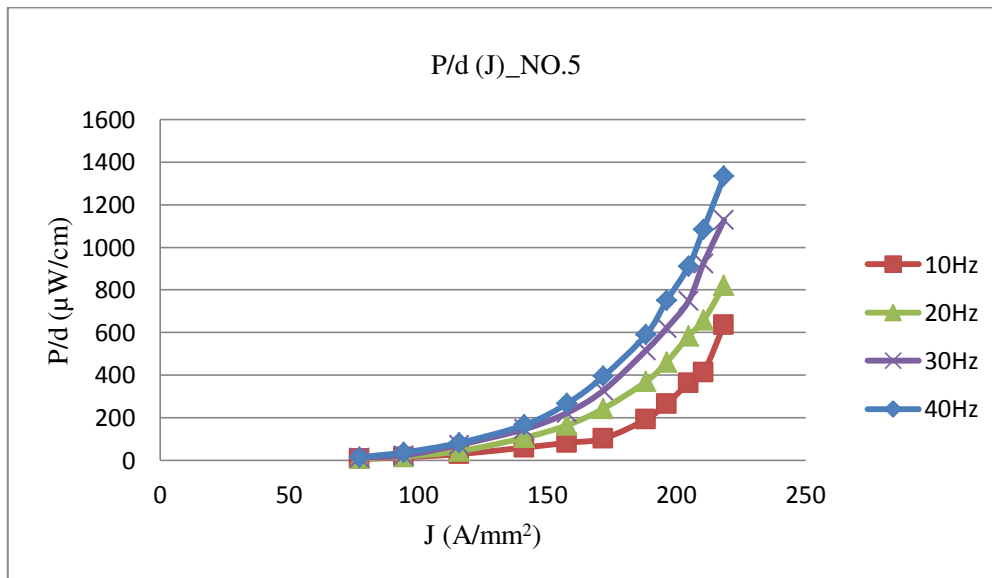
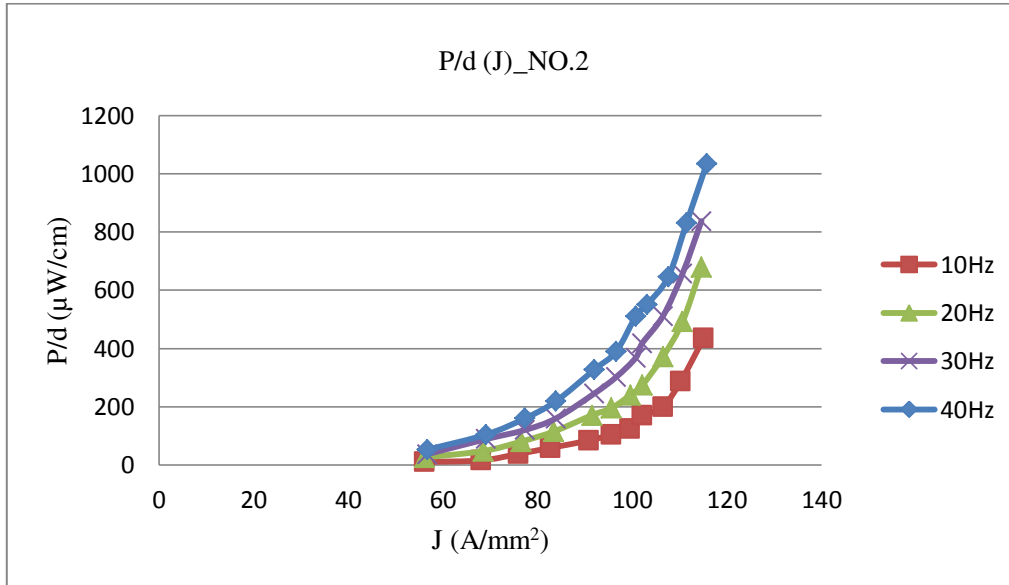
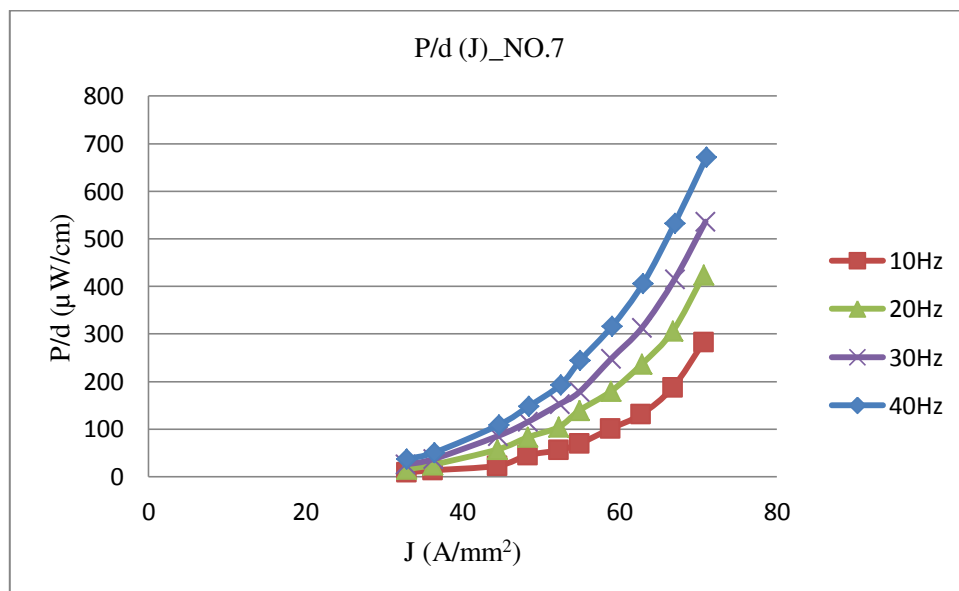
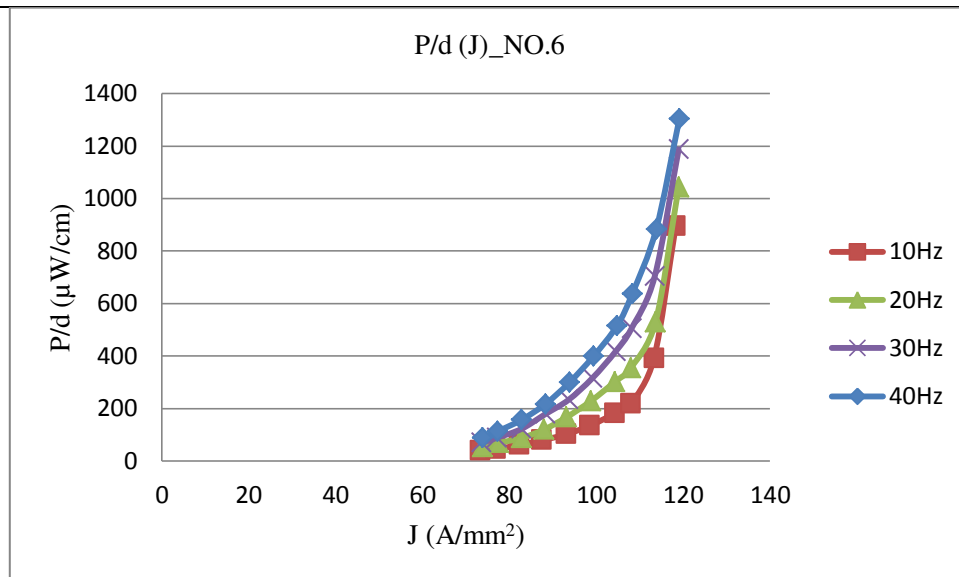
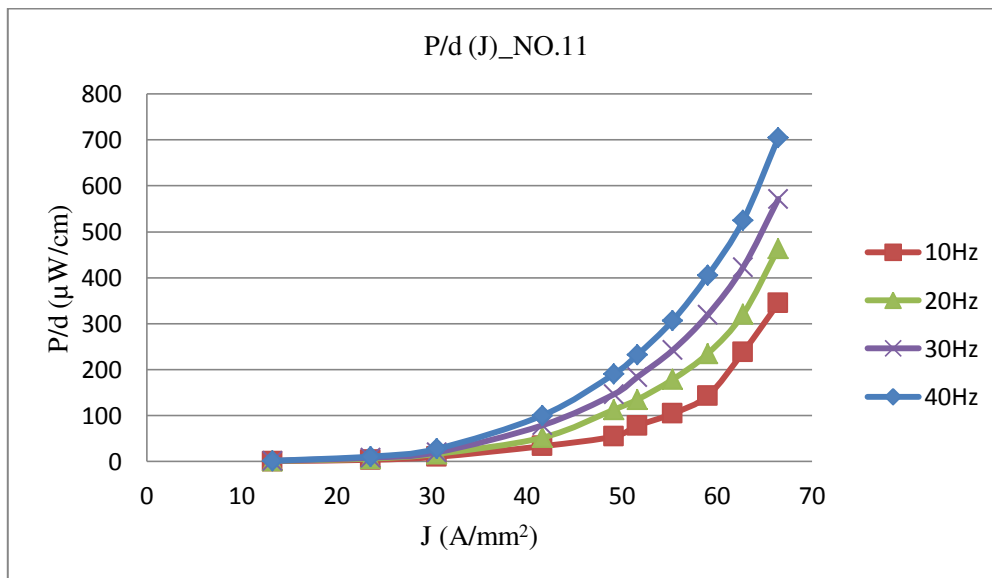
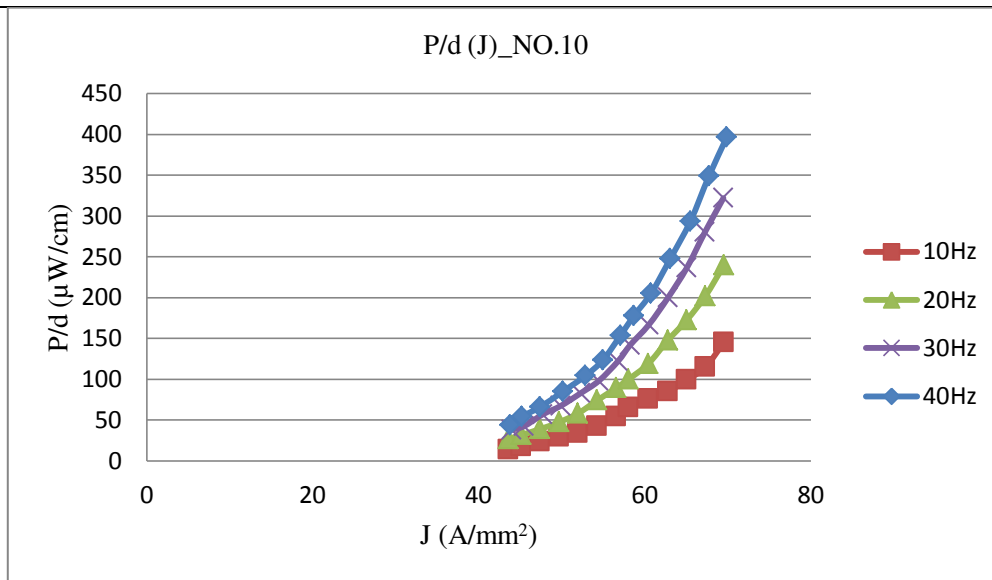


figure A.2 le champ électrique E en fonction du courant I des rubans supraconducteurs HTC

Annexe B Les résultats de mesures de pertes en AC des rubans supraconducteurs







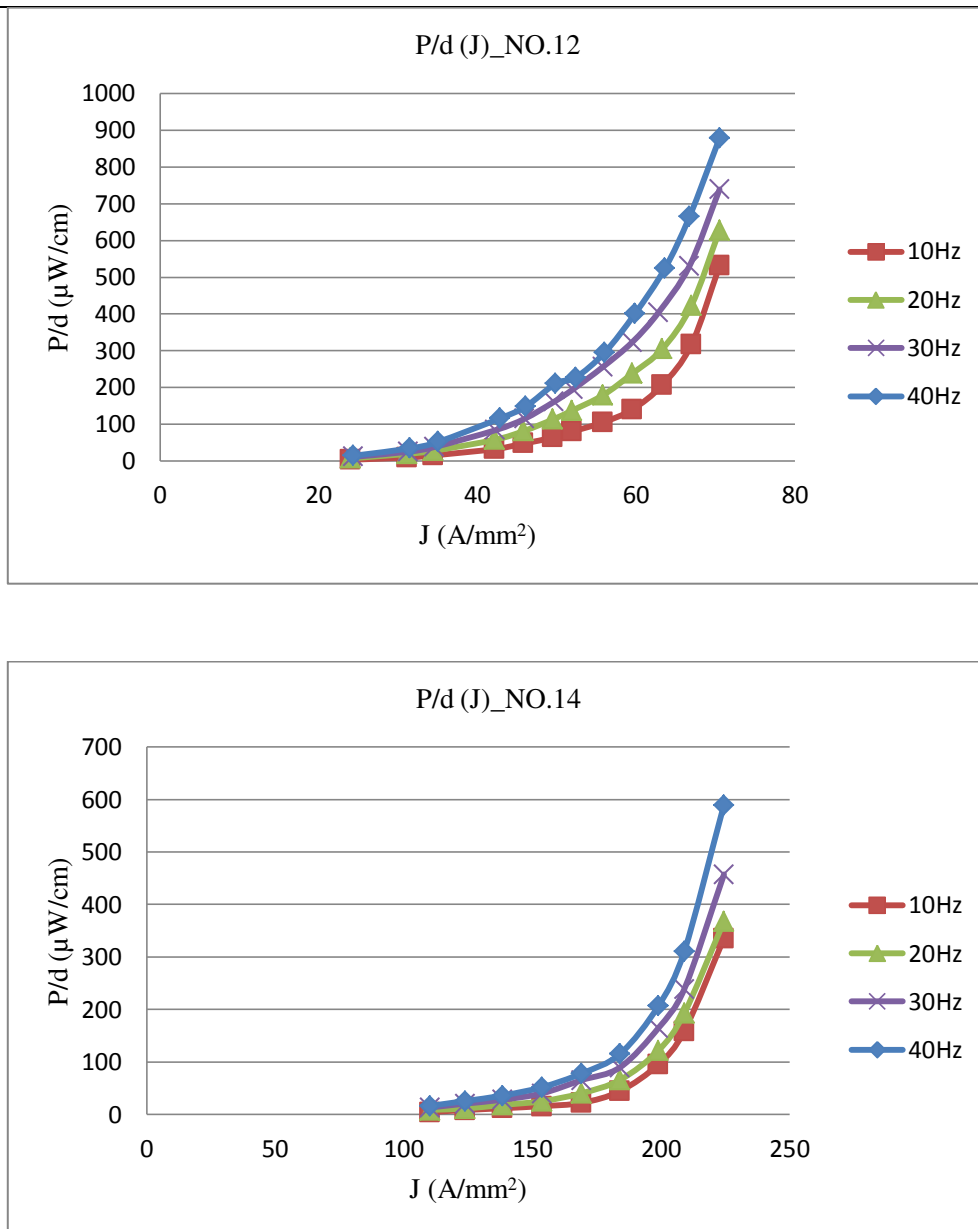
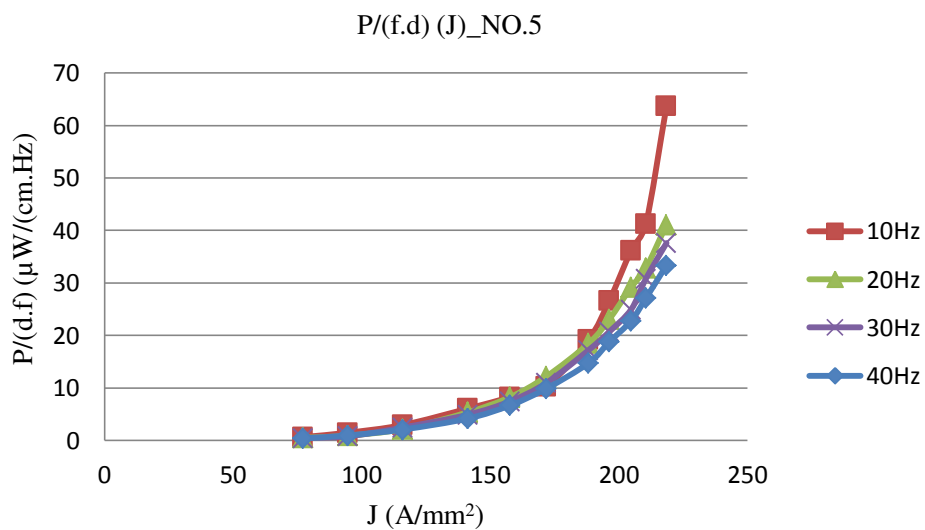
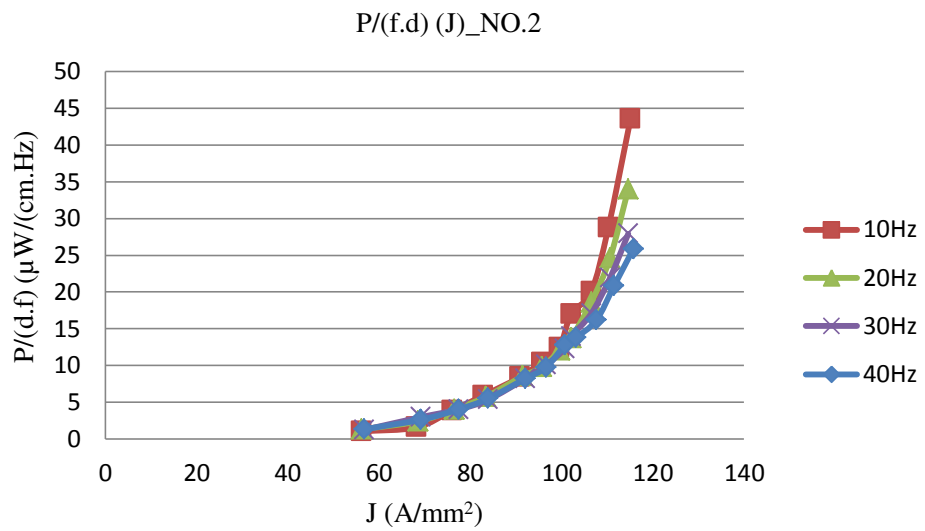
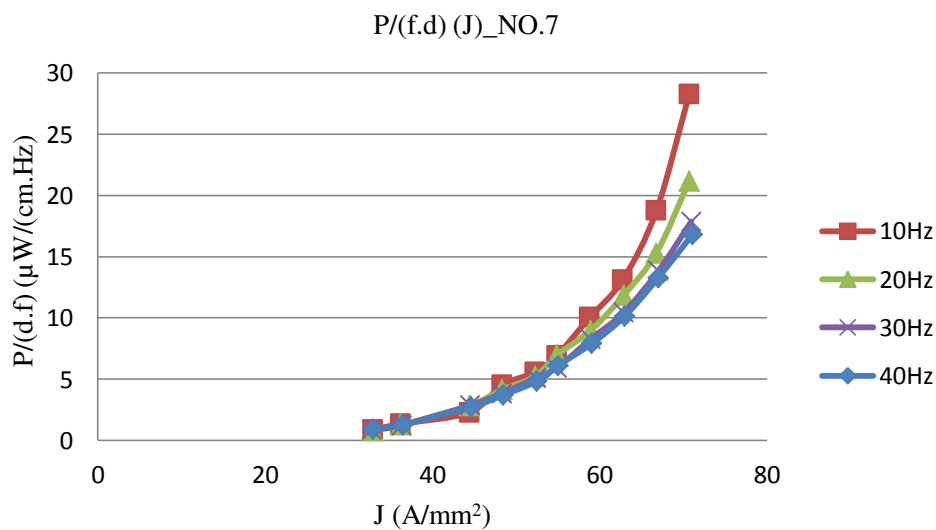
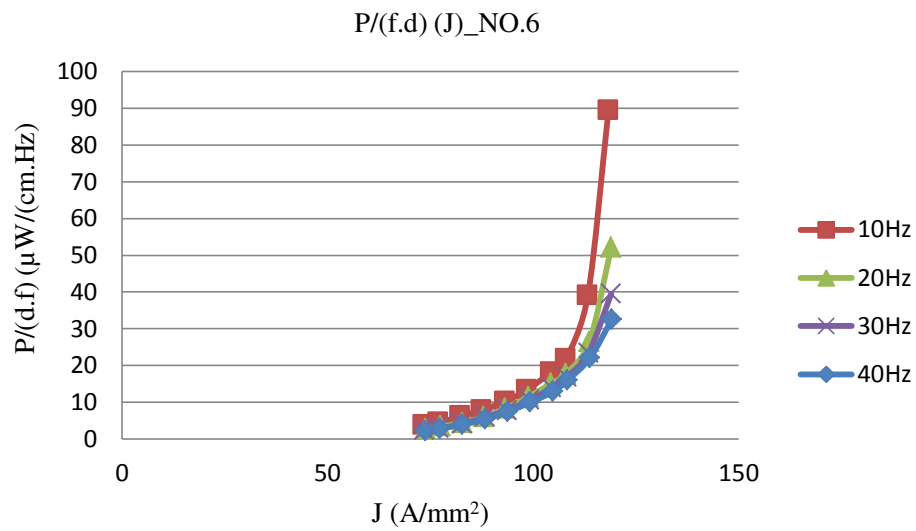


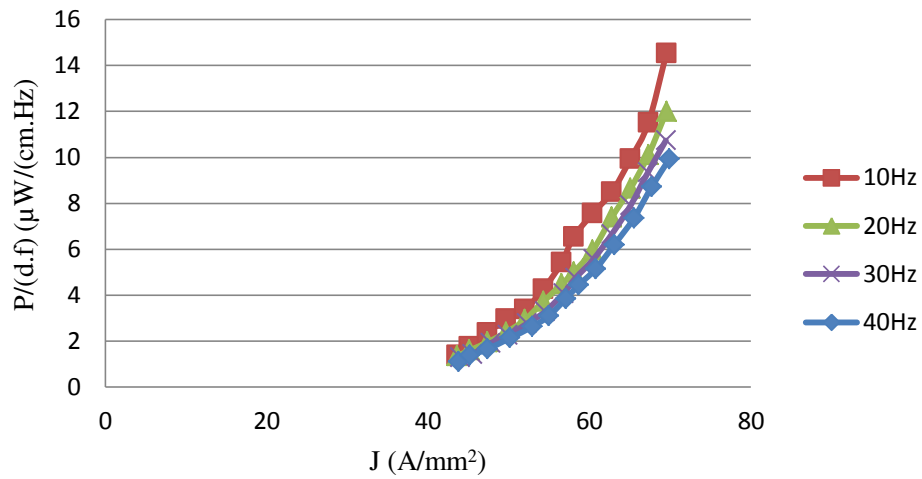
figure B.1 les pertes par longueur unitaire P/d en fonction de la densité de courant J



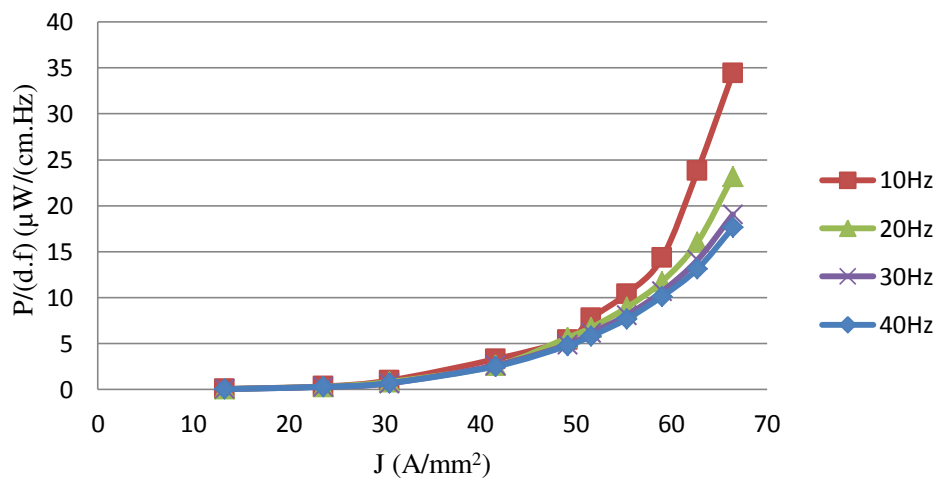




P/(f.d) (J)_NO.10



P/(f.d) (J)_NO.11



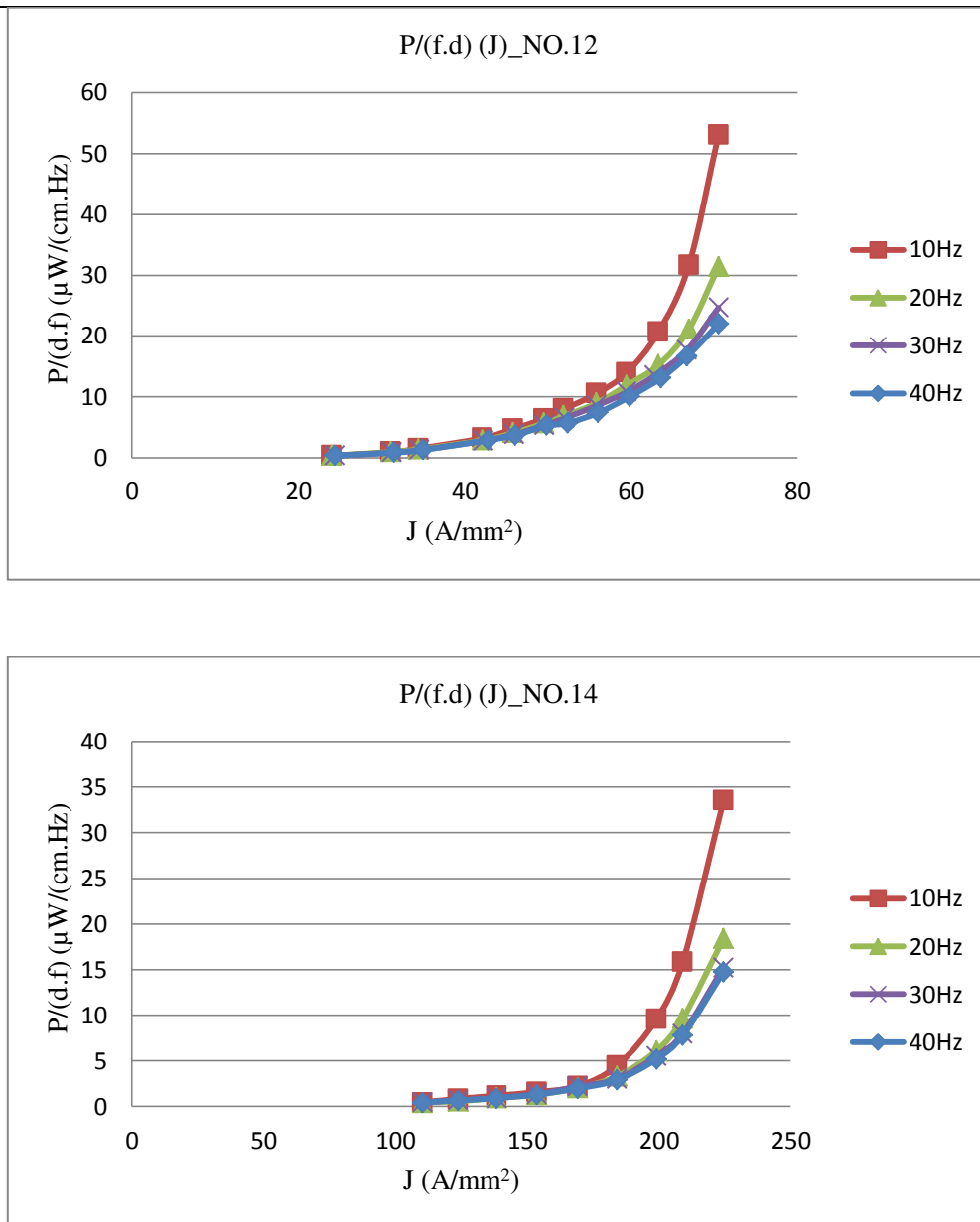
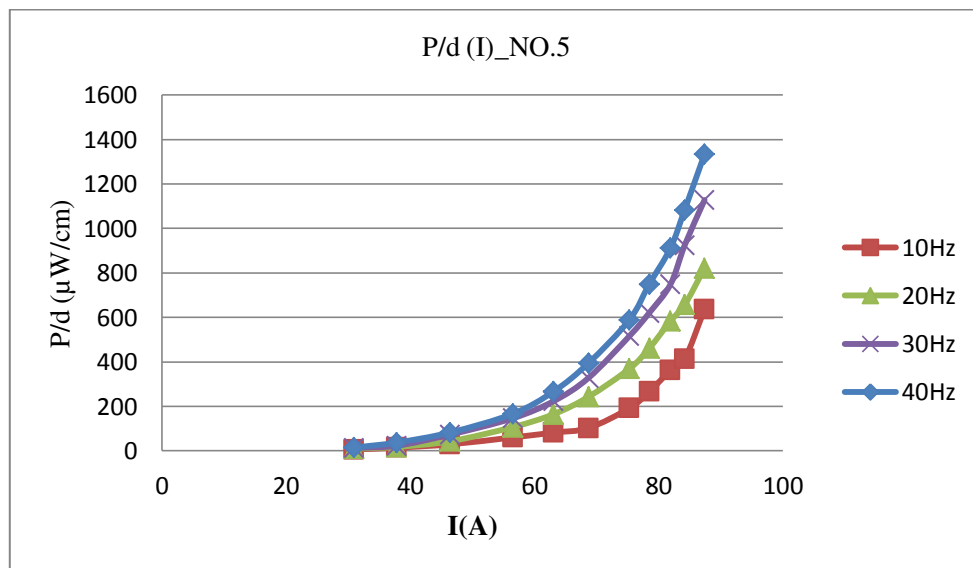
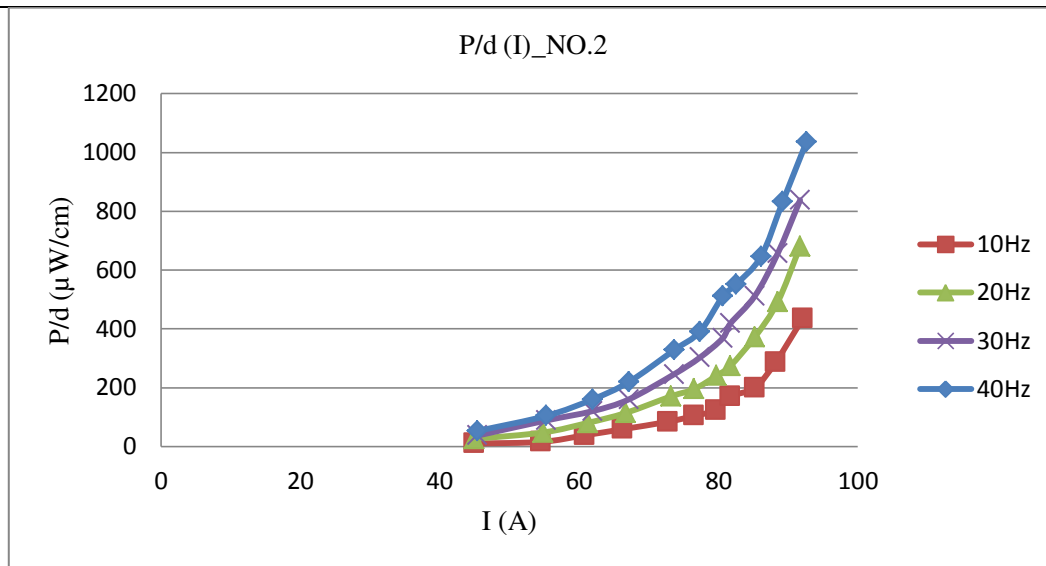
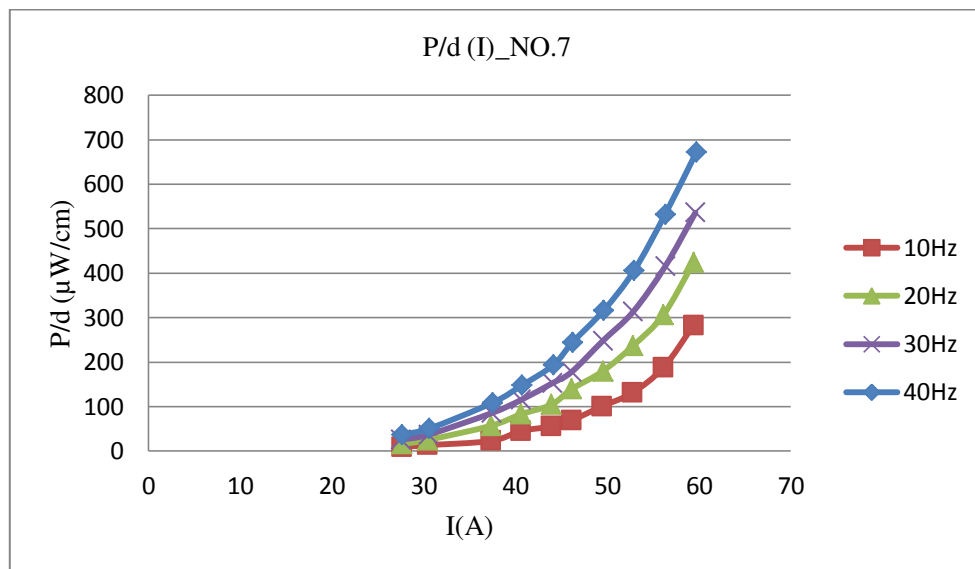
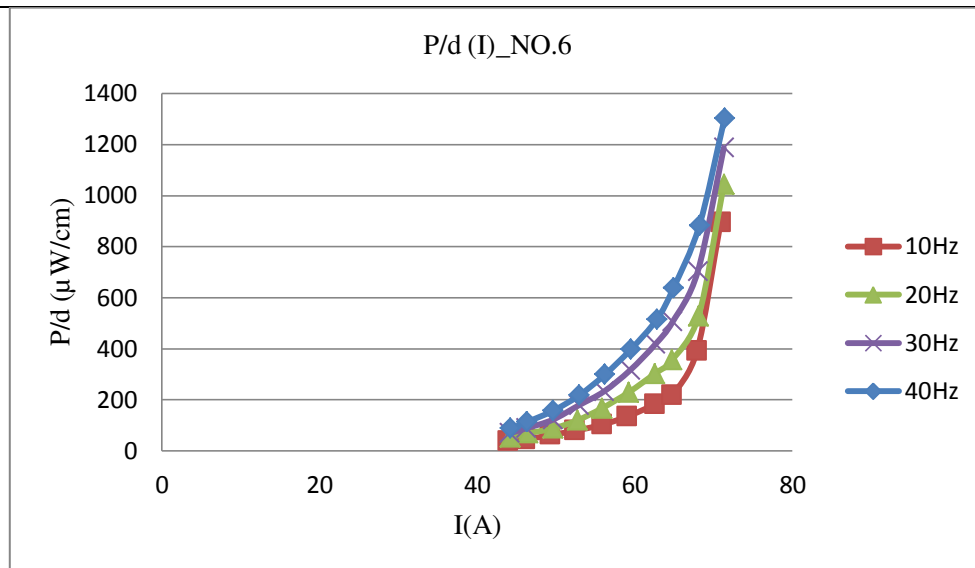
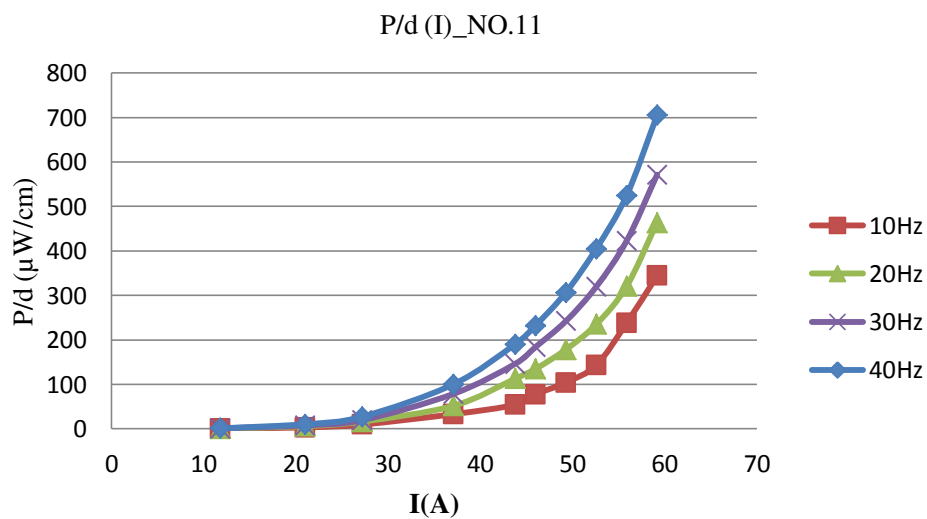
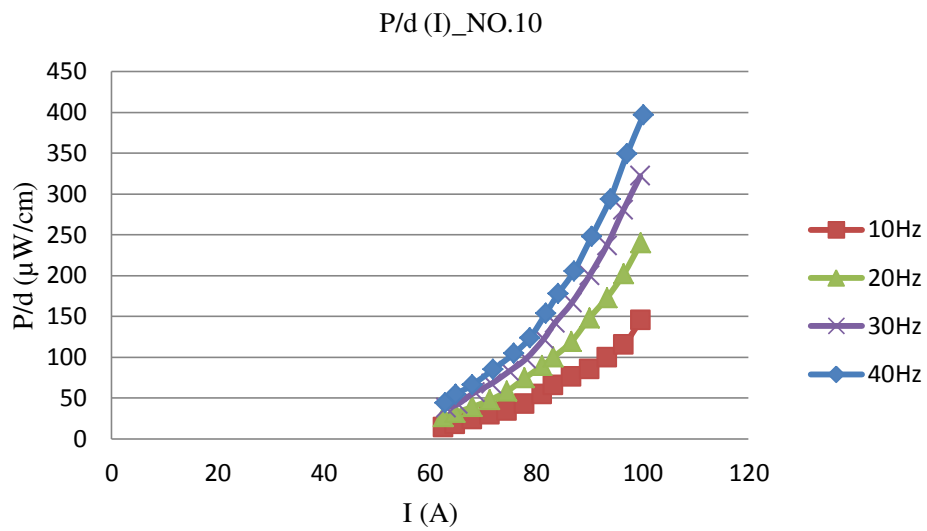


figure B.2 les pertes par longueur par fréquence unitaire $P/(f.d)$ en fonction de la densité de courant J







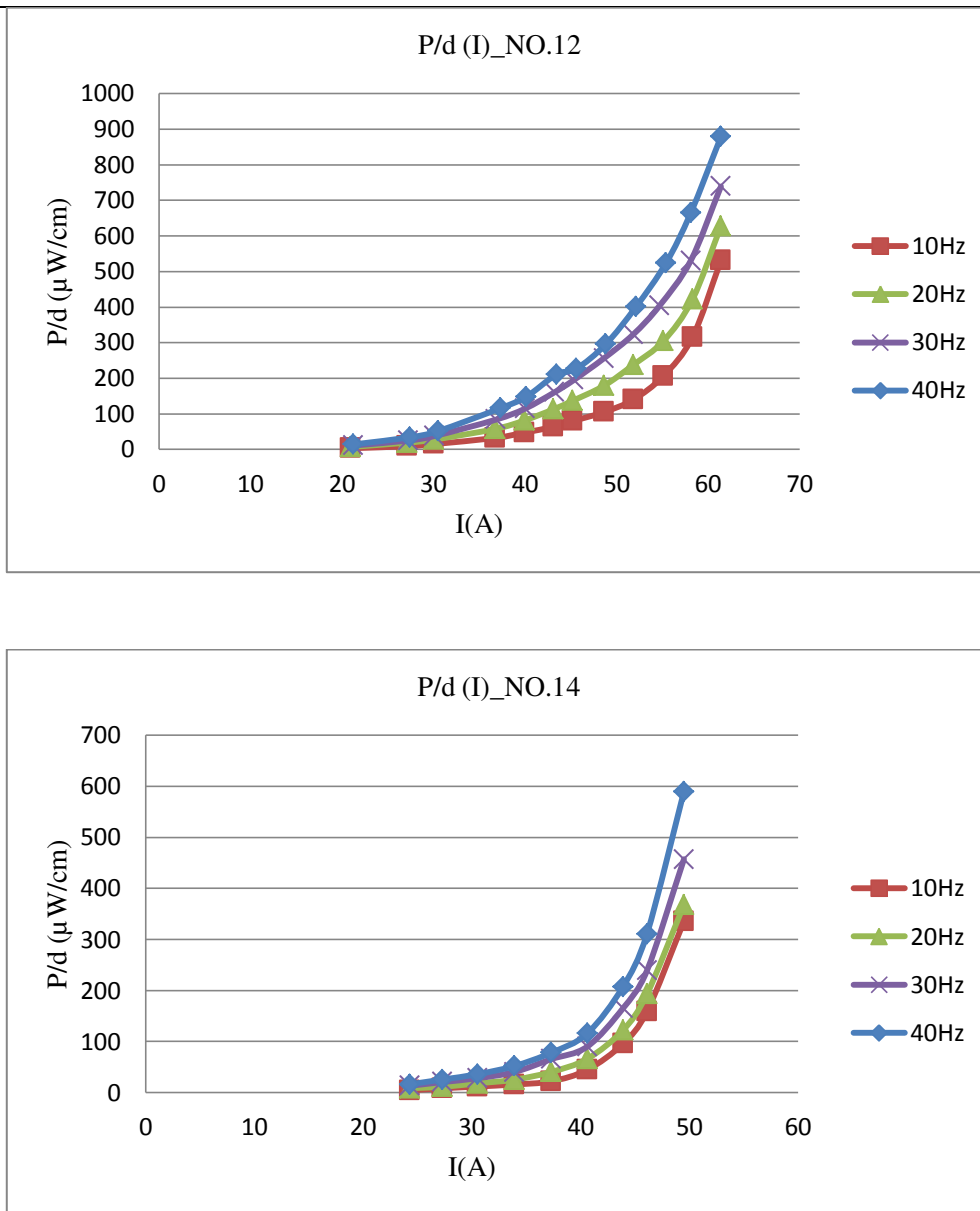
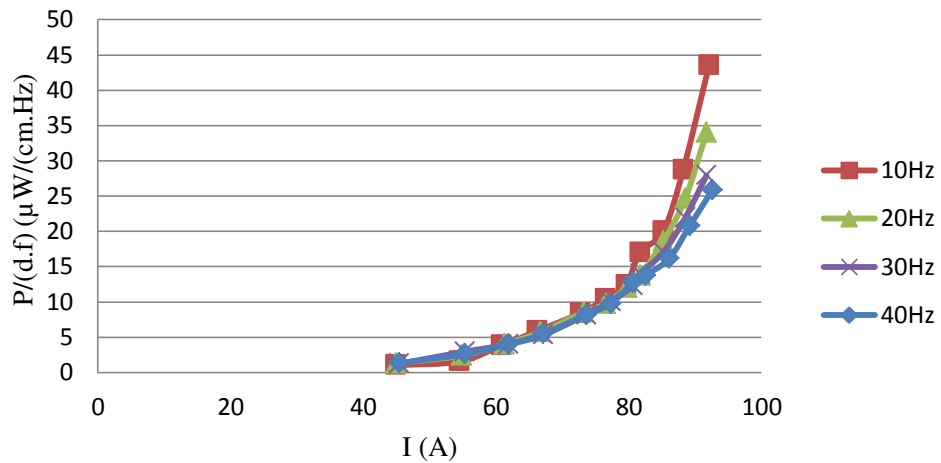


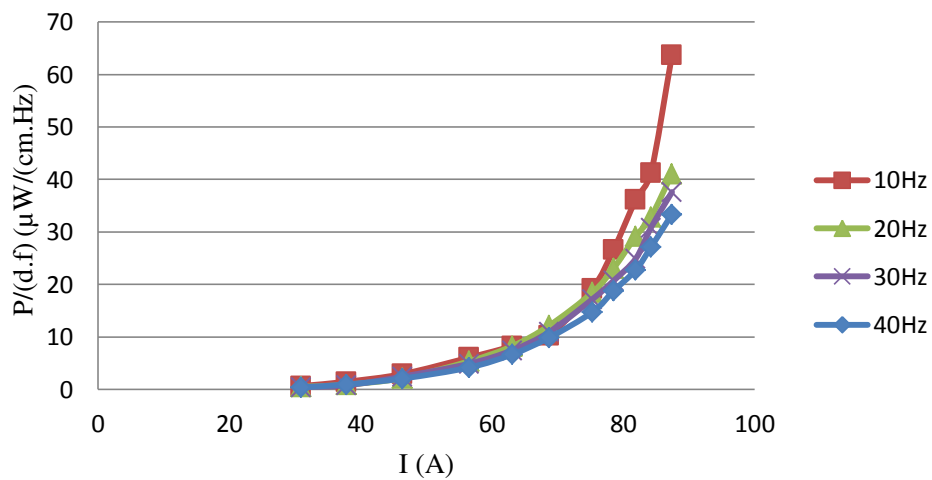
figure B.3 les pertes par longueur unitaire P/d en fonction du courant I



P/(f.d) (I)_NO.2

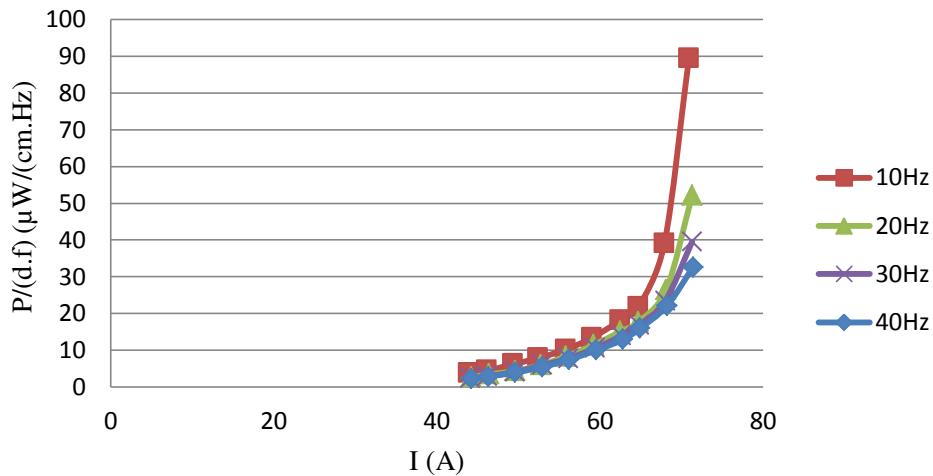


P/(f.d) (I)_NO.5

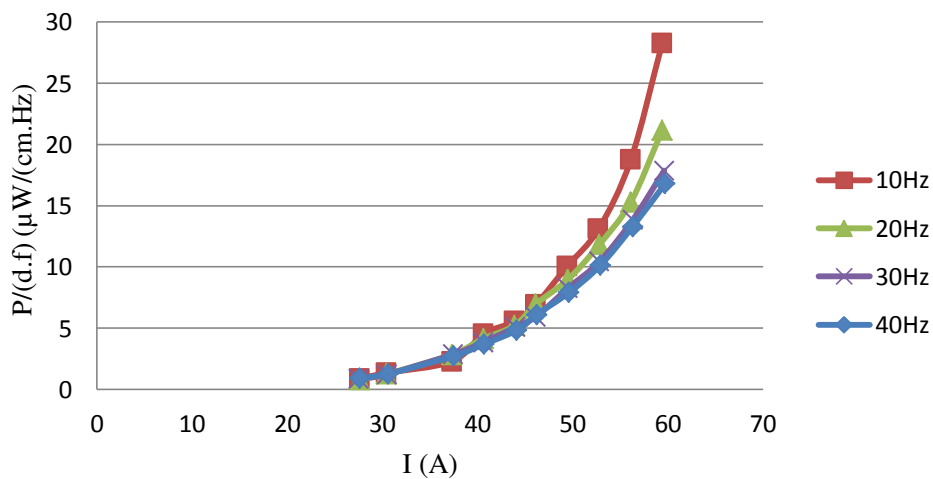




P/(f.d) (I)_NO.6

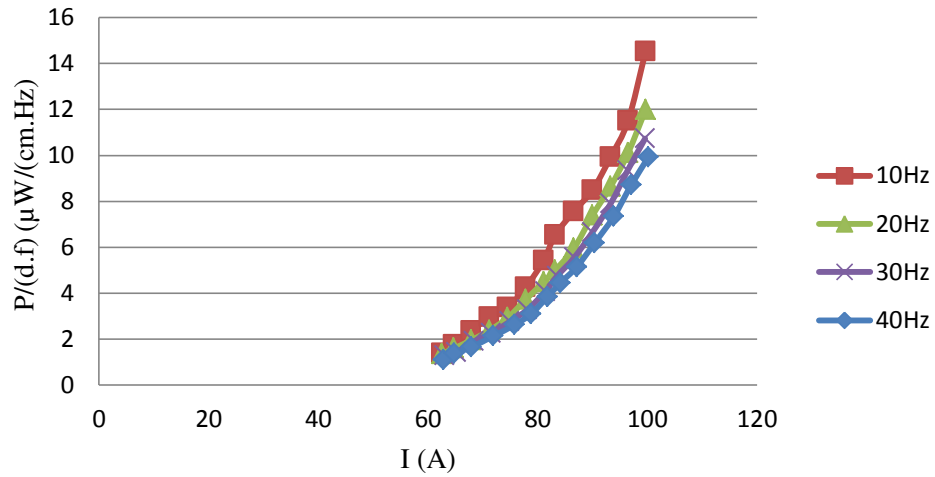


P/(f.d) (I)_NO.7

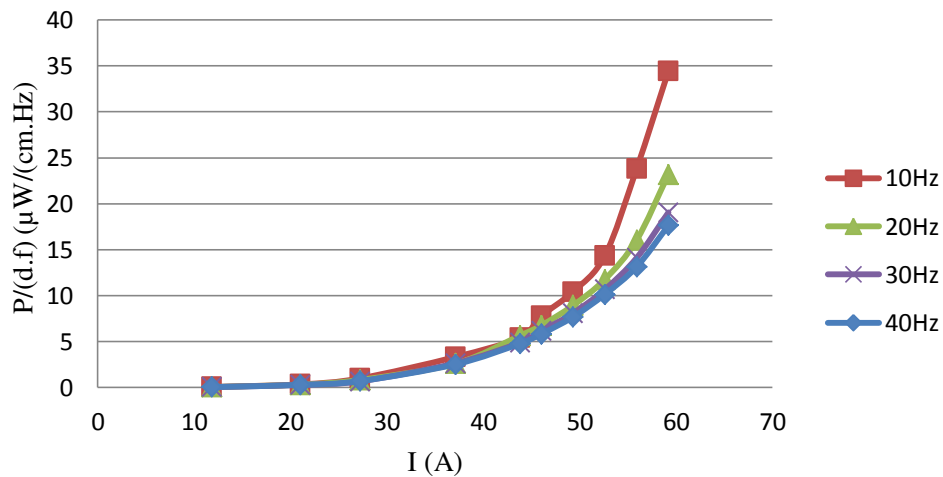




P/(f.d) (I)_NO.10



P/(f.d) (I)_NO.11



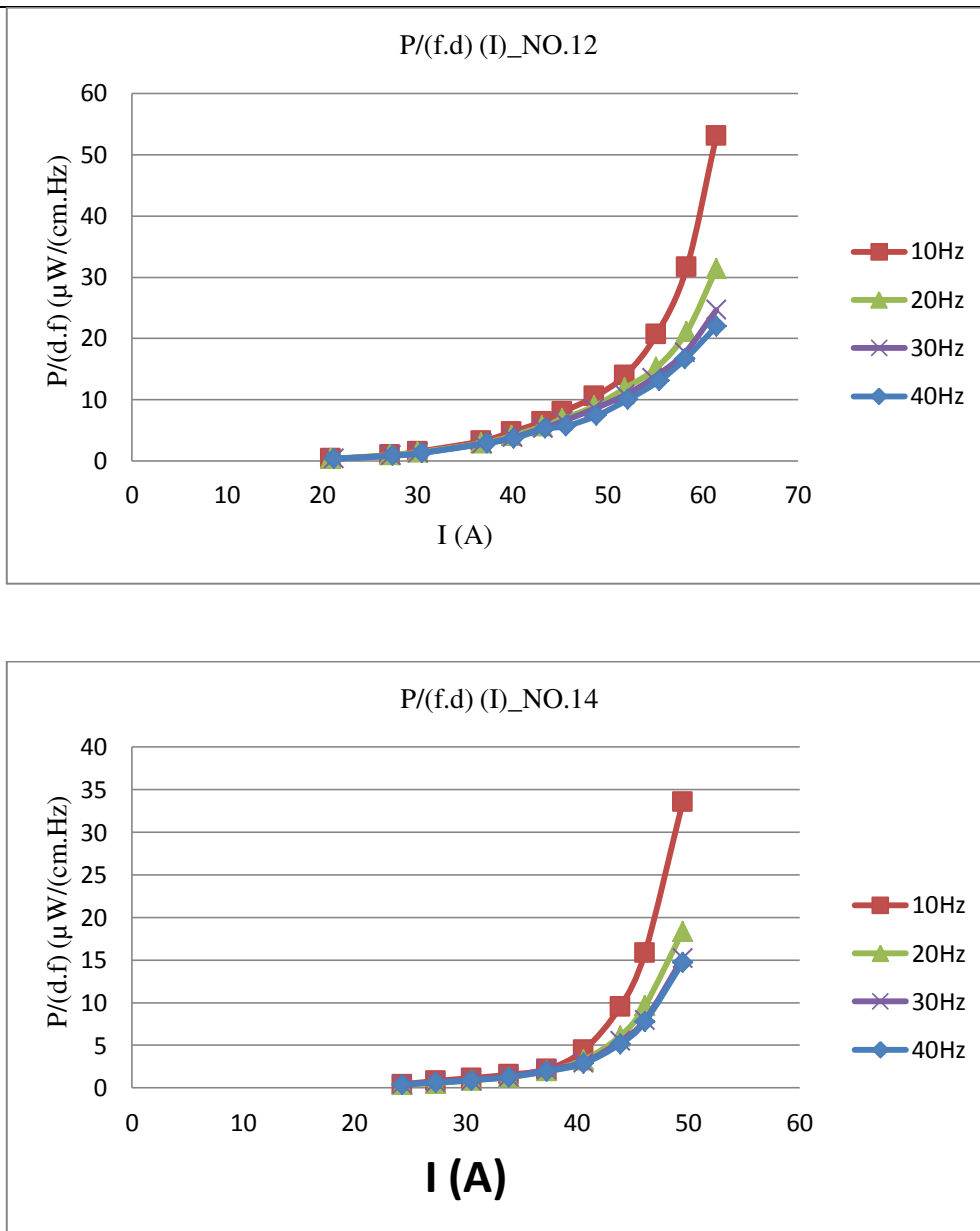
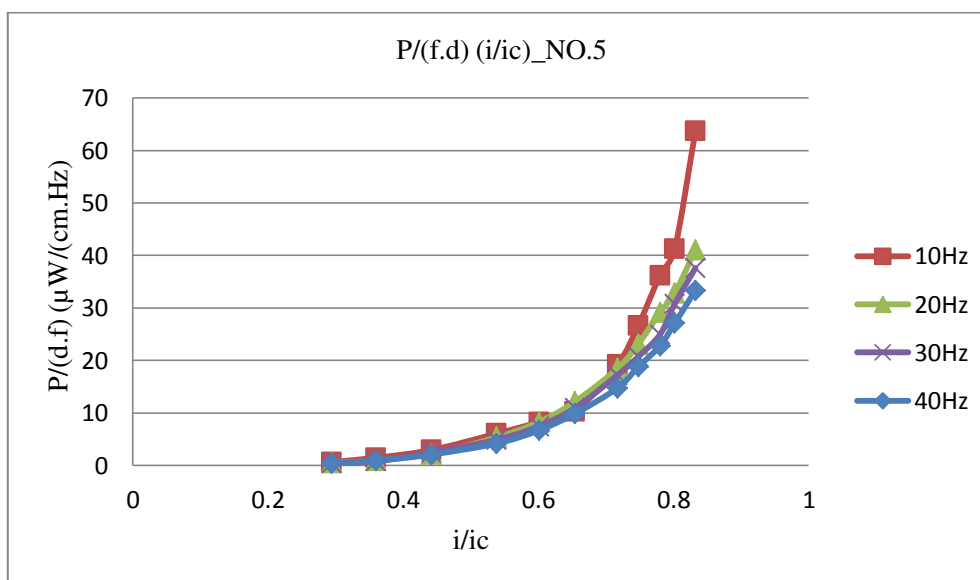
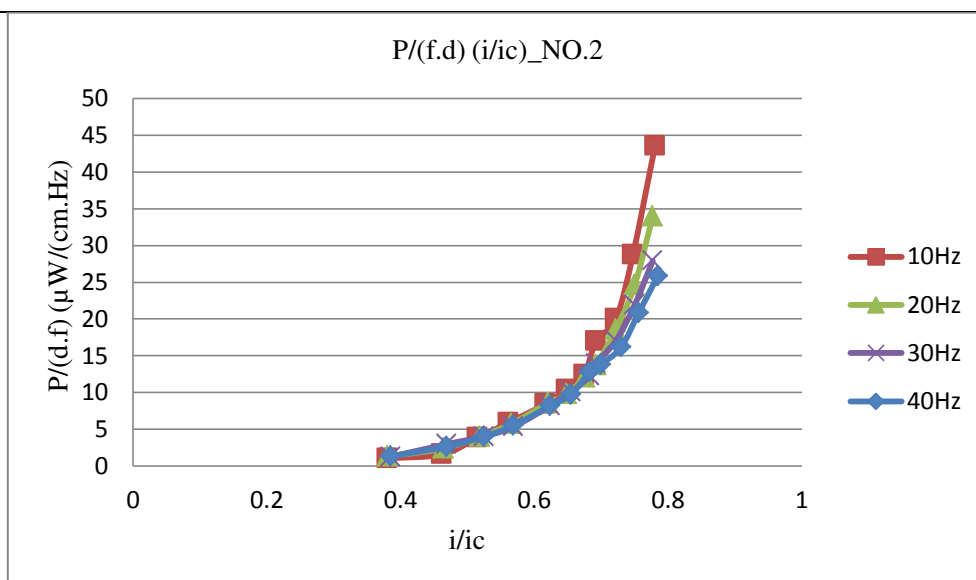
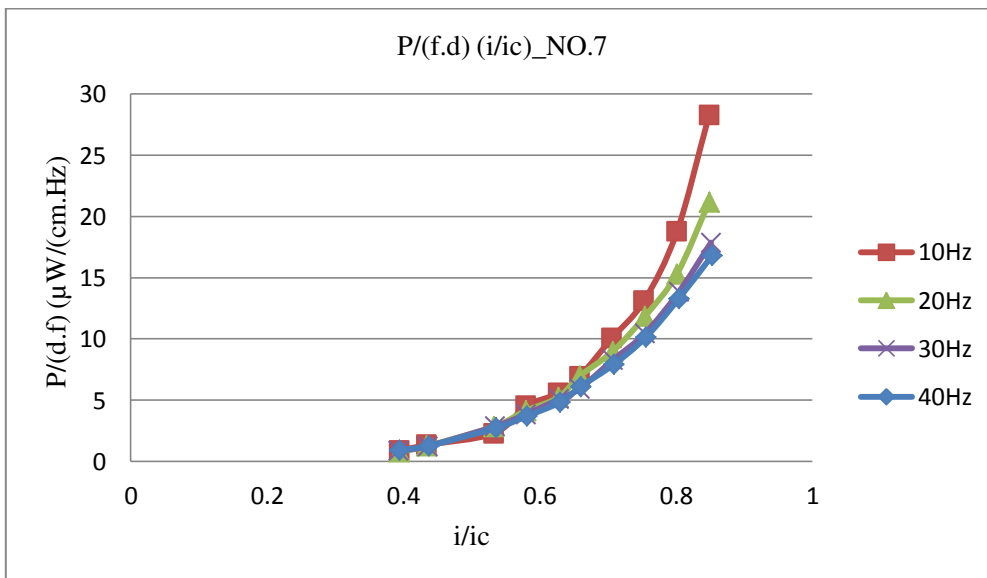
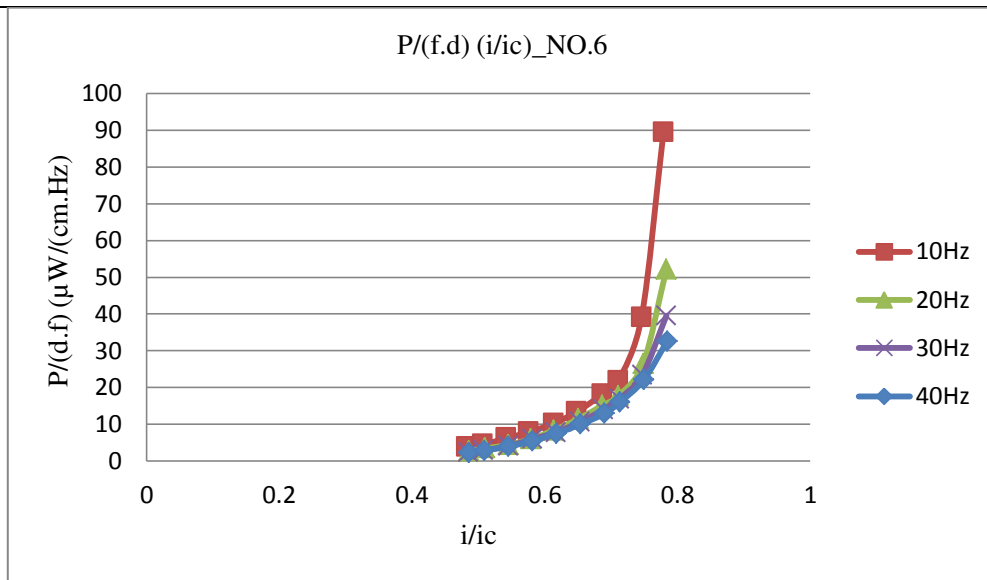
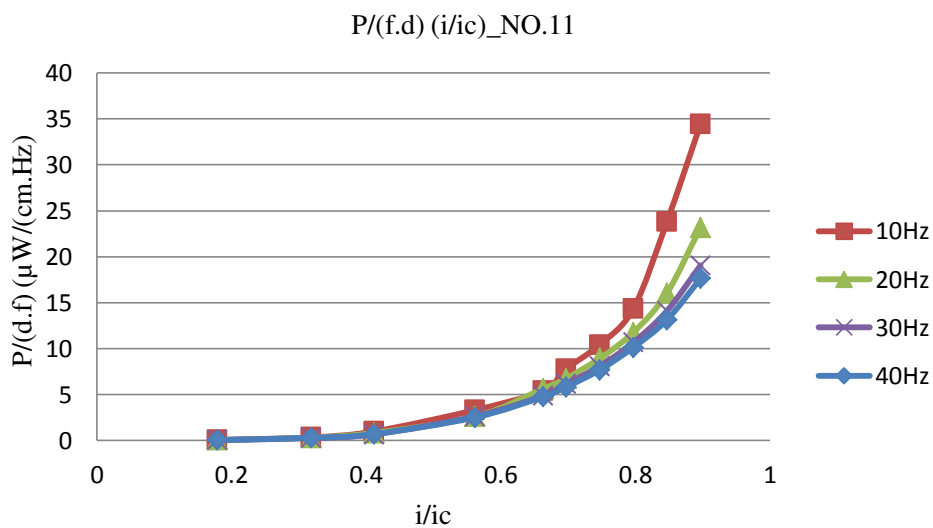
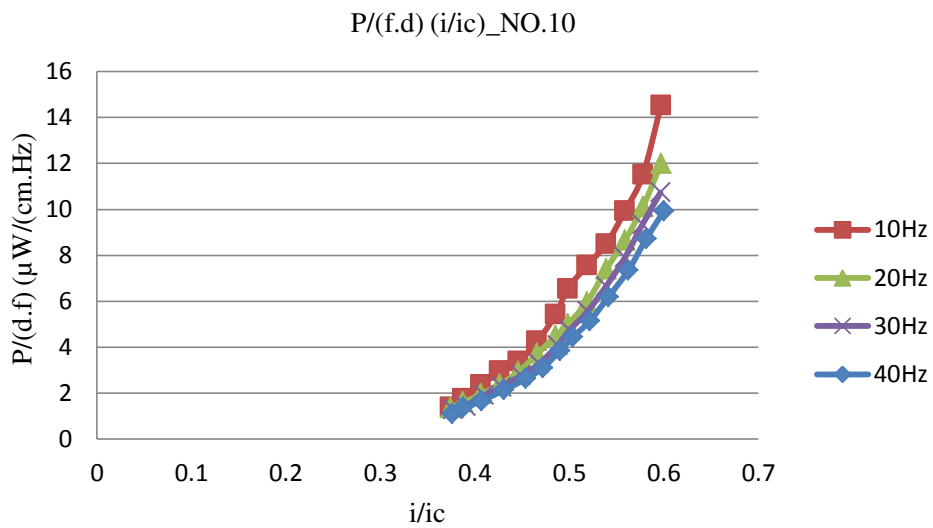


figure B.4 les pertes par longueur par fréquence unitaire $P/(f.d)$ en fonction du courant I







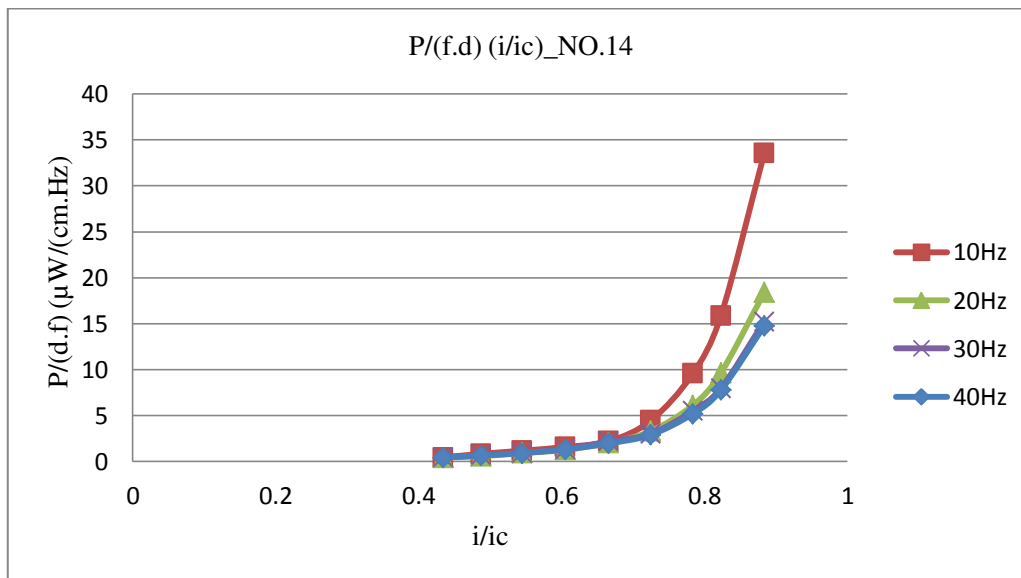
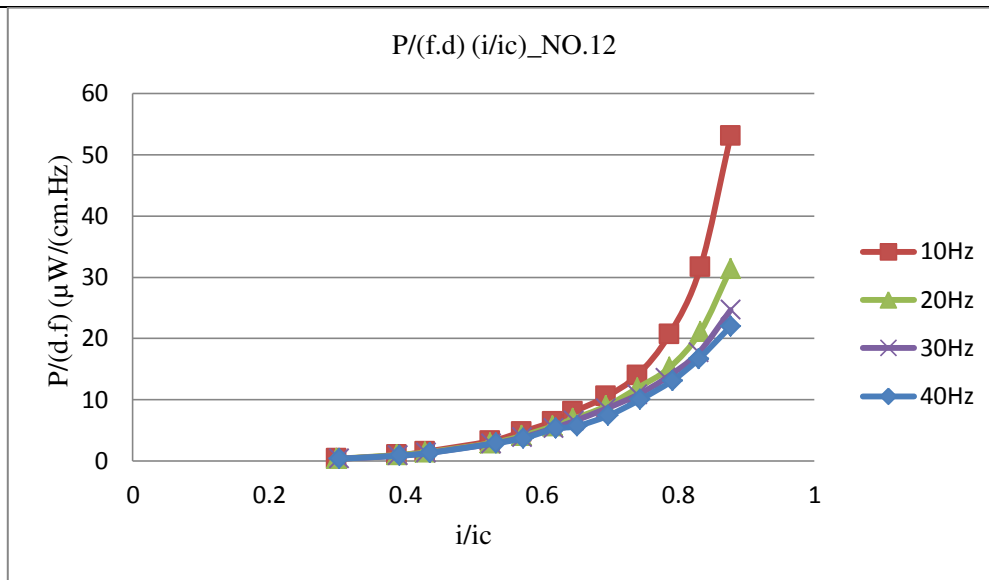


figure B.5 les pertes par longueur par fréquence unitaire $P/(f.d)$ en fonction du rapport I/I_c

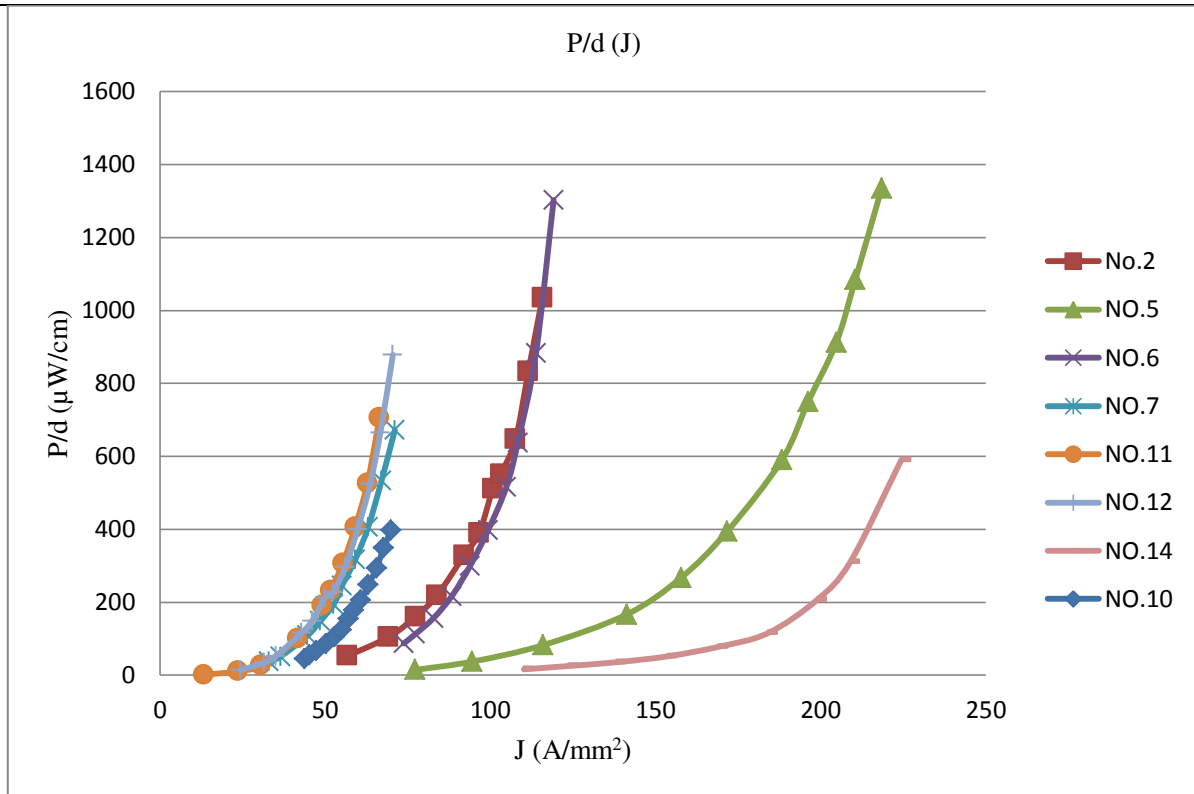


figure B.6 les pertes par longueur unitaire P/d en fonction de la densité de courant J de tous les rubans en 40Hz

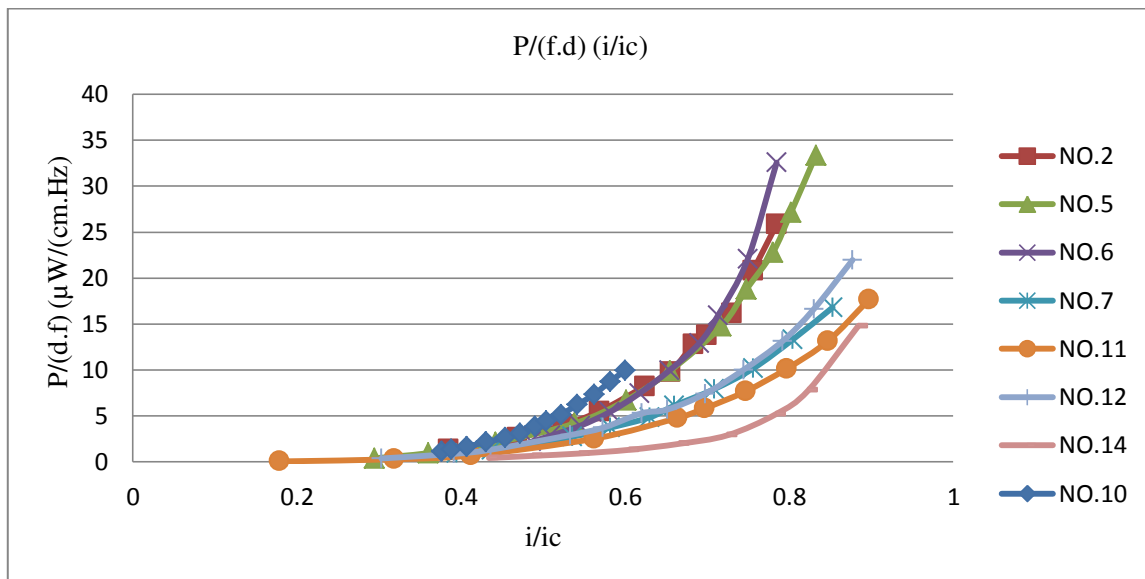


figure B.7 les pertes par longueur par fréquence unitaire $P/(f.d)$ en fonction du rapport I/I_c de tous les rubans en 40Hz

Annexe C Les résultats de mesures de caractéristiques en DC des bobines supraconductrices

Pour les échantillons de la bobine supraconductrice N°1 et N°2, les figures C.1, C.2, représentent respectivement la courbe de le champ électrique E en fonction du courant I et la courbe de le champ électrique E en fonction de la densité de courant J .

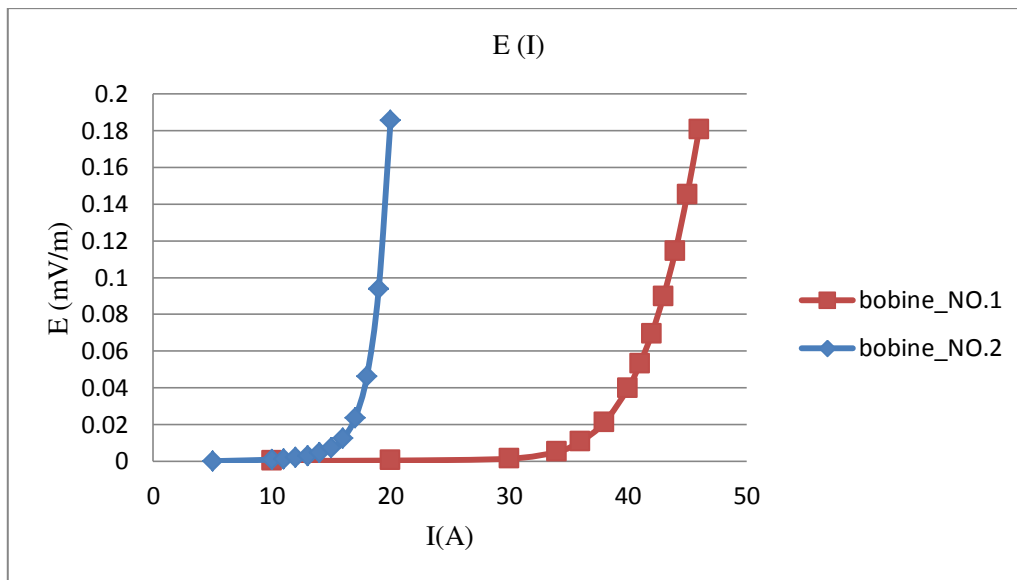


figure C.1 la courbe de le champ électrique E en fonction du courant I

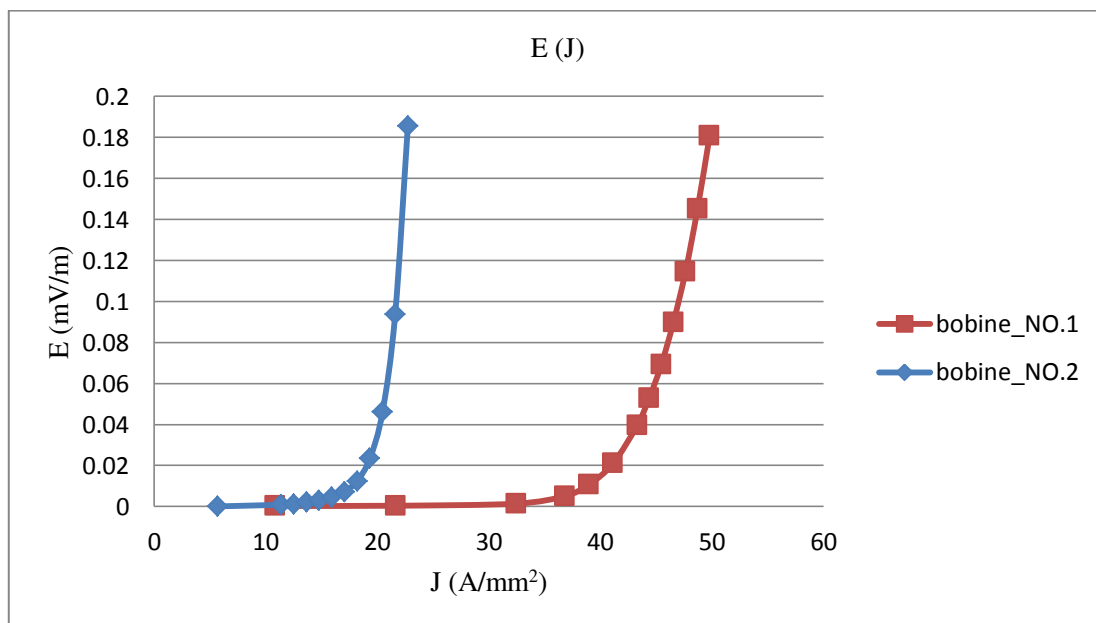


figure C.2 la courbe de le champ électrique E en fonction de la densité de courant J

Annexe D Introduction en bref de EMTP-RV

EMTP-RV est un logiciel professionnel de simulation et d'analyse pour le système de puissance transitoire. Il possède fonctions complètes et son technique est avancé. Il est conçu pour accomplir une grande variété d'études sur des réseaux électriques, qu'elles soient reliées à l'ingénierie et à la conception de projets, à la résolution de problèmes ou à la correction de défaillances inexplicables. Il est utilisé partout dans le monde comme un outil de référence par les acteurs principaux de industrie d'électricité (les services publics, les entreprises et les consultants).

Il possède les avantages suivantes :

- Interface conviviale (voir la figure D.1)
- Interface graphique scriptable
- Plus de restriction topologique pour les éléments non-linéaires
- Nouvelles méthodes d'analyse numérique pour :
 - > La résolution des éléments non-linéaires
 - > Le calcul de load-flow triphasé déséquilibré
 - > Le régime permanent harmonique

Options de simulation:

- Simulation dans le domaine du temps
- Initialisation et Simulation en régime permanent
- Calcul de répartition de puissance(Load-Flow)
- Balayage fréquentiel

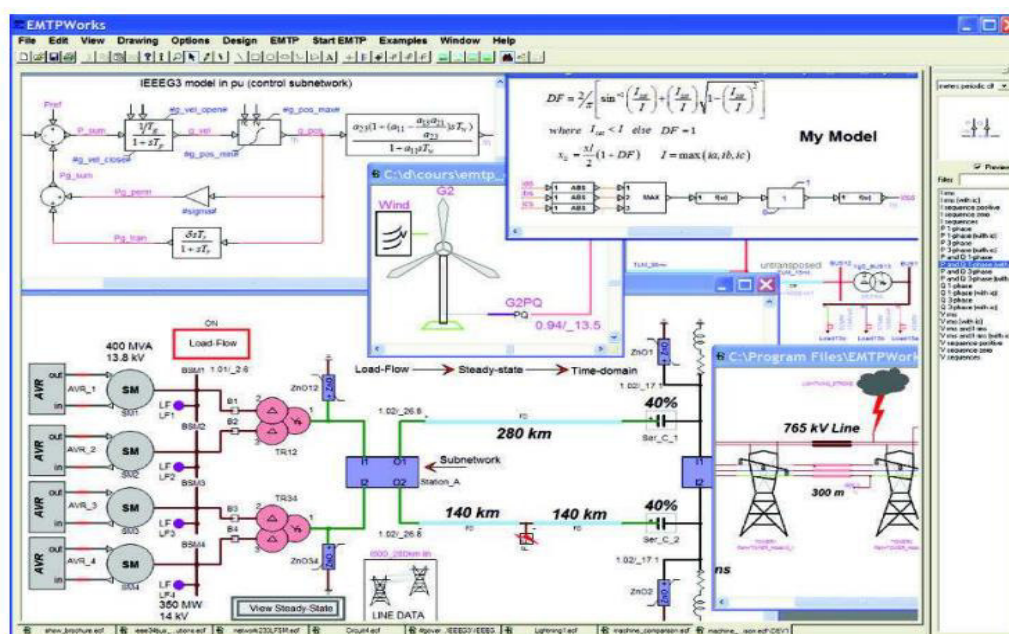


figure D.1 : l'interface graphique de EMTP-RV

Annexe E Les valeurs de paramètres du chaque composant du réseau modélisé sous EMTP-RV

E-1 Les valeurs de paramètres des générateurs synchrones sous EMTP-RV

La tableau E.1 représente les paramètres uniformes de générateurs synchrones, et la tableau E.2 représente Les valeurs initiales des angles de tension de ligne triphasée, de l'angle électrique et de la tension d'excitation pour chaque générateur synchrone.

puissance nominale	900 MVA
tension de ligne	20 kV
fréquence en régime permanent	60Hz
les réactances (pu) X_d	1,8
X_d'	0,3
X_d''	0,25
X_q	1,7
X_q'	0,55
X_q''	0,25
X_l	0,2
constant de temps (s) T_{do}'	8
T_{do}''	0,03
T_{qo}'	0,4
T_{qo}''	0,05
résistance statorique (pu) R_s	0.0025
coefficient d'inertie (s) H	6.5
facteur de friction (pu) F	0
paires de pôle p	4

tableau E.1 les paramètres uniformes de générateurs synchrones

Générateurs	Arg[Uabc] (deg)			θ_e (deg)	V_f (pu)
	phase A	phase B	phase C		
GS1	2,72006	-117,28	122,72	-31,4365	1,83426
GS2	-22,4089	-142,409	97,5911	-56,3246	1,85092
GS3	-9,54541	-129,545	110,455	-42,8064	1,8676
GS4	-33,2682	-153,268	86,7318	-67,7515	1,82209

tableau E.2 Les valeurs initiales des angles de tension de ligne triphasée, de l'angle électrique et de la tension d'excitation

E-2 Les valeurs de paramètres des PSSs sous EMTP-RV

Les paramètres de PSS4B sont montrés ci-dessous :

dans le bande de la basse fréquence :

les gains : $K_{L1}=66$, $K_{L2}=66$, et $K_L=9,4$;

les constants de temps (s) : $T_{L1}=1,667$, $T_{L2}=2$, $T_{L3}=0$, $T_{L4}=0$, $T_{L5}=0$, $T_{L6}=0$, $T_{L7}=2$, $T_{L8}=2.4$, $T_{L9}=0$, $T_{L10}=0$, $T_{L11}=0$, $T_{L12}=0$, $K_{L11}=1$, $K_{L17}=1$;

La tension limite (pu): $V_{LMax}=0,075$, $V_{LMin}=-0,075$

dans le bande de la fréquence intermédiaire:

les gains : $K_{I1}=66$, $K_{I2}=66$, et $K_I=47,6$;

les constants de temps (s): $T_{I1}=1$, $T_{I2}=1$, $T_{I3}=0.25$, $T_{I4}=0.3$, $T_{I5}=0$, $T_{I6}=0$, $T_{I7}=1$, $T_{I8}=1$, $T_{I9}=0.3$, $T_{I10}=0.36$, $T_{I11}=0$, $T_{I12}=0$, $K_{I11}=0$, $K_{I17}=0$;

La tension limite (pu): $V_{IMax}=0.15$, $V_{IMin}=-0.15$;

dans le bande de la haut fréquence :

les gains : $K_{H1}=66$, $K_{H2}=66$, et $K_H=233$;

les constants de temps (s): $T_{H1}=0,01$, $T_{H2}=0,012$, $T_{H3}=0$, $T_{H4}=0$, $T_{H5}=0$, $T_{H6}=0$, $T_{H7}=0,012$, $T_{H8}=0,0144$, $T_{H9}=0$,
 $T_{H10}=0$, $T_{H11}=0$, $T_{H12}=0$, $K_{H11}=1$, $K_{H17}=1$;

La tension limite (pu) : $V_{HMax}=0,15$, $V_{HMin}=-0,15$;

La tension de sortie limite (pu) : $V_{SMax}=0,15$, $V_{SMin}=-0,15$;

Les paramètres de PSS1A dont entrée est la déviation de la vitesse rotorique dw sont montrés ci-dessous :

le constant de temps du capteur $T_6=0,015$;

le gain $K_S=30$;

le constant de temps du filtre wash-out $T_5=10$;

les constants de temps des bloc de compensation de phase avancé-retard $T_1=0,05$, $T_2=0,02$, $T_3=3$, $T_4=5,4$;

La tension de sortie limite (pu) : $V_{SMax}=0,15$, $V_{SMin}=-0,15$;

Les paramètres de PSS1A dont entrée est la déviation de la puissance ($P_a=P_m-P_e$) sont montrés ci-dessous :

le constant de temps du capteur $T_6=0,015$;

le gain $K_S=3,125$;

le constant de temps du filtre wash-out $T_5=1$;

les constants de temps des bloc de compensation de phase avancé-retard $T_1=0,06$, $T_2=1$, $T_3=0$, $T_4=0$;

La tension de sortie limite (pu) : $V_{SMax}=0,15$, $V_{SMin}=-0,15$;

E-3 Les valeurs de paramètres des transformateurs sous EMTP-RV

La tableau E.3 nous montre les paramètres de transformateur sous EMTP-RV.

puissance nominale	900MVA
fréquence en régime permanent	60Hz
la tension de ligne V_1 de la 1 ^{ère} enroulement	20kV
la résistance de la 1 ^{ère} enroulement (pu) R_1	10^{-6}
l'inductance de la 1 ^{ère} enroulement (pu) L_1	0
la tension de ligne V_1 de la 2 ^{ème} enroulement	230kV
la résistance de la 2 ^{ème} enroulement (pu) R_2	10^{-6}
l'inductance de la 1 ^{ème} enroulement (pu) L_2	0,15
la résistance magnétique (pu) R_m	500
l'inductance magnétique (pu) L_m	500

tableau E.3 les paramètres de transformateur

E-4 Les valeurs de paramètres des lignes de transmission sous EMTP-RV

La tableau E.4 nous montre les paramètres des lignes de transmission L_6 , L_2 , L_3 , L_4 sous EMTP-RV ; et la tableau E.5 nous montre les paramètres des lignes de transmission L_1 , et L_{10} .

lignes de transmission	L_6 , L_4	L_2 , L_3
fréquence du système (Hz)	60	
résistance de la séquence positive et zéro R_1 , R_0 (Ω /km)	0,0529,	1,61
inductance de la séquence positive et zéro L_1 , L_0 (H/km)	1,403e-4,	0,0061
capacitance de la séquence positive et zéro C_1 , C_0 (F/km)	8,775e-9,	5,2489e-9
longeur de ligne (km)	25	10

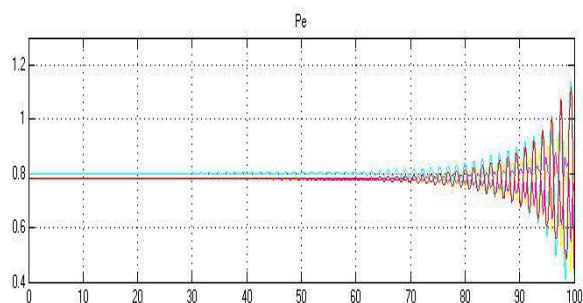
tableau E.4 les paramètres de lignes L_6 , L_2 , L_3 , L_4

lignes de transmission	L1	L10
fréquence du système (Hz)	60	
résistance de la séquence positive et zéro R_1, R_0 (Ω/km)	0,0529,	1,61
inductance de la séquence positive et zéro L_1, L_0 (H/km)	1,403e-4,	0,0061
capacitance de la séquence positive et zéro C_1, C_0 (F/km)	8,775e-9,	5,2489e-9
longueur de ligne (km)	220	110

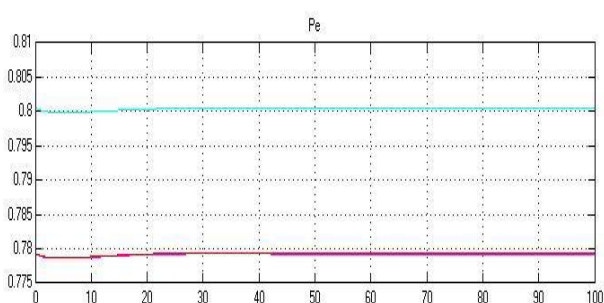
tableau E.5 les paramètres de lignes L_1 et L_{10}

Annexe F Résultats de simulation complémentaires du réseau AC composant de Multimachines

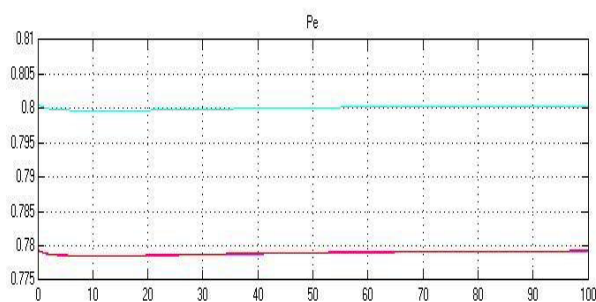
La figure F.1 représente la puissance électromagnétique P_e en condition de chaque PSS en série et la figure F.2 nous montre la tension au borne V_t en condition de chaque PSS en série.



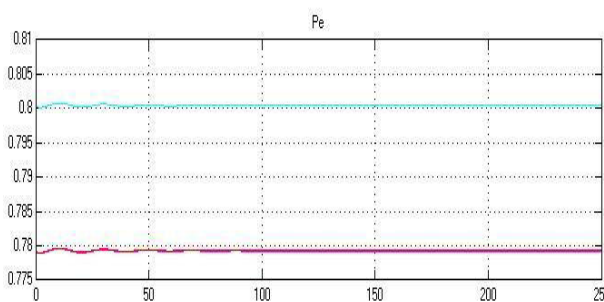
a. sans PSS



b. PSS4B

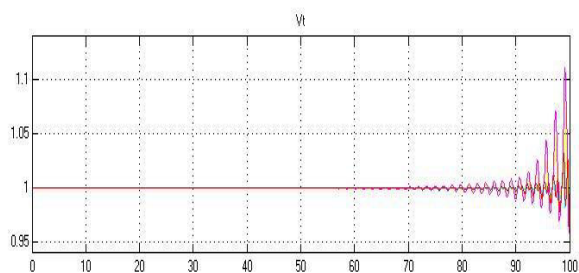


c. PSS1A d'entrée dw

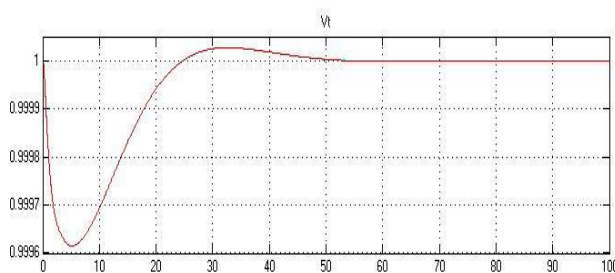


d. PSS1A d'entrée P_a

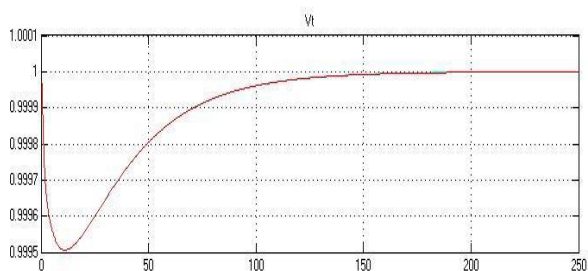
figure F.1 la puissance électromagnétique P_e en condition de chaque PSS en série



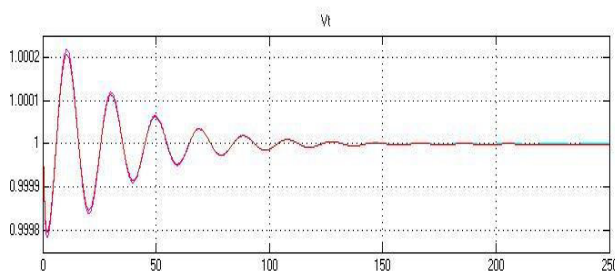
a. sans PSS



b. PSS4B



c. PSS1A d'entrée dw



d. PSS1A d'entrée P_a

figure F.2 la tension au borne V_t en condition de chaque PSS en série

RESUME :

Avec l'évolution de la technologie de supraconducteurs HTC, un nombre croissant d'études focalisent l'attention sur applications de supraconducteurs HTC. L'objectif de ce stage est d'établir un fondement afin de réaliser et tester à l'avenir la performance d'un stabilisateur supraconducteur HTC. Ce mémoire se compose de deux parties d'études. Une partie est la modélisation d'un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC. Dans cette partie, on a modélisé un stabilisateur supraconducteur HTC pour le réseau DC. Ensuite, on a mesuré les caractéristiques en DC et les pertes en AC des différents échantillons supraconducteurs HTC en formes différentes afin que choisir un type de matériau supraconducteur HTC pour notre stabilisateur. Dans l'autre partie, on a modélisé un réseau AC composant de multi-machines sur la base de l'étude du régulateur de tension automatique (AVR en anglais) et du stabilisateur de puissance (PSS en anglais). A la fin, le réseau est simulé sous EMTP-RV et MATLAB/Simulink, ainsi qu'on a comparé la performance des 3 types de PSSs dans le réseau.

MOTS-CLES :

stabilisateur supraconducteur HTC, réseau de multi-machines, PSS, EMTP-RV

ABSTRACT :

With the evolution of the HTC superconductor technology, an increasing number of studies focus on applications of HTC superconductors. The objective of this internship is to establish a foundation for future realizing and testing the performance of a HTC superconducting stabilizer. This report includes two parts of studies. One is the modeling of a HTC superconducting stabilizer for the DC grid. In this part, a model of HTC superconducting stabilizer has been established for the DC grid. After that, I have measured both the characteristics in DC and the losses in AC of different superconducting samples in different forms to select a type of HTC superconducting material for our stabilizer. In the other part, a grid AC including multi-machines has been established on the basis of the study of the Automatic Voltage Regulator (AVR) and the Power System Stabilizer (PSS). In the end, this grid has been simulated in EMTP-RV and MATLAB/Simulink. In addition, I have compared the performance of the 3 types of PSSs in the grid.

KEYWORDS :

HTC superconducting stabilizer, Grid including multi-machines, PSS, EMTP-RV