



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : commande électrique

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme :**

**MASTER**

*Thème*

**Analyse des lois d'évolution des raies  
caractéristiques de l'excentricité dans les  
machines asynchrones-courant statorique**

Présenté par :  
**BEN FERHAT Akram**  
Soutenu le : 06 juin 2017

Devant le jury composé de :

SAHRAOUI Mohamed  
GHOGGAL Adel  
Laala weddad

MCA  
MCA  
MCA

Président  
Encadreur  
Examineur

**Année universitaire : 2016 / 2017**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : commande électrique

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme :

**MASTER**

*Thème*

**Analyse des lois d'évolution des raies caractéristiques de  
l'excentricité dans les machines asynchrones-courant  
statorique**

**Présenté par :**

**BEN FERHAT Akram**

**Avis favorable de l'encadreur :**

**GHOOGAL ADEL**

**Avis favorable du Président du Jury**

**SAHRAOUI Mohamed**

**Cachet et signature**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière :Electrotechnique  
Option :commande électrique

## *Thème*

**Analyse des lois d'évolution des raies caractéristiques de  
l'excentricité dans les machines asynchrones-courant  
statorique**

**Proposé par : GHOGGAL Adel**

**Dirigé par : GHOGGAL Adel**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire :*

- ✚ A mon père, à ma mère*
- ✚ A mes frères et ma sœur*
- ✚ A la mémoire de mes grands parents*
- ✚ A tous mes amis (es)*
- ✚ A tous mes maîtres et professeurs : du primaire au supérieur*
- ✚ A tous ceux qui ont contribué au développement des sciences engénéral et de l'électrotechnique en particulier.*

*AKRAM BEN FERHAT*

# ***Remerciements***

*Je remercie, avant tout, Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé parmi Ses innombrables Grâces, santé et courage pour accomplir ce travail.*

*Mes plus vifs remerciements vont à mon encadreur pour sa disponibilité et la qualité de son encadrement, GHOGGEL ADEL, Maître de conférences à l'Université Mohamed Khider de BISKRA.*

*Mes remerciements vont à Mes collègues BASIL GHEITHAN et OKLA ALDABET sur l'esprit de coopération au cours de la réalisation de notre mémoire.*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres de jury de soutenance de ce mémoire :*

*Mr. Sahraoui muhamed, d'avoir accepté la présidence de jury de soutenance.*

*Laala widad, pour avoir accepté d'examiner mon travail et faire partie du jury.*

*Je n'oublierai pas d'exprimer un profond respect à tous mes professeurs qui m'ont inculqué les fondements scientifiques tout au long des cursus de mon étude.*

*Mes derniers mots s'adressent tous particulièrement à ma famille : mon père, ma mère, mes frères ( samir, lina , mourad ,nada )*

## Résumé :

L'analyse des signaux du courant statorique du moteur asynchrone (MCSA) est devenue une technique très répandue pour apprécier l'état de santé du moteur asynchrone afin d'éviter la défaillance et n'intervenir qu'à bon escient et pendant des arrêts programmés de production. A cet effet, nous utilisons la technique de FOURI. Dans ce mémoire nous utilisons un modèle de simulation qui nous donne des harmoniques d'espace grâce à ce modèle on va effectuer plusieurs simulation selon plusieurs variantes :

Plusieurs degrés d'excentricité

Plusieurs niveaux des charges

Etude de la connexion de neutre libre et connecté

Etude de moteur avec barre inclinée et non inclinée

Nous estimons que les fruits de ce travail sera utile pour les intérêts de maintenance de la machine.

Mots clés :

Machine asynchrone, diagnostic. harmoniques d'encoches rotoriques., excentricité

défauts statorique, Analyse spectrale.- FFT.

## المخلص

أصبح تحليل تيار الجزء الثابت للمحرك غير المتزامن تقنية تستخدم على نطاق واسع لتقييم حالة المحرك غير متزامن من أجل معرفة حالة المحرك من أجل تجنب الفشل والتدخل عند الضرورة فقط وإثناء العمل أي قبل انقطاع وتيرة العمل ولأجل لذلك نستخدم تقنية فوري- في هذه المذكرة سنقوم بمحاكاة نموذج معين والذي بدوره يقدم لنا عدة متغيرات وهي كالأتي عدة درجات من الانحراف و عدة مستويات من الحمولة ودراسة وضعية المحرك مع الشريط المائل والغير مائل

ونحن نتوقع ان هذه النتائج ستكون ذات أهمية في صيانة المحرك وتشخيصه قبل وقوع الفشل

الكلمات المفتاحية: الماكينة اللامتزامنة، التشخيص، اللاتمرکز

# Sommaire

## Sommaire

Liste des symboles utilisés.....	
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : L'état d l'art.....</b>	
<b>I.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>I.2. CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE.....</b>	<b>2</b>
<b>I.2.1. Moteur Asynchrone (MAS) .....</b>	<b>2</b>
<b>I.2.2. Le stator .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2.3. Le rotor à cage.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3.DEFINITIONS :.....</b>	<b>6</b>
<b>I.3.1. La Maintenance .....</b>	<b>6</b>
<b>I.3.1.1. Maintenance Corrective .....</b>	<b>6</b>
<b>I.3.1.2 Maintenance Préventive .....</b>	<b>6</b>
<b>I.3.1.2.1. Maintenance préventive systématique .....</b>	<b>7</b>
<b>I.3.1.2.2.Maintenance préventive conditionnelle.....</b>	<b>7</b>
<b>I.4. ORIGINES DES DEFAUTS :.....</b>	<b>7</b>
<b>I.5. METHODES DE DIAGNOSTIC.....</b>	<b>8</b>
<b>I.5.1 Méthodes externes.....</b>	<b>8</b>
<b>I.5.2 Méthodes internes.....</b>	<b>8</b>
<b>I.5.3 Méthodes inductives.....</b>	<b>8</b>
<b>I.5.6.Méthodes déductives.....</b>	<b>9</b>
<b>I.6.DIFFERENTS DEFAUTS DANS LA MACHINE ASYNCHRONE A CAGE.....</b>	<b>9</b>
<b>I.6.1. Défauts statorique.....</b>	<b>9</b>
<b>I.6.2. Défauts rotoriques.....</b>	<b>10</b>
<b>I.6.3.Défaut de cassure de barre.....</b>	<b>10</b>
<b>I.6.4. Défaut d'excentricité.....</b>	<b>10</b>
<b>I.7. CONCLUSION.....</b>	<b>11</b>
<b>Chapitre II : modélisation de moteur asynchrone triphasé.....</b>	
<b>II.1 : INTRODUCTION.....</b>	<b>12</b>
<b>II.2 : MODELE MULTI-ENROULEMENTS.....</b>	<b>12</b>
<b>II.2.1 Equations des tensions.....</b>	<b>13</b>
<b>II.2.2 Equations mécanique.....</b>	<b>17</b>

II.2.3 Système d'équations global.....	18
II.3 : CALCUL DES INDUCTANCE EN CAS D'EXCENTRICITE.....	19
II.3.1 Formulation.....	19
II.3.1.1. Excentricité radiale.....	20
II.4. CONCLUSION.....	24
Chapitre III : résultat et discussion.....	
III.1.1 INTRODUCTION .....	25
III.1.1.1. DEFINITION DES (PSH).....	25
III.2. HARMONIQUE DE PSH D'EXCENTRICITE STATIQUE .....	25
III.2.1. Pour 10% d'excentricité statique :.....	25
III.2.2. Pour 20% d'excentricité statique : .....	26
III.2.3. Pour 30% d'excentricité statique :.....	29
III.2.4. Pour 40% d'excentricité statique :.....	31
III.2.5. Pour 50% d'excentricité statique : .....	33
III.2.6. Pour 60% d'excentricité statique :.....	35
III.3. HARMONIQUE DE PSH D'EXCENTRICITE MIXTE .....	37
III.3.1. 10% d'excentricité dynamiques .....	37
III.3.1.1. Pour 10 % d'excentricité statique :.....	37
III.3.1.2. Pour 20 % d'excentricité statique : .....	38
III.3.1.3. Pour 30 % d'excentricité statique : .....	39
III.3.1.4. Pour 40 % d'excentricité statique : .....	41
III.3.1.5. Pour 50 % d'excentricité statique :.....	43
III.3.1.6. Pour 60 % d'excentricité statique :.....	44
III.3.2. 20% d'excentricité dynamique :.....	45
III.3.2.1. Pour 10 % d'excentricité statique :.....	45
III.3.2.2. Pour 20 % d'excentricité statique :.....	47
III.3.2.3. Pour 30 % d'excentricité statique :.....	48
III.3.2.4. Pour 40 % d'excentricité statique :.....	50
III.3.2.5. Pour 50 % d'excentricité statique :.....	51
III.3.2.6. Pour 60 % d'excentricité statique :.....	53
III.3.3. 30% d'excentricité dynamiques :.....	54

<b>III.3.3.1.Pour 10 % d'excentricité statique :</b> .....	54
<b>III.3.3.2.Pour 20 % d'excentricité statique :</b> .....	56
<b>III.3.3.3.Pour 30 % d'excentricité statique :</b> .....	57
<b>III.3.3.4.Pour 40 % d'excentricité statique :</b> .....	59
<b>III.3.3.5.Pour 50 % d'excentricité statique :</b> .....	60
<b>III.3.3.6.Pour 60 % d'excentricité statique :</b> .....	62
<b>III.4.ETUDE DE L'HARMONIQUE FS±FR</b> .....	63
<b>III.4.1.10% d'excentricité dynamique</b> .....	63
<b>III.4.1.1.pour 10% d'excentricité statiques :</b> .....	63
<b>III.4.1.2.Pour 20% d'excentricité statique :</b> .....	65
<b>III.4.1.3.Pour 30 % d'excentricité statiques :</b> .....	66
<b>III.4.1.4.Pour 40 % d'excentricité statiques :</b> .....	67
<b>III.4.1.5.Pour 50 % d'excentricité statiques :</b> .....	69
<b>III.4.1.6.Pour 60% d'excentricité statiques :</b> .....	70
<b>III.4.2.20% d'excentricité dynamique</b> .....	71
<b>III.4.2.1.Pour 10% d'excentricité statiques :</b> .....	71
<b>III.4.2.2.Pour 20% d'excentricité statiques :</b> .....	72
<b>III.4.2.3.Pour 30% d'excentricité statiques :</b> .....	73
<b>III.4.2.4.pour 40% d'excentricité statiques :</b> .....	75
<b>III.4.2.5.Pour 50% d'excentricité statique :</b> .....	76
<b>III.4.2.6.Pour 60% d'excentricité statiques :</b> .....	77
<b>III.4.3.30% d'excentricité dynamique</b> .....	79
<b>III.4.3.1.Pour 10% d'excentricité statiques :</b> .....	79
<b>III.4.3.2.Pour 20% d'excentricité statiques :</b> .....	80
<b>III.4.3.3.Pour 30% d'excentricité statiques :</b> .....	81
<b>III.4.3.4.Pour 40% d'excentricité statiques :</b> .....	83
<b>III.4.3.5:Pour 50 % d'excentricité statiques :</b> .....	84
<b>III.4.3.6.Pour 60% d'excentricité statiques :</b> .....	86
<b>III.5.ETUDE DEL'HARMONIQUE Fs ±FR POUR DIFFERENT</b>	
<b>SEVERITE DE DEFAUT STATIQUE:</b> .....	87
<b>III.5.1.10% d'excentricité dynamique</b> .....	87

<b>III.5.1.1.10% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	87
<b>III.5.1.2 .10% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	88
<b>III.5.1.3.10% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) avec inclinaison des barres:</b> .....	89
<b>III.5.1.4 .10% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) sans inclinaison des barres :</b> .....	90
<b>III.5.1.5.10% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) sans inclinaison des barres :</b> .....	91
<b>III.5.1.6.10% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) sans inclinaison des barres :</b> .....	92
<b>III.5.2.20% d'excentricité dynamique:</b> .....	93
<b>III.5.2.1.20% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	93
<b>III.5.2.2.20% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	94
<b>III.5.2.3.20% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	95
<b>III.5.2.4.20% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) sans inclinaison des barres :</b> .....	96
<b>III.5.2.5.20% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) sans inclinaison des barres :</b> .....	97
<b>III.5.2.6.20% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) sans inclinaison des barres :</b> .....	98
<b>III.5.3.30% d'excentricité dynamique.....</b>	99
<b>III.5.3.1.30% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	99
<b>III.5.3.2.30% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	
<b>III.5.3.2.30% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) avec inclinaison des barres :</b> .....	100

<b>III.5.3.3.30% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m)</b>	
<b>avec inclinaison des barres : .....</b>	<b>101</b>
<b>III.5.3.4.30% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m)</b>	
<b>sans inclinaison des barres :.....</b>	<b>102</b>
<b>III.5.3.5.30% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m)</b>	
<b>sans inclinaison de barres :.....</b>	<b>103</b>
<b>III.5.3.6.30% d'excentricité dynamique pour la charge 40 (n.m)</b>	
<b>Sans inclinaison des barres :.....</b>	<b>104</b>
<b>III.6.CONCLUSION.....</b>	<b>106</b>
<b>CONCLUSION GENERAL.....</b>	<b>107</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>112</b>

### Liste des symboles :

$V_s$  : vecteur des tensions statoriques.

$I_s$  : vecteur des courants statoriques.

$r_s$  : résistance d'une phase du stator.

$\Phi_s$  : flux total au stator.

$V_r$  : vecteur des tensions rotoriques.

$I_r$  : vecteur des courants rotoriques.

$\Phi_r$  : flux total au rotor.

$L_{ls}$  : inductance de fuite au stator.

$L_{ms}$  : inductance magnétisante.

$L_{xn}$  : inductance entre la phase x du stator et la maille n du rotor.

$N_s$  : nombre de spires par phase.

$l$  : longueur de l'entrefer.

$g$  : entrefer.

$r$  : rayon moyen de l'entrefer.

$\theta_r$  : angle de rotation.

$\alpha_r$  : angle entre deux barres adjacentes.

$\Phi_{rks}$  : flux rotorique de la maille k dû aux courants statoriques.

$\Phi_{rkr}$  : flux rotorique de la maille k dû aux courants rotoriques.

$C_e$  : couple électromagnétique.

$J$  : moment d'inertie du rotor.

$\omega$  : vitesse de rotation.

$f_b$  : fréquence due aux barres cassées.

$p$  : nombre de paires de pôles

$S$  : Surface fermée.

$\Omega$  : Surface enfermée par un contour.

$M_0$  : Perméabilité magnétique de l'air.

$\mathbf{H}$  : Champ magnétique.

$\mathbf{B}$  : Induction magnétique.

$\varphi$  : Flux magnétique.

$L_{BA}$  : Inductance mutuelle entre l'enroulement B et A.

$L_b$  : Inductance de fuite d'une barre rotorique.

$L_e$  : Inductance de fuite d'un segment d'anneau de court-circuit.

$L_{mr}$  : Inductance de magnétisation d'une maille rotorique.

$L_{Am}$  : Inductance de magnétisation d'une phase statorique.

$L_{fA}$  : Flux de fuite d'une phase statorique.

$\Psi_{BA}$  : Flux mutuelle total entre deux enroulements A et B.

F : Force magnétomotrice.

F : Force mécanique.

$g$  : Epaisseur de l'entrefer, ou fonction d'entrefer.

$g_0$  : Epaisseur de l'entrefer de la machine symétrique.

P : permeance de l'entrefer.

$g$  : Glissement.

$r$  : Rayon moyen de l'entrefer de la machine symétrique.

R : Rayon de l'entrefer.

$R_b$  : Résistance d'une barre rotorique.

$R_e$  : Résistance d'un anneau de court-circuit.

$r_s$  : Résistance d'une phase statorique.

$[R_s]$  : Matrice des résistances statoriques.

$[R_r]$  : Matrice des résistances rotoriques.

$[R]$  : Matrice globale des résistances de la machine.

$[V_s]$ : Matrice des tensions statoriques.

$[V_r]$ : Matrice des tensions rotoriques.

$[I_s]$ : Matrice des courants statoriques.

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

Les machines asynchrones sont largement utilisées dans l'industrie. Assurer leur continuité de fonctionnement Nécessite la mise en place de programmes de maintenance préventive et corrective. En effet, la fiabilité et la sûreté de leur fonctionnement permettent en partie d'assurer la sécurité des personnes, la qualité du service et la rentabilité des installations. La FFT (fast Fourier transformation), sont amplement exploitées au service de l'analyse des vibrations et des courants.

A la lumière de ces évolutions vient notre choix d'aborder le thème de diagnostic appliqué à notre discipline, et plus particulièrement, à la machine asynchrone. Cela, on partant du fait que des études faites sur les pannes des machines asynchrones, ont montrée que près de 40% sont liées aux roulements, 38% sont concentrées au niveau du stator et 10% au niveau du rotor, le reste (12%) touche d'autres parties de la machine [3]

Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés au diagnostic des défauts au niveau du rotor dans un moteur asynchrone à cage d'écureuil et nous étudions en particulier l'excentricité statique et mixte, L'étude a été répartie en trois chapitres :

- ◆ Dans le premier chapitre, on présente les causes et les natures des différents défauts et aussi les méthodes de diagnostic, c'est en quelque sorte, l'état de l'art du problème.
- ◆ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation et la formulation mathématique du modèle multi-enroulement de la machine asynchrone triphasée à cage.
- ◆ Pour le troisième chapitre on va présenter les résultats de simulation de l'excentricité statique et mixte par la présentation des courbes d'évolution ou de tendance des harmoniques caractéristiques du défaut d'excentricité mixte en particulier.

# **Chapitre I :**

Etat d l'art

## **I.1.INTRODUCTION**

La machine asynchrone est la plus utilisée dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité. Son seul point noir est l'énergie réactive. La machine asynchrone est très appréciée dans les milieux industriels par sa robustesse, son couple massique important et son faible coût de revient. Elle apparaît maintenant comme élément de base des actionneurs électriques performants.

Jusqu'à présent, la détection de la vitesse du moteur sans capteurs est encore un sujet de recherche ouverte. En fait, l'estimation de la vitesse du rotor est d'une importance critique pour une grande variété d'applications dans le domaine de génie électrique, y compris le diagnostic des défauts.

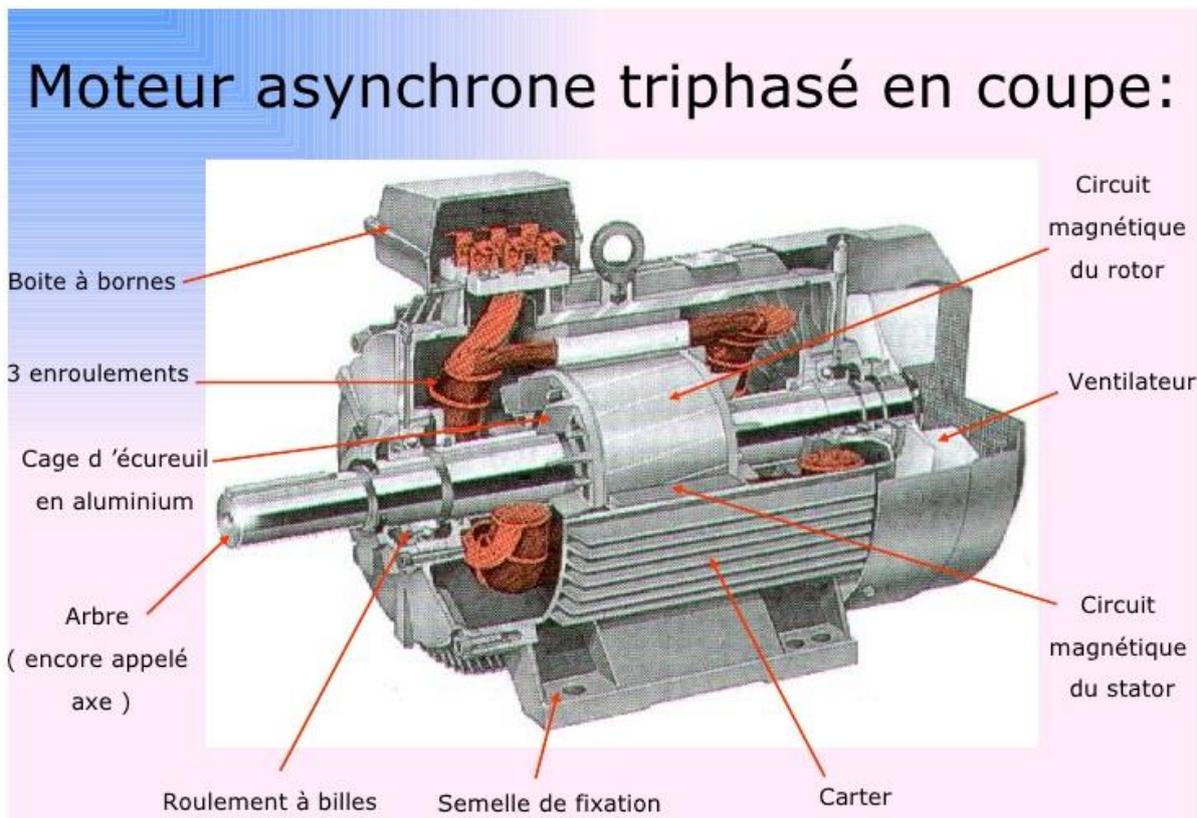
## **I.2. CONSTITUTION DE LA MACHINE ASYNCHRONE**

### **I.2.1. Moteur Asynchrone (MAS)**

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieure ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, on définit deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil. Toutefois, nous admettons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, nous intéressent à la machine asynchrone à cage d'écureuil.

Les éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil sont illustrés dans la [1]

Fig. (I.1).



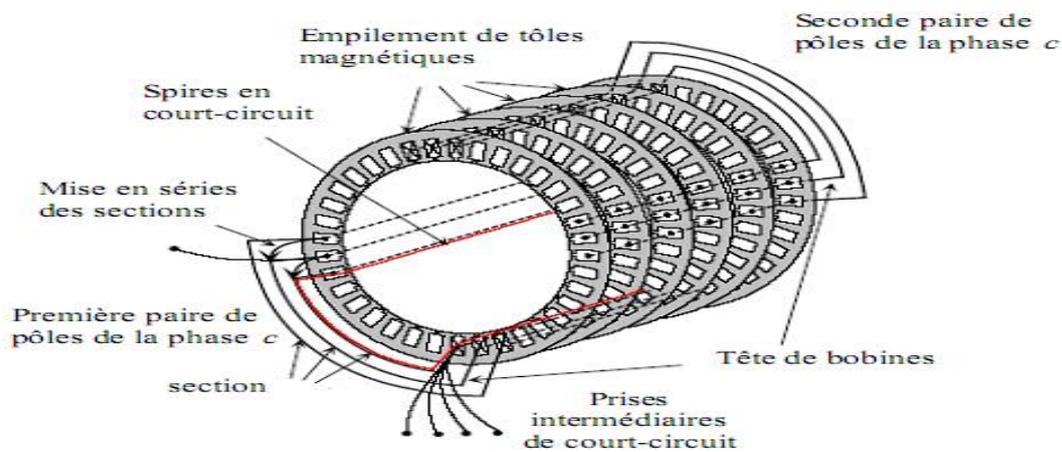
**Fig. I.1.** Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.

### I.2.2. Le stator

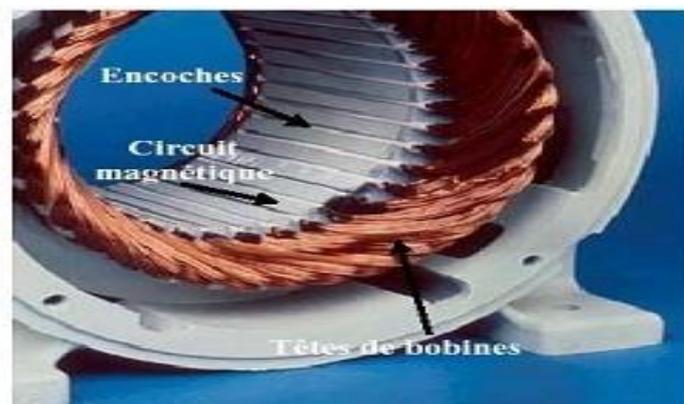
Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont comportées des encoches parallèles à l'axe de la machine Fig. (I.2).

Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines.

Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique.



**Fig. I.2.** Vue schématique en perspective du stator (circuit magnétique, conducteurs d'encoches, tête de bobines). (Enroulement statorique d'une machine à 4 pôles).



**Fig. I.3.** Photo du stator d'une machine asynchrone.

### I.2.3. Le rotor à cage

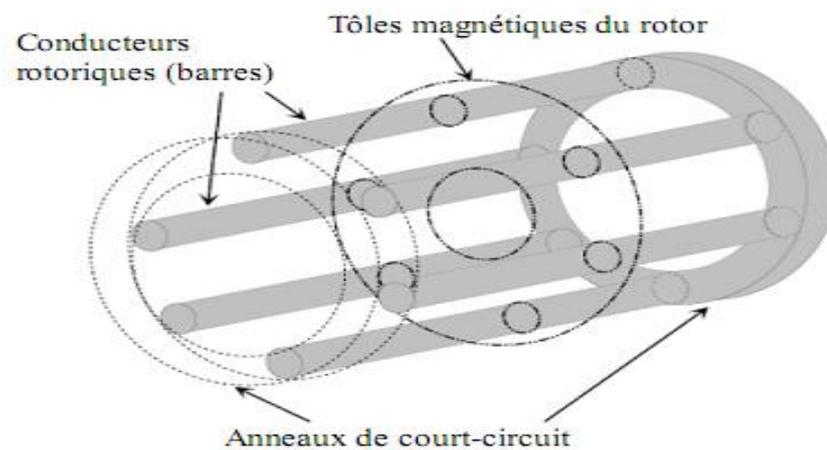
Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barres rotoriques) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor Figure I.4 et Figure I.5. Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine analogue à celui du moteur à rotor bobiné [1].

Dans le cas de rotors à cage d'écureuil, les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettées dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les

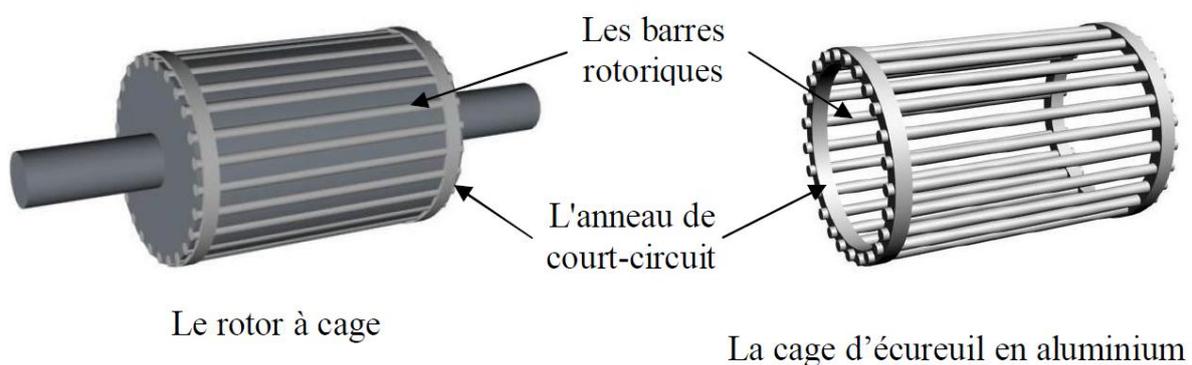
tôles magnétiques, mais leur résistance est suffisamment faible pour que les courants de fuite dans les tôles soient négligeables, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre.

Le moteur à cage d'écureuil est beaucoup plus simple à construire que le moteur à rotor bobiné et, de ce fait, son prix de revient est inférieur. De plus, il dispose d'une plus grande robustesse. Il constitue la plus grande partie du parc de moteurs asynchrones actuellement en service.

Son inconvénient majeur est qu'il a, au démarrage, de mauvaises performances (courant élevé et faible couple). C'est pour remédier à cette situation qu'ont été développés deux autres types de cages (rotor à double cage et rotor à encoches profondes).



**Figure. I.4.** Vue schématique en perspective du rotor (tôles magnétiques, conductrices d'encoches (barres) et anneaux de court-circuit.



**Figure. I.5.** Photo du rotor d'une machine asynchrone.

### **I.3.DEFINITIONS :**

#### **I.3.1. La Maintenance**

La tâche principale d'un ingénieur est de garantir la disponibilité des systèmes industriels, c'est-à-dire, d'assurer que le système fonctionne lorsqu'on le sollicite. La responsabilité de cette tâche repose sur la maintenance. Selon l'association française de normalisation (AFNOR), la maintenance est « ensembles des activités destinées à maintenir ou à établir un bien dans un état pour accomplir une fonction requise ». Il y a deux grandes classes de la maintenance :

- \_ Maintenance corrective ;
- \_ Maintenance préventive : - systématique ; - conditionnelle.

##### **I.3.1.1. Maintenance Corrective**

C'est un ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien. Autrement dit, la maintenance corrective est effectuée après la détection d'une panne : Elle devra s'appliquer automatiquement aux défaillances complètes et soudaines. Ce type de maintenance sera réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques pour la production et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité. [2]

##### **I.3.1.2 Maintenance Préventive**

Ce type de maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des équipements au cours de l'utilisation. La mise en pratique de ce type de maintenance nécessite la décomposition des sous-systèmes en composants (roulement, circuit magnétique, etc...). Les buts de la maintenance préventive, sont :

- \_ Augmenter la durée de vie des équipements.
- \_ Diminuer le budget de la maintenance.
- \_ Supprimer les causes des accidents graves.

On distingue deux types de la maintenance préventive :

### **I.3.1.2.1. Maintenance préventive systématique**

La maintenance systématique est un type de maintenance planifiée dans le temps (graissage, lubrification, nettoyage, dépoussiérage, calibrage,...). Il s'agit là d'éviter les causes de défaillances et de vieillissement des composantes du système.

Généralement, la maintenance préventive systématique s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, mais ne revenant pas trop cher en changement (les meilleurs exemples sont le changement systématique de l'huile, des filtres, changement de la courroie de synchronisation, des roulements, des paliers de rotation ...).

### **I.3.1.2.2. Maintenance préventive conditionnelle**

C'est un type de maintenance déclenché suite à un symptôme observable (température, vibration, jeu excessif, ...) permettant de prédire une défaillance prochaine. Il s'agit là d'intervenir juste avant que la panne ne survienne. La maintenance préventive conditionnelle est réalisée dès lors qu'une mesure dépasse une valeur précise (seuil) d'une grandeur physique (température, pression...). [2]

## **I.4. ORIGINES DES DEFAUTS :**

Les origines des défauts sont souvent de natures différentes, mais sont généralement fortement liées les uns aux autres. On cite comme causes majeurs :

- a) -Cause thermiques : balourds thermiques, points chauds, températures ambiantes élevées...
- b) -Entourage du moteur (tensions et transitoires d'alimentation, inverseurs, air de refroidissement, mauvais courant de charge, surcharges, corrosion, humidité.....).
- c) -Causes mécaniques et mauvais emploi du moteur (Abus) (résonance avec la commande de vitesse, chocs en service, vibrations, jeux excessifs, balourds mécaniques...).
- d) -Fabrication imparfaite.
- e) -Erreurs pendant la réparation (taille et type inapproprié d'enroulement, roulements inadéquats...).
- f) -Epuisement de la durée de vie du moteur.[3]

## I.5. METHODES DE DIAGNOSTIC [4] [5]

Le raisonnement et la connaissance sont deux éléments clés dans la solution d'un problème. Le diagnostic est au niveau conceptuel une distribution systématique des symptômes en diverses catégories de défauts. Par rapport à la connaissance et au raisonnement deux grandes classes des méthodes de diagnostic existant :

- les méthodes internes et externes.
- les méthodes inductives et déductives

### I.5.1 Méthodes externes

Les méthodes externes de diagnostic supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine acquise par apprentissage, ces méthodes se basent sur l'analyse des signaux que fournit la machine lors de son fonctionnement, les signaux utilisables peuvent être :

Flux d'entrefer, puissance instantanée, courant statorique et vibration acoustique.

### I.5.2 Méthodes internes

La connaissance du modèle permet de décrire les relations de cause à effet, ces méthodes requièrent une connaissance approfondie du fonctionnement sous la forme de modèle mathématique, ces méthodes utilisent un modèle pour reproduire le comportement du système.

On distingue ces méthodes suivant le modèle utilisé.

- *Modèle de simulation* : les modèles analytiques utilisés dans ce mode sont représentés par des équations d'état ou des fonctions de transfert.
- *Observateur (estimateur)* ce modèle est décrit sous une représentation de variable d'état.
- *Estimation paramétrique* : c'est la détermination des vecteurs des paramètres qui gouvernent le comportement dynamique du système.
- *Modélisation des signaux* : dans cette méthode, le contenu spectral, l'évolution temporelle des variables mesurées sont exploitées pour détecter et localiser les défauts, l'analyse spectrale est très utilisée pour détecter des défaillances dans les machines électriques

### I.5.3 Méthodes inductives

Elles correspondent à une approche montante ou recherche en avant, il s'agit de trouver le défaut partir de ses effets sur le système, ces méthodes utilisent un mécanisme de raisonnement en avant qui pour objectif d'interpréter les symptômes ainsi que leur combinaison afin de trouver le défaut.

### I.5.6. Méthodes déductives

Le raisonnement en arrière est la principale caractéristique de ces méthodes, la méthode déductive doit trouver quels sont les effets dans le système

Une vérification des effets trouvés par rapport aux effets possibles permet de confirmer l'existence d'un défaut.

Le diagnostic peut utiliser soit un seul type de raisonnement (avant ou arrière) soit une combinaison de raisonnement (avant et arrière) dans ce dernier cas le raisonnement appelé mixte ou avant arrière.

## I.6. DIFFERENTS DEFAUTS DANS LA MACHINE ASYNCHRONE A CAGE

### I.6.1. Défauts statorique

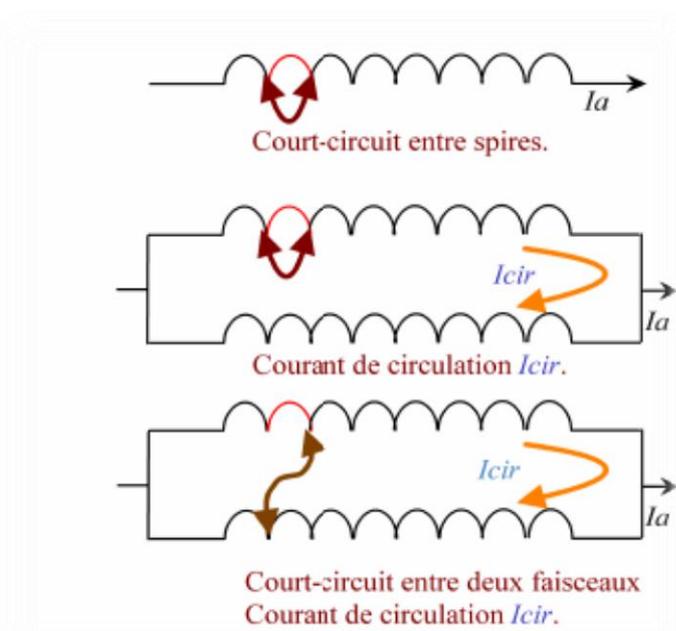
A partir des études théoriques, il a été montré que le courant statorique avait un spectre enrichi par la création d'un court-circuit au stator, les fréquences additionnelles sont données par la relation suivante [4] [6] :

$$f_{cc} = f_s \left\{ \frac{n}{p} (1 - g) \pm k \right\}$$

Où  $f_{cc}$  : fréquence de court-circuit

$n$  : entier naturel

Les différents courts-circuits sont représentés dans la figure ci-dessous



**Figure I.6 :** Différents court circuits au stator

Dans ces deux derniers cas, il peut y avoir existence d'un courant de circulation ( $I_{cir}$ ) dans ces deux faisceaux car la différence de potentiel est différente entre les extrémités de ceux-ci, il y'a aussi autres défauts statorique

- coupure d'une phase,
- défaut d'isolation,
- défauts du circuit magnétique (rupture de tôle).

### **I.6.2. Défauts rotorique**

L'analyse du spectre du courant statorique en régime permanent fournit des indications sur les défaillances rotorique telles que les ruptures de barres, d'anneaux de court-circuit ou l'excentricité d'entrefer [4] [6].

### **I.6.3. Défaut de cassure de barre**

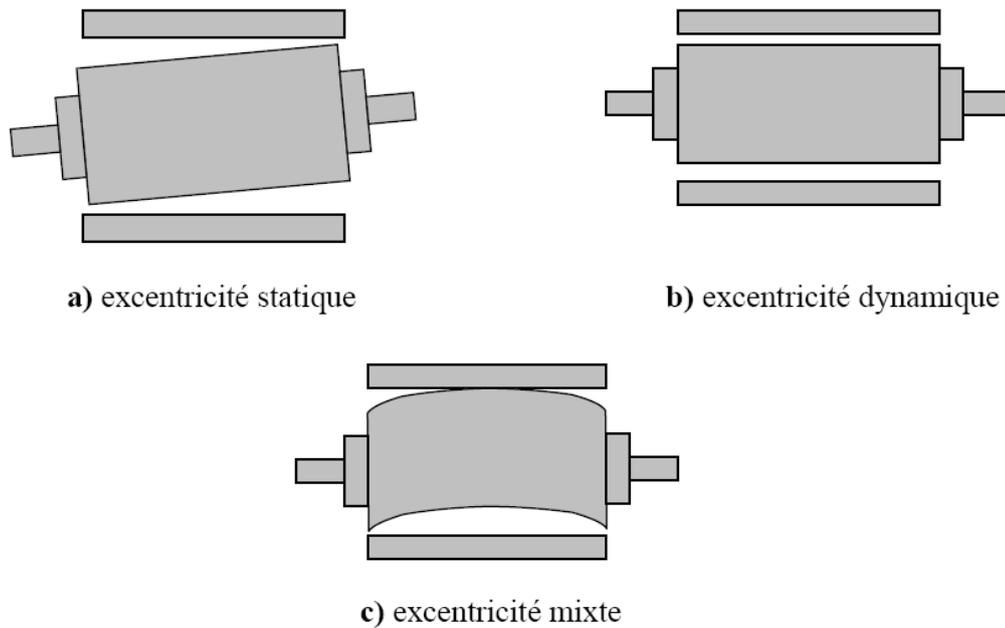
La cassure de barre rotorique provoque une dissymétrie du rotor. Le résultat de la dissymétrie réside dans la création d'un champ tournant de sens opposé a celui génère par le stator, et cela à la fréquence de glissement par conséquent, il y'aura création d'un courant supplémentaire dans le bobinage statorique, la relation de la fréquence est donnée sous la forme :

$$f_{bc} = (1 \pm 2kg)f_s$$

**$f_{bc}$  : fréquence de barre cassé.**

### **I.6.4. Défaut d'excentricité [HUB 02]**

La géométrie du rotor peut présenter des dissymétries qui sont naturelles celles ci relèvent de trois catégories qui sont pour l'essentiel :



**Figure I.7 :** Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte

a) L'excentricité statique correspond au cas le centre de rotation du rotor n'est pas celui du centre géométrique du stator.

b) L'excentricité dynamique correspond, elle a un centre de rotation du rotor différent du centre géométrique du stator mais, de plus le centre de rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator.

c) L'excentricité mixte est la somme des deux cas présentés ci-avant

Les fréquences induites proche, du fondamental, sont données par [6] :

$$f_{exe} = \left[ 1 \pm n \left( \frac{1-g}{p} \right) \right] f_s$$

Fexe: Fréquence d'excentricité

Une seconde approche consiste à utiliser une expression liant le défaut de barre casée à celle de l'excentricité et des encoches au rotor. C'est ainsi qu'une équation sous forme compacte, fait apparaître les harmoniques de fréquences relatives à ces défauts et qui dépendent pour beaucoup du nombre de pair de pôles.

Les causes de l'excentricité peuvent être dues au positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à l'usure des paliers ou à la torsion de l'arbre.

## **I.7. CONCLUSION**

Dans ce chapitre nous avons présentés des notions très importantes en diagnostic, tels que les défauts pouvant affecter la machine asynchrone, leurs causes et leurs conséquences, ainsi que les méthodes utilisées en diagnostic. Notre travail est consacré à l'étude et à la détection des cassures de barres et d'anneaux de court-circuit dans la cage rotorique d'un moteur asynchrone. Pour cela, il faut disposer d'un bon modèle mathématique, décrivant le comportement dans l'état sain et avec défaut. Ceci fait l'objet du chapitre suivant.

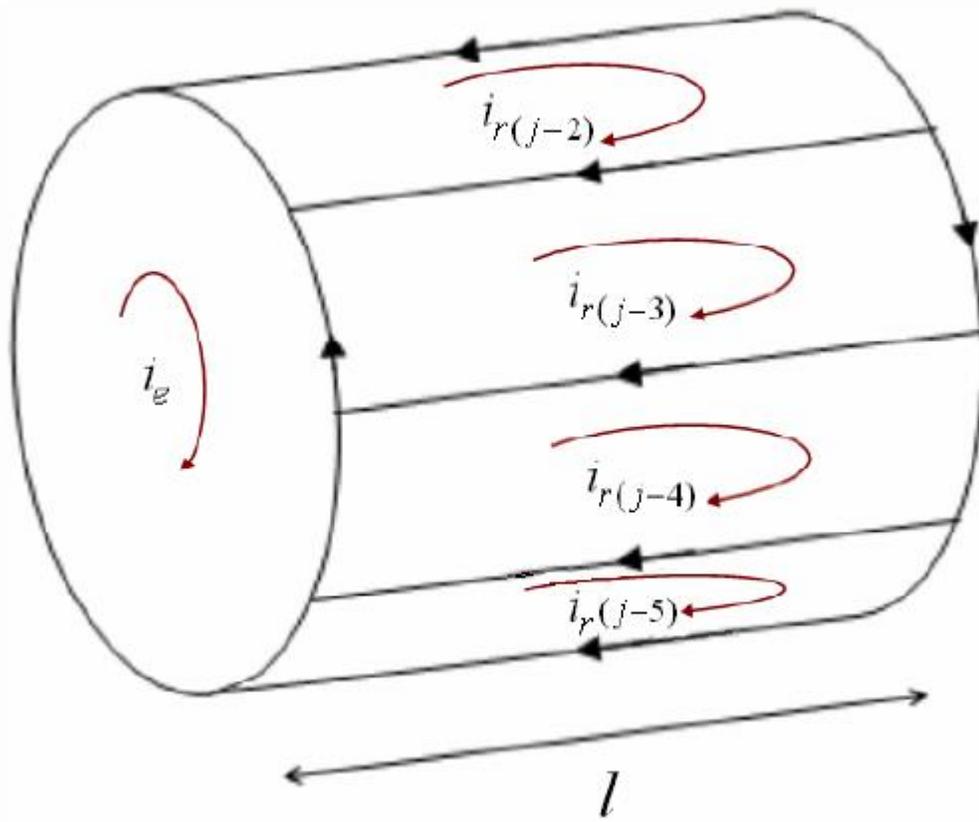
**Chapitre II :**  
Modélisation de  
moteur asynchrone  
triphase

## **II.1 : INTRODUCTION**

Le modèle multi-enroulements, défini dans le but de mieux se rapprocher de la structure réelle du rotor à cage, suppose que celui-ci regroupe un nombre de mailles formant Un enroulement polyphasé, chaque maille est constituée de deux barres adjacentes et les deux portions d'anneau de court-circuit qui les relie [3]. Une telle structure a été utilisée avec profit dans le diagnostic de la machine asynchrone. Ce chapitre exposera un modèle qui traitera le cas de la prise en compte de la disposition des bobines dans les encoches statorique.

## **II.2 : MODELE MULTI-ENROULEMENTS**

La figure II.1 représente le rotor d'une machine asynchrone à cage assimilé à un enroulement polyphasé, chaque maille est constituée de deux barres adjacentes et de deux portions d'anneau de court-circuit. Le circuit statorique est composé d'un enroulement triphasé qui peut être placé dans les encoches statoriques selon différentes manières définissant ainsi le type de bobinage adopté.[3]



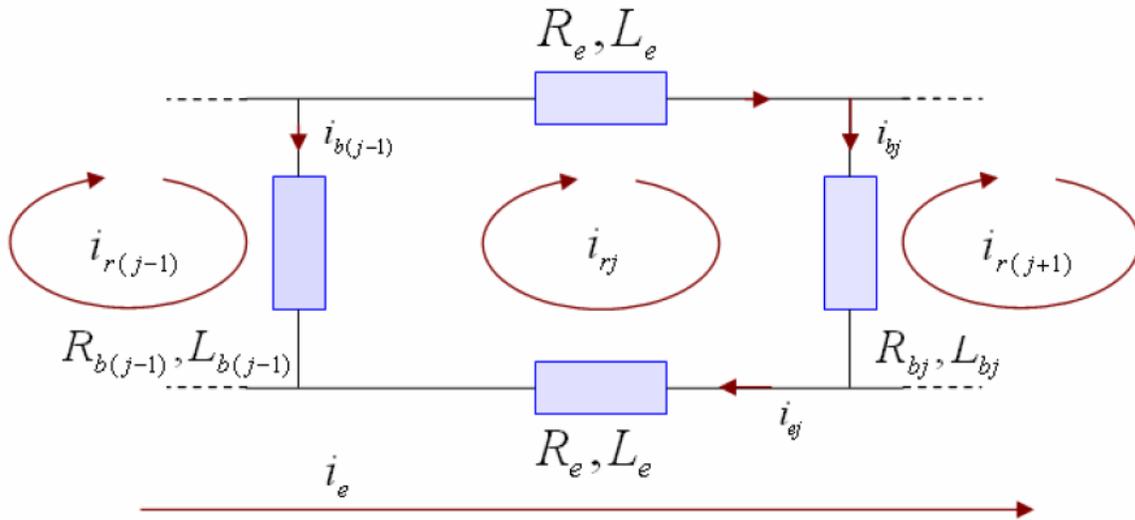
**Figure II.1.** Structure multi-enroulements du rotor.

Partant de cette représentation, il serait possible d'établir les équations générales régissant le fonctionnement en se basant sur des hypothèses simplificatrices dont les plus importantes sont:

1. Pas de saturation dans le circuit magnétique.
2. L'hystérésis et les courants de Foucault sont négligeables.
3. Pas de phénomène de l'effet de peau.
4. La perméabilité du fer est supposée

### II.2.1 Equations des tensions

La figure II.2 montre le circuit électrique équivalent d'une maille rotorique, là où les barres rotoriques et les portions d'anneaux de court-circuit sont représentées par leurs résistances et inductances de fuite correspondantes. [3]



**Figure II.2.** Circuit électrique équivalent de la cage rotorique.

En faisant référence à la figure II.2, les équations des tensions des trois phases statoriques et des  $(N_b + 1)$  mailles rotoriques seront :

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d[\psi_s]}{dt} \quad (II.1)$$

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d[\psi_r]}{dt} \quad (II.2)$$

Où  $[\psi_s]$  et  $[\psi_r]$  représentent les vecteurs regroupant les flux totaux à travers les enroulements statoriques et rotoriques respectivement.  $[I_s]$  et  $[I_r]$  sont les courants correspondants :

$$[\psi_s] = [L_{ss}][I_s] + [L_{sr}][I_r] \quad (II.3)$$

$$[\psi_r] = [L_{rs}][I_s] + [L_{rr}][I_r] \quad (II.4)$$

$$[V_s] = [V_{sA} \quad V_{sB} \quad V_{sC}] \quad (II.5)$$

$$[V_r] = [V_{r1} \quad V_{r2} \quad \dots \quad V_{rNb} \quad V_{re}]^T \quad (II.6)$$

$$[I_s] = [i_{sA} \quad i_{sB} \quad i_{sC}]^T \quad (II.7)$$

$$[I_r] = [i_{r1} \quad i_{r2} \quad \dots \quad i_{rNb} \quad i_{re}]^T \quad (II.8)$$

Tel que  $i_{rj}$  et  $i_{re}$  sont respectivement les courants de la  $j^{ème}$  maille rotorique et de l'anneau de court-circuit.  $V_{rj}$  et  $V_{re}$  sont les tensions correspondants avec, pour un rotor à cage (mailles court-circuitées),  $V_{re} = 0$  et  $V_{rj} = 0$  ;  $j = 1, 2, \dots, N_b$

Les matrices des résistances sont des matrices symétriques.  $[R_s]$  est une matrice  $3 \times 3$ , tandis que  $[R_r]$  possède  $(N_b + 1) \times (N_b + 1)$  éléments qu'on peut reconstituer à partir des lois relatives aux circuits électriques. [3]

Soit dans ce cas:

$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_{r1} + R_{rN_b} + 2R_e & -R_{r1} & 0 & \dots & -R_{rN_b} & \vdots & -R_e \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -R_{r(j-1)} & R_{rj} + R_{r(j-1)} + 2R_e & -R_{rj} & 0 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -R_{rN_b} & 0 & \dots & \dots & R_{r(N_b-1)} + R_{rN_b} + 2R_e & \vdots & -R_e \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -R_e & \dots & \dots & \dots & -R_e & \vdots & N_b R_e \end{bmatrix}$$

(II.10)

Avec :  $[I]$  matrice identité,  $r_s$  la résistance d'une phase statorique,  $R_{rj}$  la résistance de la  $j^{ème}$  barre rotorique et  $R_e$  la résistance d'un segment d'anneau de court-circuit.

Comme le montrent les expressions (II.11) et (II.12), les matrices des inductances statoriques et rotoriques sont des matrices  $3 \times 3$  et  $(N_b + 1) \times (N_b + 1)$  respectivement, exprimées en diagonale par les inductances propres de chaque enroulement, et dans le reste, par les inductances mutuelles entre enroulements (phases statoriques ou mailles rotoriques).

Les expressions détaillées des éléments de chaque matrice seront exposées par la suite : [3]

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_A & L_{AB} & L_{AC} \\ L_{BA} & L_B & L_{BC} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_c \end{bmatrix} \quad (II.11)$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{rlr2} - L_b & \cdots & L_{rlr(N_b-1)} & L_{rlrN_b} - L_b & \vdots & -L_e \\ L_{r2r1} - L_b & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & \cdots & L_{r2r(N_b-1)} & L_{r2rN_b} & \vdots & -L_e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{r(N_b-1)r1} & L_{r(N_b-1)r2} & \cdots & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & L_{r(N_b-1)rN_b} - L_b & \vdots & -L_e \\ L_{rN_b r1} - L_b & L_{rN_b r2} & \cdots & L_{rN_b r(N_b-1)} - L_b & L_{mr} + 2(L_b + L_e) & \vdots & -L_e \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -L_e & -L_e & -L_e & -L_e & -L_e & \vdots & N_b L_e \end{bmatrix}$$

(II.12)

Quant à  $[L_{sr}]$ , elle comporte  $3 \times (N_b + 1)$  éléments qui constituent les inductances mutuelles entre les phases statoriques et les mailles rotoriques. Et elle est donnée par :

$$[L_{sr}] = \begin{bmatrix} L_{Ar1} & L_{Ar2} & \cdots & L_{Ar(N_b-1)} & L_{ArN_b} & 0 \\ L_{Br1} & L_{Br2} & \cdots & L_{Br(N_b-1)} & L_{BrN_b} & 0 \\ L_{Cr1} & L_{Cr2} & \cdots & L_{Cr(N_b-1)} & L_{CrN_b} & 0 \end{bmatrix}$$

Là où  $L_{Arj}$  représente l'inductance mutuelle entre la phase statorique A et la  $j^{ème}$  maille rotorique. Pour ce qui est de  $[L_{rs}]$ , elle est une matrice  $(N_b + 1) \times 3$  qu'on obtient de la même façon en posant à la place des  $L_{Arj}$  les inductances mutuelles  $L_{rjA}$ . De même pour les phases B et C. L'inductance mutuelle entre chaque phase statorique et l'anneau de court-circuit est négligée du fait qu'ils peuvent être assimilés à des bobines à axes perpendiculaires. [3]

En regroupant les équations (II.1) et (II.2) dans une même équation matricielle, nous aboutissons à :

$$[V] = [R][I] + \frac{d([L][I])}{dt}$$

ce qui donne :

$$[V] = [R][I] + [I] \frac{d\theta_r}{dt} \cdot \frac{d[L]}{d\theta_r} + [L] \frac{d[I]}{dt} \quad (\text{II.15})$$

$$[V] = [R][I] + [I] \Omega_r \cdot \frac{d[L]}{d\theta_r} + [L] \frac{d[I]}{dt} \quad (\text{II.16})$$

tel que :

$$[V] = \begin{bmatrix} [V_s] \\ [V_r] \end{bmatrix}, \quad [I] = \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix} \quad (\text{II.17})$$

$$[R] = \begin{bmatrix} [R_s] & 0 \\ 0 & [R_r] \end{bmatrix}, \quad (\text{II.18})$$

$$[L] = \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{rs}] & [L_{rr}] \end{bmatrix}, \quad (\text{II.19})$$

$$\Omega_r = \frac{d\theta_r}{dt}, \quad (\text{II.20})$$

$\theta_r$  est la position angulaire du rotor mesurée par rapport à une référence de phase fixe par rapport au stator, elle est appelée aussi angle mécanique. Tandis que  $\Omega_r$  représente la vitesse mécanique de l'arbre de la machine.

### II.2.2 Equations mécanique

Selon l'application à laquelle est désigné le moteur, il est possible de définir l'équation mécanique du mouvement associé.

$$J_T \cdot \frac{d\Omega_r}{dt} + f_v \Omega_r = C_e - C_r, \quad (\text{II.21})$$

$C_e$  est le couple électromagnétique,  $C_r$  le couple résistant,  $f_v$  le coefficient de frottement visqueux et  $J_T$  le moment d'inertie total des parties tournantes.

Pour un circuit magnétique linéaire, la co-énergie est égale à l'énergie emmagasinée.

De ce fait vient :

$$C_e = \left[ \frac{\partial W_{co}}{\partial \theta_r} \right]_{(I_s, I_r, \text{constat})}, \quad (\text{II.22})$$

Avec :

$$W_{co} = \frac{1}{2} \cdot [I]^T \cdot [L] \cdot [I] \quad (\text{II.23})$$

ce qui donne finalement l'expression du couple électromagnétique

$$C_e = \frac{1}{2} \cdot [I]^T \cdot \frac{d[L]}{d\theta_r} \cdot [I], \quad (\text{II.24})$$

Si  $[L_{ss}]$  et  $[L_{rr}]$  sont constantes, et  $[L_{rs}] = [L_{rs}]$ , on obtient l'équation suivante du couple :

$$C_e = \frac{1}{2} \cdot [I_s]^T \cdot \frac{d[L_{sr}]}{d\theta_r} \cdot [I_r], \quad (\text{II.25})$$

### II.2.3 Système d'équations global

Nous pouvons regrouper ces équations dans une représentation matricielle unique pour aboutir à [27]:

$$\begin{bmatrix} [V] \\ -C_r \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left( [R] + \Omega_r \frac{d[L]}{d\theta_r} \right) & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} [I]^T \frac{d[L]}{d\theta_r} & f_v & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [I] \\ \Omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [L] & 0 & 0 \\ 0 & J_T & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I} \\ \dot{\Omega}_r \\ \dot{\theta}_r \end{bmatrix}, \quad (\text{II.26})$$

et une forme condensée :

$$[U] = [B][X] + [A] \cdot \dot{X} \quad (\text{II.27})$$

où le vecteur  $\begin{bmatrix} \dot{X} \end{bmatrix}$  peut être écrit comme suit :

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \end{bmatrix} = [A]^{-1} \cdot [U] - [A]^{-1} \cdot [B][X] \quad (\text{II.28})$$

Nous faisons, ainsi, apparaître le vecteur d'état  $[X]$  et le vecteur  $[U]$  contenant les grandeurs externes à la machine tel que :

$$[U] = \begin{bmatrix} [V] \\ -C_r \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.29})$$

$$[X] = \begin{bmatrix} [I] \\ \Omega_r \\ \theta_r \end{bmatrix} \quad (\text{II.30})$$

Avec la définition des matrices  $A$  et  $B$  donnée par:

$$[A] = \begin{bmatrix} \left( [R] + \Omega_r \frac{d[L]}{d\theta_r} \right) & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} [I]^T \frac{d[L]}{d\theta_r} & f_v & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.31})$$

$$[B] = \begin{bmatrix} [L] & 0 & 0 \\ 0 & J_T & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.32})$$

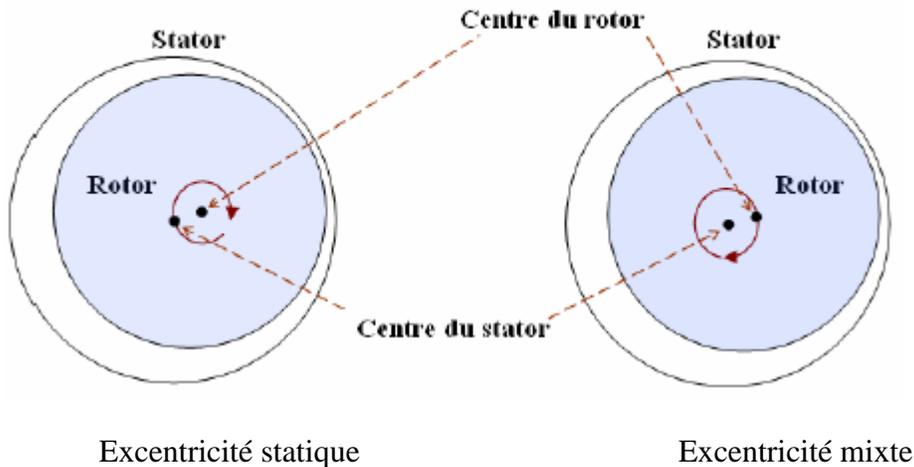
On se retrouve ainsi face à un système d'équations différentielles régissant le fonctionnement de la machine. Pour parvenir à la solution, une méthode numérique doit être mise en œuvre, la méthode explicite de Runge Kutta s'avère la plus utilisée dans ces cas. Bien avant ça, nous devons définir les matrices  $A$  et  $B$  de manière à traduire l'état interne de la machine, à savoir, état sain ou état de défaut. [3]

## II.3 : CALCUL DES INDUCTANCE EN CAS D'EXCENTRICITE

### II.3.1 Formulation

La non-uniformité de l'entrefer peut être radiale ou bien axiale. Parler de la non

uniformité de l'entrefer c'est évoquer principalement le problème d'excentricité du rotor. Cette dernière se répartit en deux catégories. La première est statique, la seconde est dynamique. L'excentricité statique se distingue par le fait que le centre du rotor n'est pas confondu avec celui du stator, tel que des rotors ou noyaux statoriques ovales. L'excentricité dynamique fait que le centre du rotor tourne autour du centre du stator, dans ce type d'excentricité, l'épaisseur minimale de l'entrefer est fonction de la position du rotor (figure II.13). La manifestation des deux excentricités en même temps donne naissance à ce qui est appelé excentricité mixte. Afin de calculer les inductances d'une machine susceptible de présenter ce type de défaut, il est nécessaire de modéliser la variation de l'épaisseur d'entrefer avant de faire intervenir la fonction d'enroulement. [3]



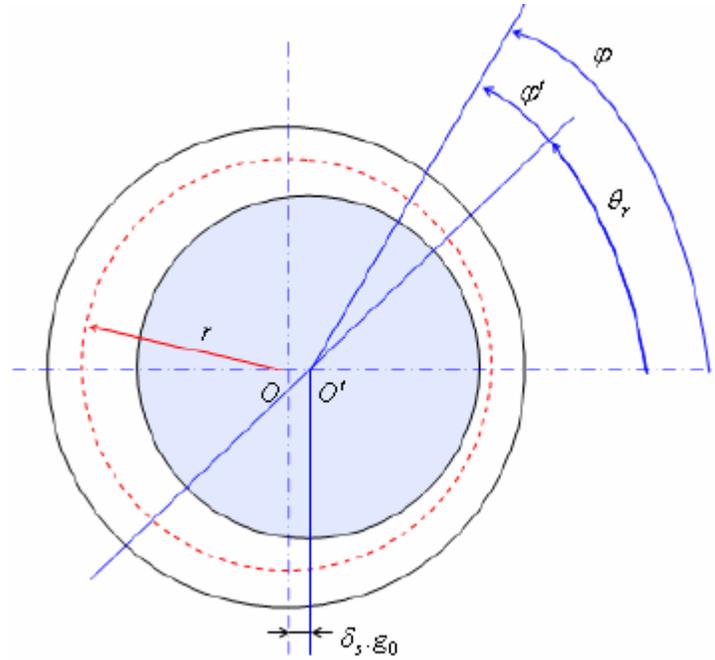
**Figure II.13.** Représentation de l'excentricité statique et dynamique.

### II.3.1.1. Excentricité radiale

L'excentricité est purement radiale si l'épaisseur de l'entrefer pour une ouverture angulaire  $\phi$  donnée, et une position  $\theta_r$  du rotor, est la même le long de l'axe Z de la machine. Autrement dit, la fonction de l'entrefer peut être fonction seulement de  $\phi$  et  $\theta_r$ .

La figure II.14 met en évidence une vue de face d'un rotor statiquement excentrique

par rapport à l'axe de la machine, où  $O$  et  $O'$  désignent les centres du stator et du rotor respectivement. La distance est le décalage entre les deux centres, et reflète le degré de déplacement du rotor. Elle est égale à la variation maximale qui peut survenir sur l'épaisseur de l'entrefer en faisant varier l'ouverture angulaire  $O O' \phi$  de 0 jusqu'à  $2\pi$  (angle mécanique).



**Figure II.14.** Représentation schématique de l'excentricité statique.

Dans le cas de l'excentricité statique, et comme le présente la figure II.14, la fonction d'entrefer aura pour expression [3]

$$g(\varphi) = g_0 \cdot (1 - \delta_s \cos(\varphi)) , \quad (\text{II.33})$$

tel que  $\delta_s$  est le degré d'excentricité statique. Si l'excentricité est dynamique, elle sera exprimée en fonction du degré d'excentricité dynamique  $\delta_d$  comme suit

$$g(\varphi, \theta_r) = g_0 \cdot (1 - \delta_d \cos(\varphi - \theta_r)) \quad (\text{II.34})$$

L'excentricité mixte est la manifestation des deux excentricités, statique et dynamique en même

temps. Soit dans ce cas:

$$g(\varphi, \theta_r) = g_0 \cdot (1 - \delta_s \cos(\varphi) - \delta_d \cos(\varphi - \theta_r)) \quad (\text{II.35})$$

Et si on tient compte de la représentation linéaire, il est possible de remplacer  $\varphi$  et  $\theta_r$  par les longueurs des arcs correspondants  $x = r \varphi$  et  $x_r = r \theta_r$ . Il est tout de même possible de rassembler  $\delta_s$  et  $\delta_d$  dans une nouvelle grandeur  $\delta$  caractérisant l'excentricité mixte. Dans ce cas, l'inverse de la fonction d'entrefer s'écrit : [3]

$$g^{-1}(x, x_r) = \frac{1}{g_0 \left\{ 1 - \delta \cos\left(\frac{x}{r} - \rho\right) \right\}} \quad , \quad (\text{II.36})$$

avec :

$$\delta = \sqrt{\delta_s^2 + \delta_d^2 + 2\delta_s \delta_d \cdot \cos(\rho)} \quad , \quad (\text{II.37})$$

et

$$\rho = r \cdot \arctan\left(\frac{\delta_d \sin(x_r / r)}{\delta_s + \delta_d \cos(x_r / r)}\right) \quad (\text{II.38})$$

De plus en plus compliquée, les valeurs des inductances peuvent être trouvées en adoptant une intégration numérique faisant intervenir la fonction d'enroulement modifiée donnée par (II.72), et à partir de (II.80) ou bien (II.91). Cependant, une résolution analytique doit impérativement faire appel à une expression approximative en effectuant un développement en série de Fourier de (II.111) [13],[15]. Nous avons constaté qu'un parfait résultat sera obtenu en s'arrêtant au troisième terme, tel que : [3]

$$P(x, x_r) = g^{-1}(x, x_r) \approx P_0 + P_1 \cos(x/r - \rho) + P_2 \cos(2(x/r - \rho)) \quad , \quad (\text{II.39})$$

avec :

$$P_0 = \frac{1}{g_0 \sqrt{1 - \delta^2}}, \quad (\text{II.40})$$

$$P_1 = 2P_0 \cdot \left\{ \frac{1 - \sqrt{1 - \delta^2}}{\delta} \right\}, \quad (\text{II.41})$$

$$P_2 = 2P_0 \cdot \left\{ \frac{1 - \sqrt{1 - \delta^2}}{\delta} \right\}^2, \quad (\text{II.42})$$

## II.4. CONCLUSION

La modélisation mathématique du défaut d'excentricité une fois achevée sera la base du programme de simulation qui nous permettra d'étudier le fonctionnement de la machine selon plusieurs variantes. C'est ce qui marque le chapitre suivant.

# **Chapitre III :**

## **Résultat et discussion**

### III.1.INTRODUCTION

La machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor). Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers ou d'un défaut de roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage). Dans ce chapitre, nous tentons d'étudier les lois d'évolution des raies caractéristiques du défaut d'excentricité issue d'un programme de simulation approprié. Ces lois nous seront d'une grande utilité dans la compréhension de la nature du défaut ainsi que son évolution selon plusieurs variantes.

#### III.1.1. DEFINITION DES (PSH)

Les moteurs asynchrones triphasés sont généralement alimentés par des tensions non sinusoïdales. Donc, chaque harmonique de l'alimentation produit une paire de RSH dans le spectre du courant statorique. Cependant, les deux RSH dominantes sont ceux produits par l'harmonique fondamentale et ils ont généralement la plus grande amplitude. Ces RSH sont souvent appelés harmoniques principaux d'encoches (PSH). Les fréquences PSH sont données par l'expression suivante : Pour  $k=1$ ,  $f_{PSH} = f_{RSH}$

$$f_{PSH} = \left( \frac{Nb}{p} \cdot (1-g) \pm 1 \right) \cdot f_s$$

### III.2. HARMONIQUE DE PSH D'EXCENTRICITE STATIQUE

#### III.2.1. Pour 10% d'excentricité statique - Avec neutre libre et connecté

Charge (nm)	10	30	40
ampl(PSH1 ) neutre libre	-74.09	-69.43	-70.75
ampl(PSH2) neutre connecté	-45.31	-44.2	0

Tab.III.1 :10% d'excentricité statique

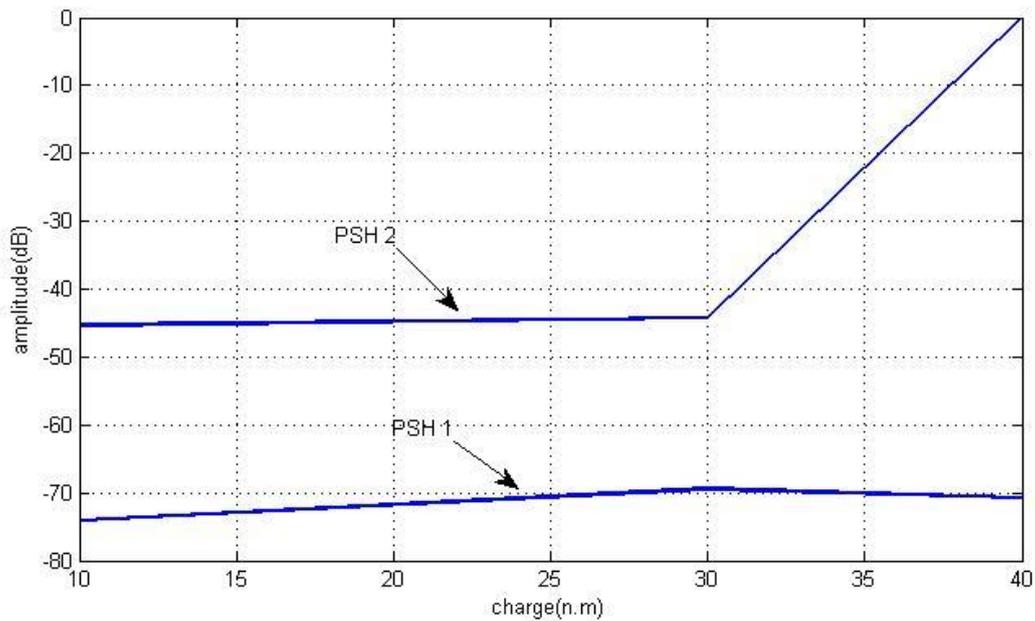


Fig.III.1 : amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

Pour un degré de 10% statique l'amplitude de PSH2 est supérieure à celle de l'amplitude de PSH1, cela est dû au fait que le PSH1 a un ordre multiple de trois et que son apparition ici vient de l'asymétrie causée par le défaut.

L'amplitude de PSH2 augmente lorsqu'il arrive à 30 nm de la charge par contre l'amplitude de PSH1 diminue.

### III.2.2. Pour 20% d'excentricité statique

- Neutre libre :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl (PSH)	-72.82	-68.6	-72.62

Tab.III.2 : 20% d'excentricité statique de neutre libre.

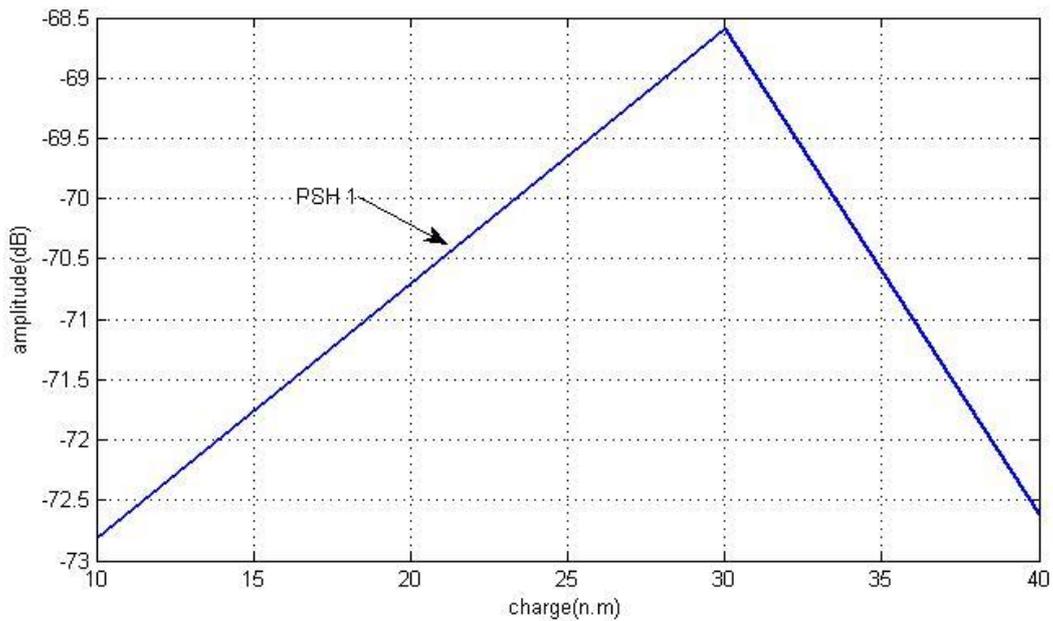


Fig.III.2 : amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

Pour un degré de 20% statique l'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre libre.

augmente lorsque il arrive a 30 n.m de la charge.

- Neutre connecté pour PSH 1 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-73.75	-68.82

Tab.III.3 :20% d'excentricité statique de neutre connecté( PSH1)

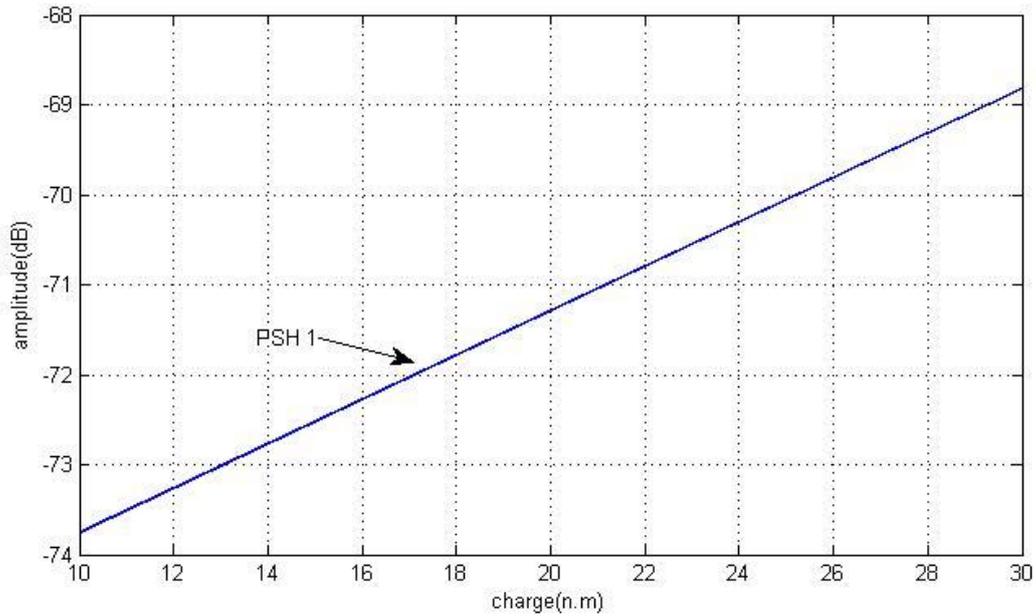


Fig.III.3 : amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

- Neutre connecté pour PSH 2 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-45.2	-43.98

Tab.III.4 :20% d'excentricité statique de neutre connecté( PSH2).

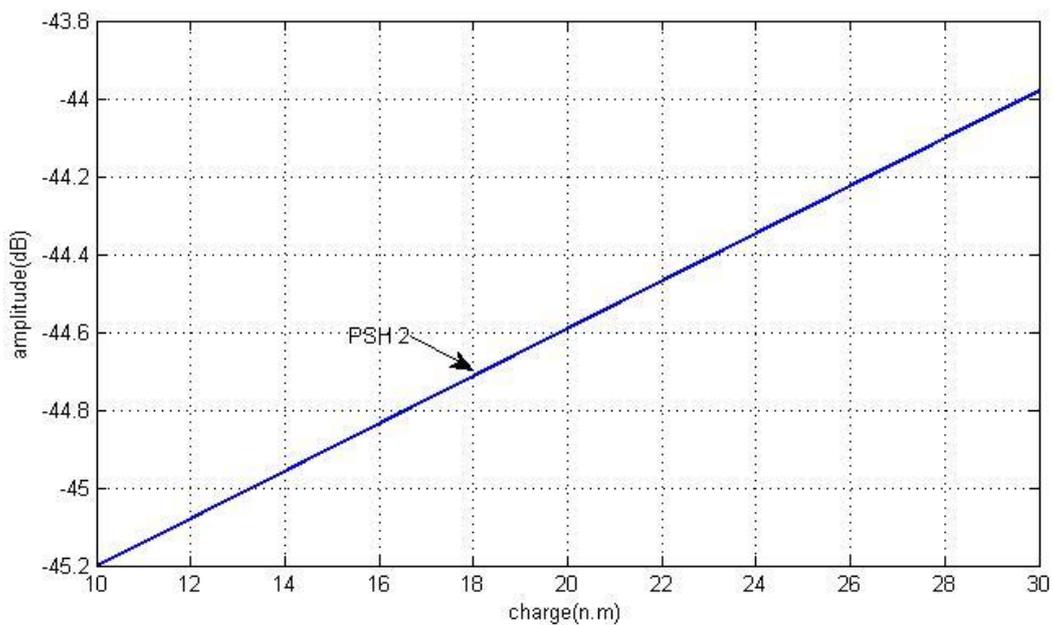


Fig.III.4 : amplitude de PSH2 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH2 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

### III.2.3. Pour 30% d'excentricité statique

-Neutre libre :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl (PSH)	-76.07	-70.4	-62.02

Tab.III.5 :30% d'excentricité statique de neutre libre

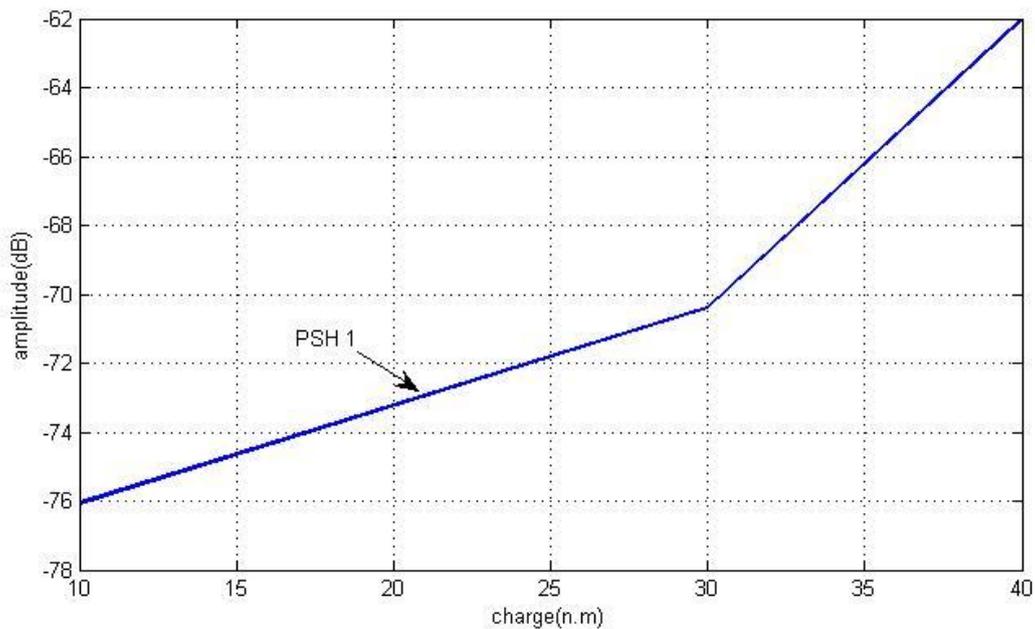


Fig.III.5 : amplitude de PSH1 en fonction de la charge

Pour un degré de 30% statique l'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre libre augmente lorsqu'il arrive à 30 n.m de la charge.

- Neutre connecté pour PSH 1 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-72.9	-71.62

Tab.III.6:30% d'excentricité statique de neutre connecté(PSH1)

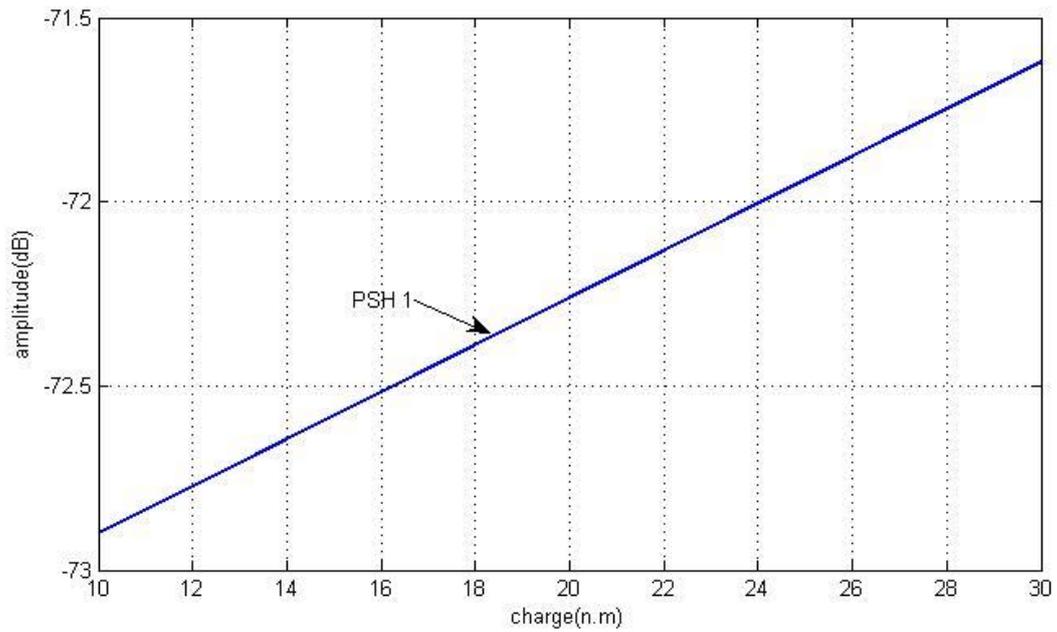


Fig.III.6 : amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

- Neutre connecté pour PSH 2 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-45.02	-43.4

Tab.III.7:30% d'excentricité statique de neutre connecté (PSH2).

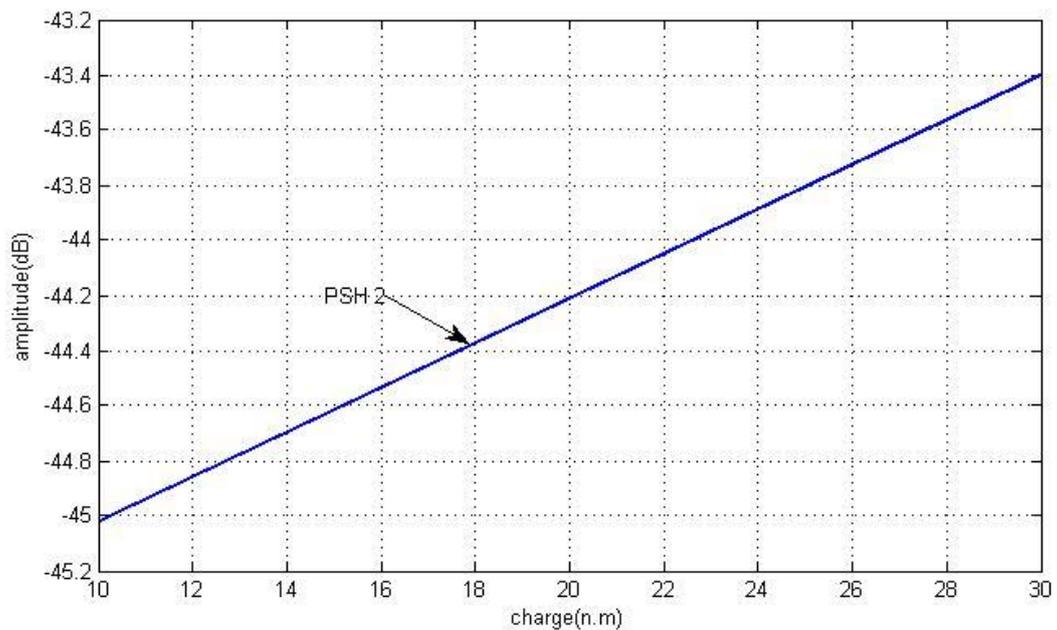


Fig.III.7 : amplitude de PSH2 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH1 de neutre connecté augmente avec la charge.

### III.2.4. Pour 40% d'excentricité statique

- Neutre libre :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl (PSH)	-74.62	-70.8	-67.9

Tab.III.8:40% d'excentricité statique de neutre libre.

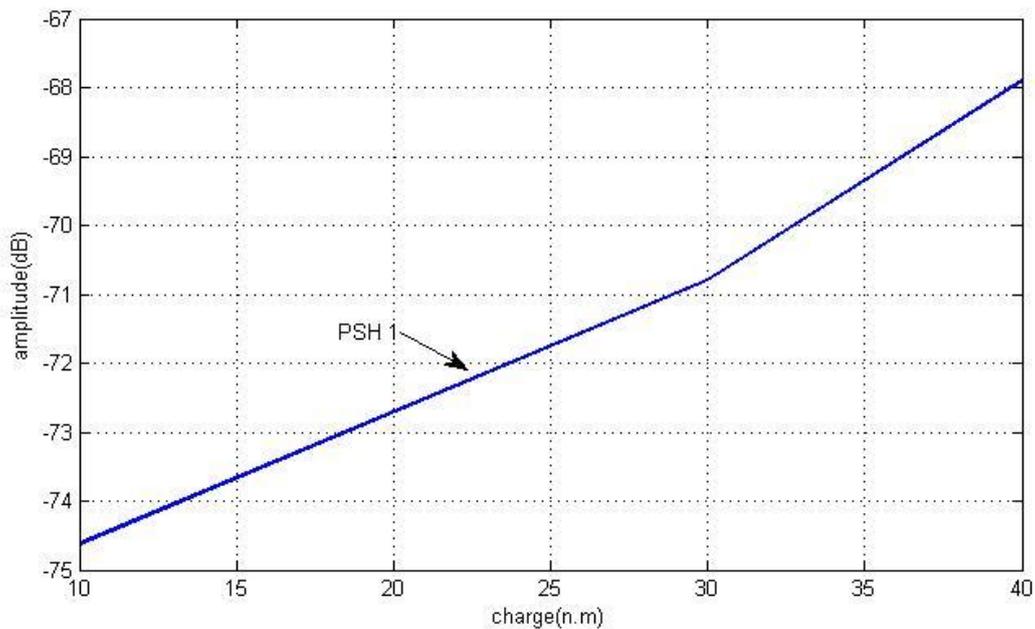


Fig.III.8 : amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre libre augmente avec la charge.

- Neutre connecté pour PSH 1 :

Charge (n.m)	10	30
ampl(PSH 1)	-74.2	-71.1

Tab.III.9:40% d'excentricité statique de neutre connecté(PSH1)

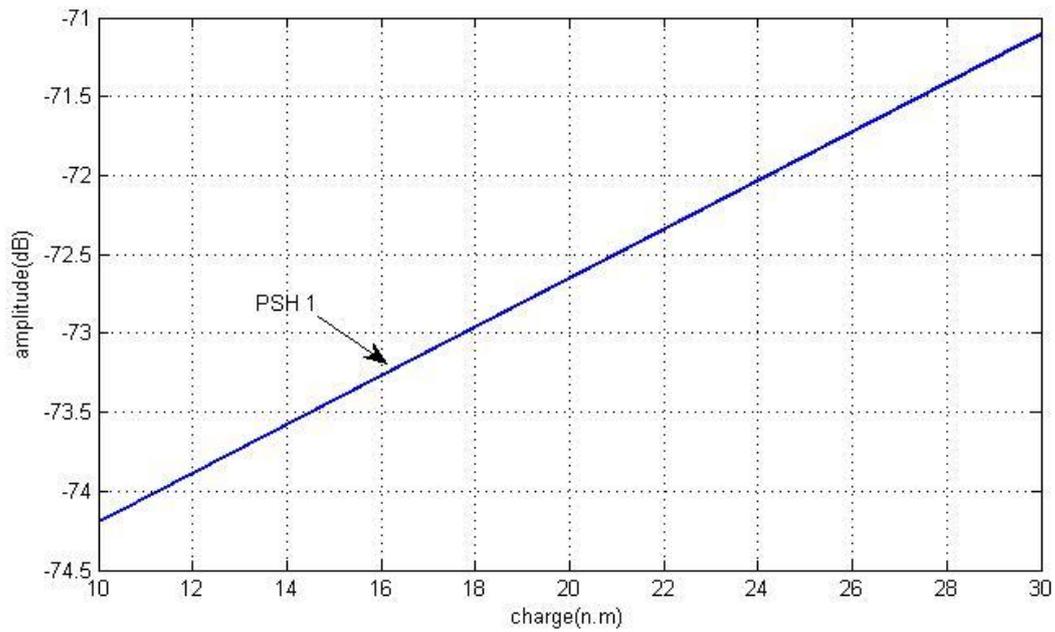


Fig.III.9: amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

- Neutre connecté pour PSH 2 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 2)	-44.8	-43.15

Tab.III.10:40% d'excentricité statique de neutre connecté(PSH2).

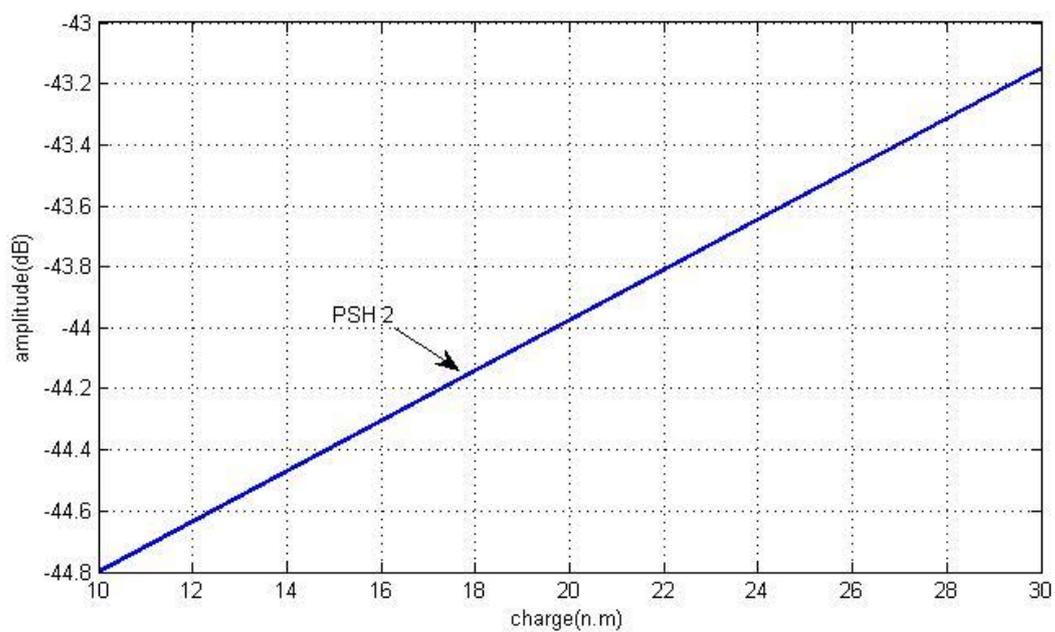


Fig.III.10: amplitude de PSH2 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH2 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

### III.2.5. Pour 50% d'excentricité statique

- Neutre libre :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl (PSH1)	-73.7	-71.12	-67.85

Tab.III.11:50% d'excentricité statique de neutre libre.

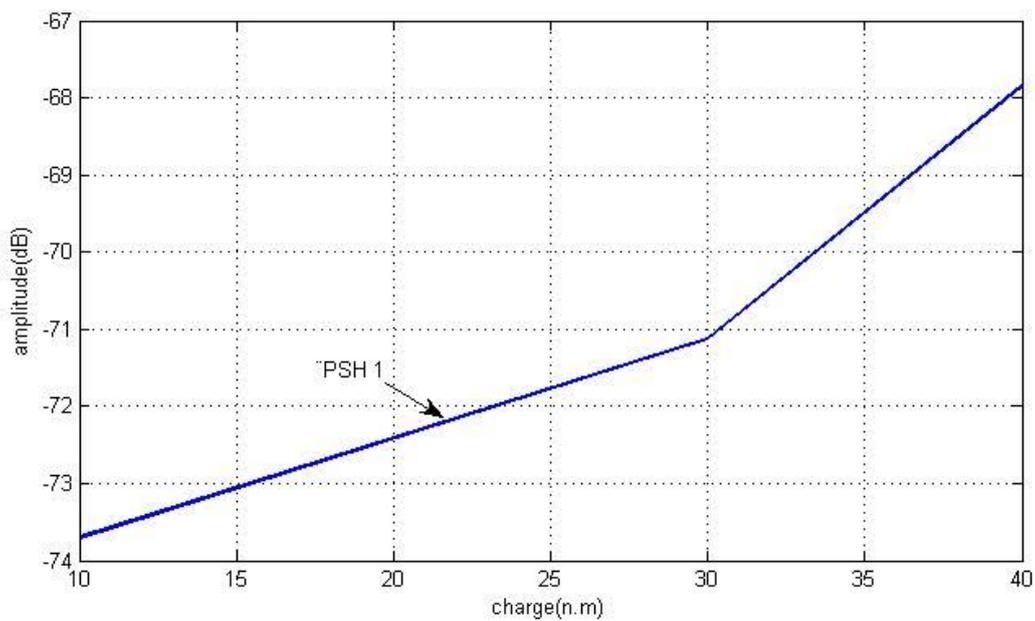


Fig.III.11: amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre libre augmente avec la charge

- Neutre connecté pour PSH 1 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-74.75	-69.55

Tab.III.12:50% d'excentricité statique de neutre connecté(PSH1)

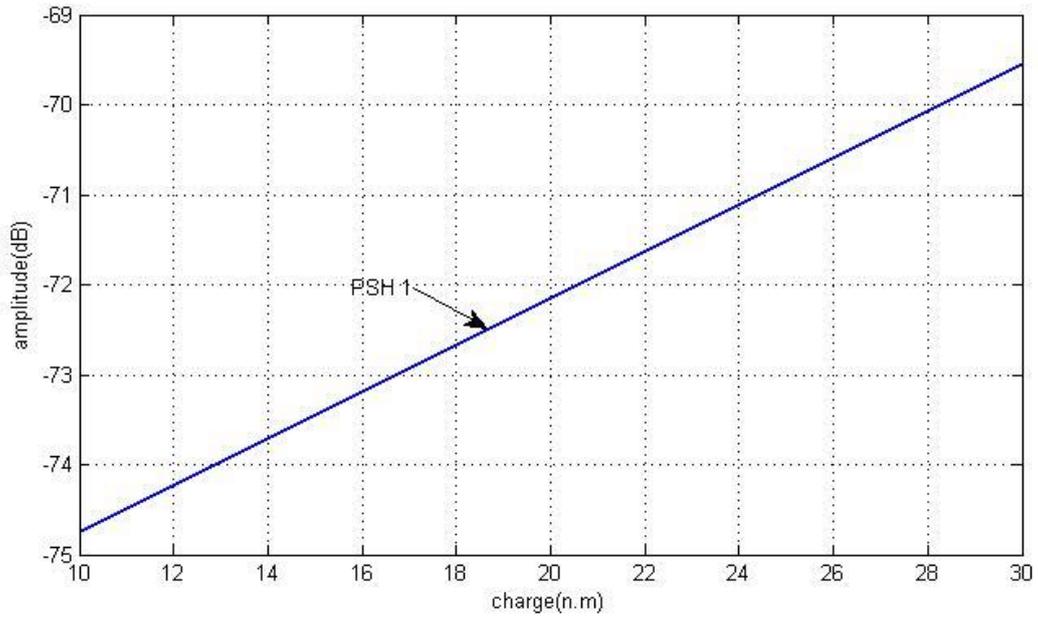


Fig.III.12: amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

. L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

- Neutre connecté pour PSH 2 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-44.5	-43.6

Tab.III.13:50% d'excentricité statique de neutre connecté(PSH2).

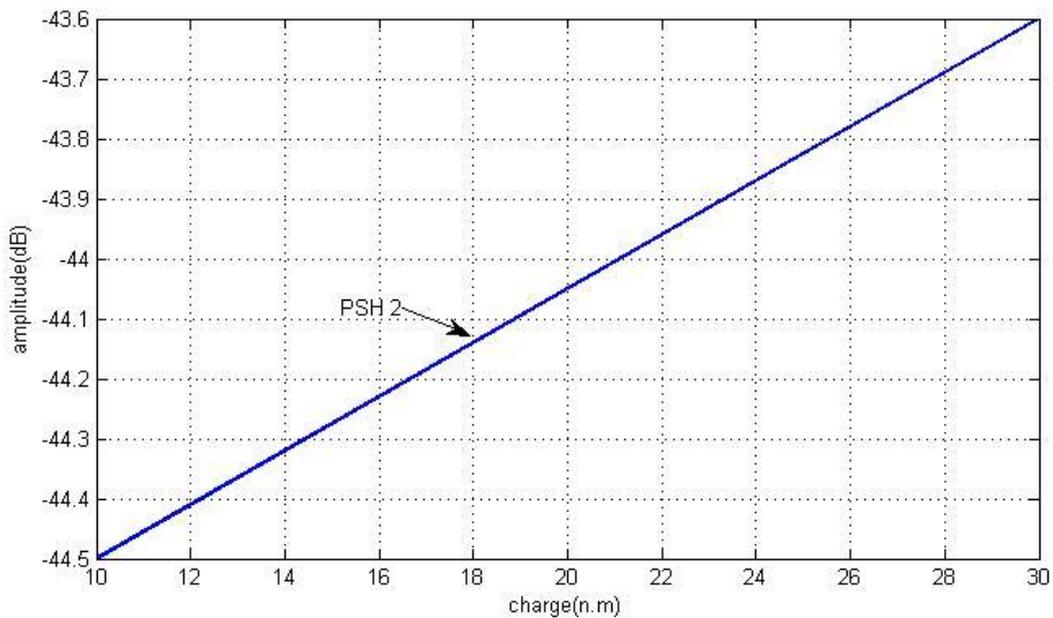


Fig.III.13: amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH2 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

### III.2.6 .Pour 60% d'excentricité statique

- Neutre libre :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl (PSH1)	-73.45	-70.45	-68.75

Tab.III.14:60% d'excentricité statique de neutre libre.

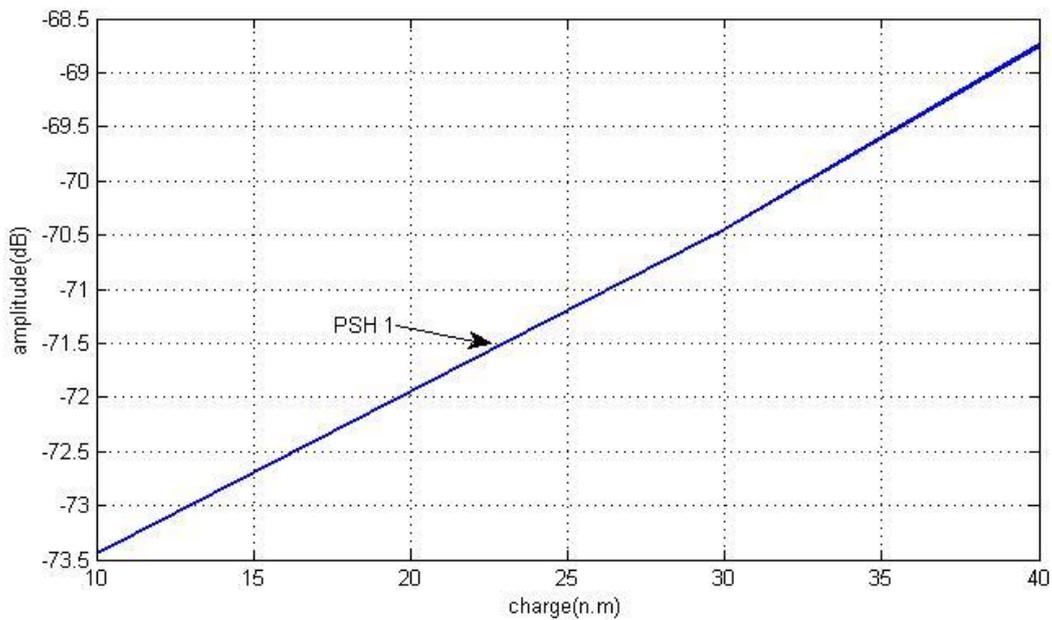


Fig.III.14: amplitude de PSH1 en fonction de la charge

L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre libre augmente avec la charge .

- Neutre connecté pour PSH 1 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-73.85	-71.25

Tab.III.15:60% d'excentricité statique de connecté(PSH1)

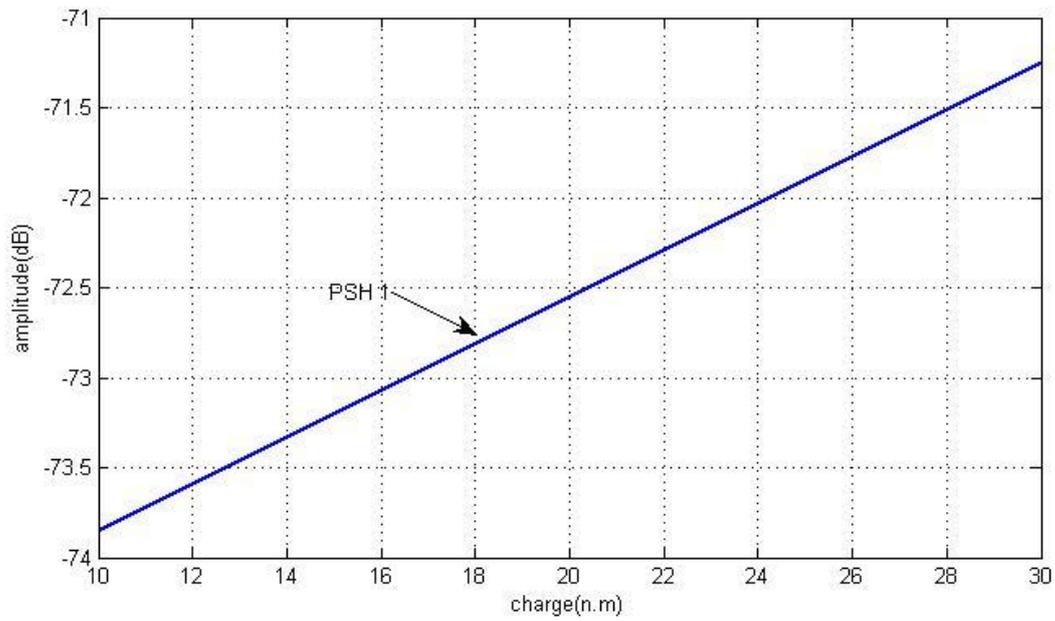


Fig.III.15: amplitude de PSH1 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH1 dans le cas avec neutre connecté augmente avec la charge.

-Neutre connecté pour PSH 2 :

Charge (n.m)	10	30
ampl (PSH 1)	-43.9	-44.1

Tab.III.16:60% d'excentricité statique de connecté(PSH2).

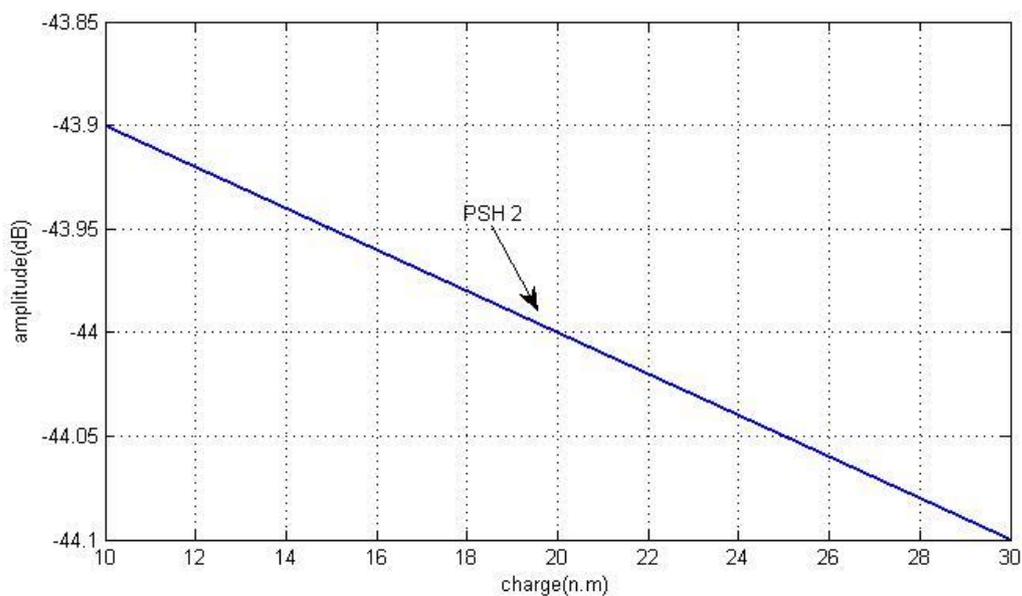


Fig.III.16: amplitude de PSH2 en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH 2 dans le cas avec neutre libre diminuer quand la charge augmente.

### III.3. HARMONIQUE DE PSH D'EXCENTRICITE MIXTE

#### III.3.1. 10% d'excentricité dynamique

##### III.3.1.1. Pour 10 % d'excentricité statique

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-73.2	-72	-69.6

Tab.III.17:10% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

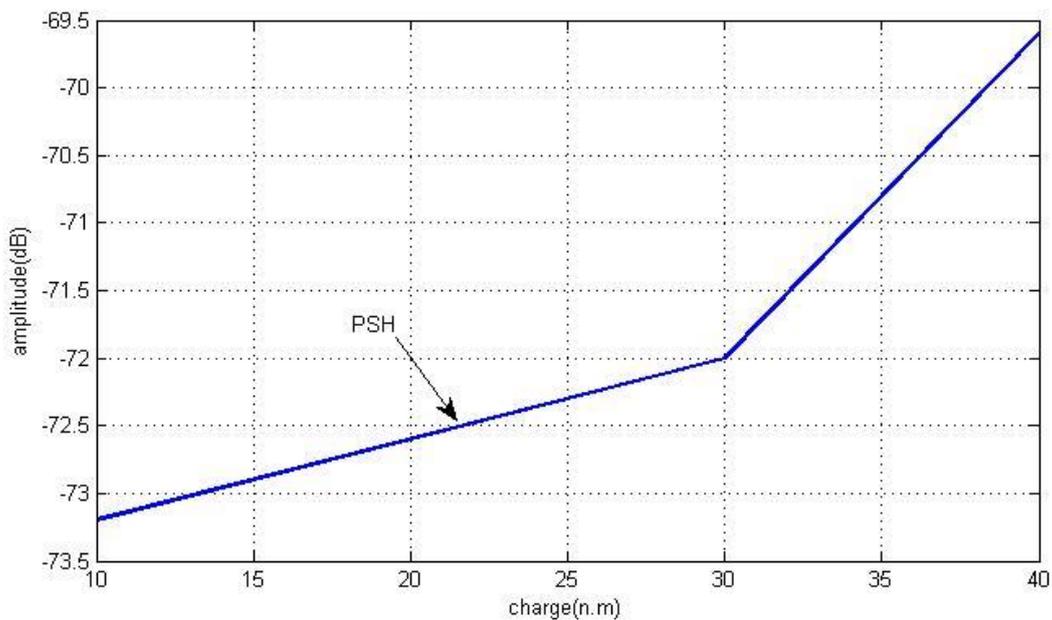


Fig.III.17: amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-37	-36	-36

Tab.III.18:10% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

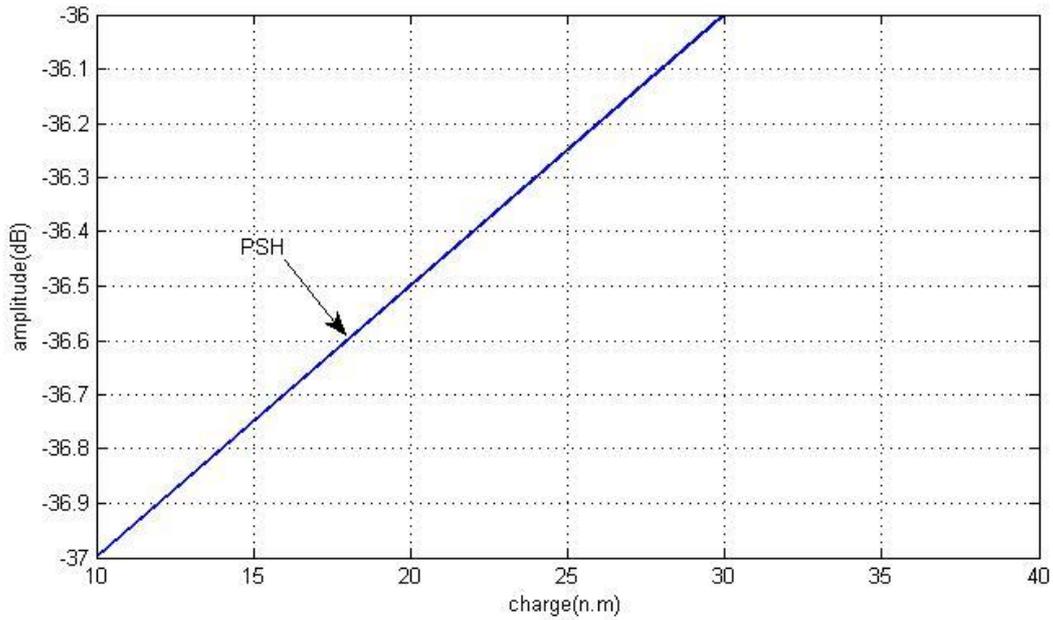


Fig.III.18: amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné peut être stable quand la charge 30 nm

### III.3.1.2. Pour 20 % d'excentricité statique

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-75.4	-70.5	-67.72

Tab.III.19: 20% d'excentricité statique avec inclinaison des barres

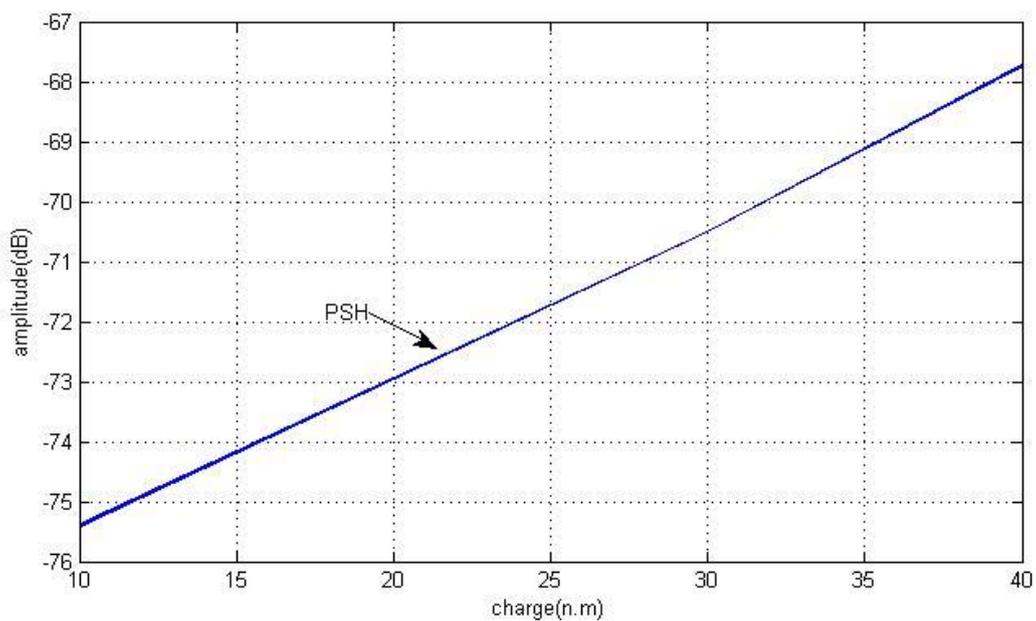


Fig.III.19: amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH en barre incliné augmente avec la charge.

\_ Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-37	-35.9	-35.7

Tab.III.20:20% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

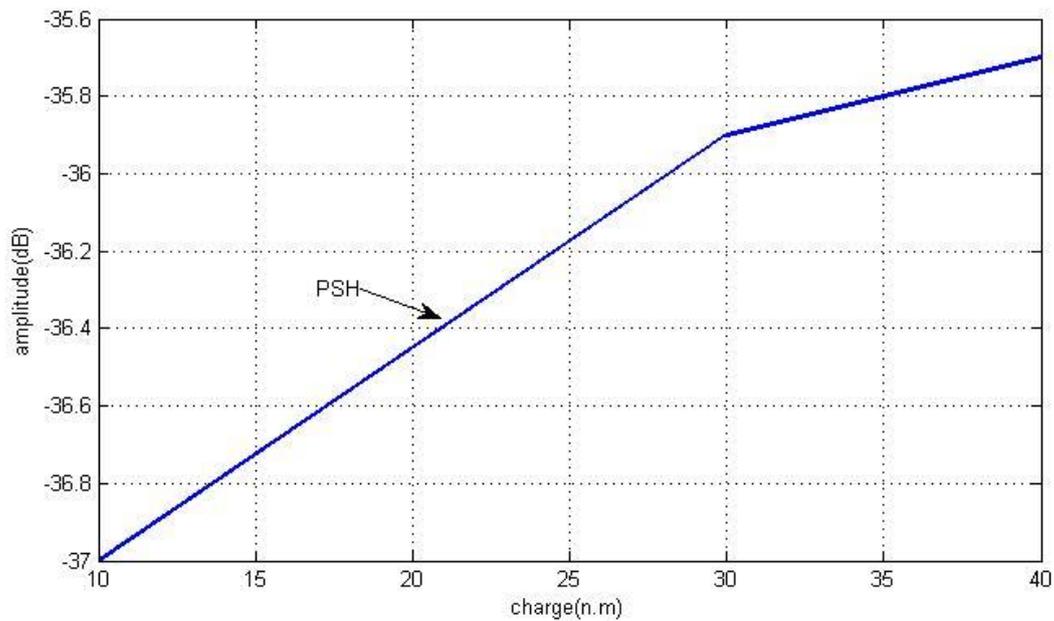


Fig.III.20: amplitude de PSH en fonction de la charge

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.1.3.Pour 30 % d'excentricité statique

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-72.9	-69.5	-70.48

Tab.III.21:30% d'excentricité statique avec inclinaison des barres

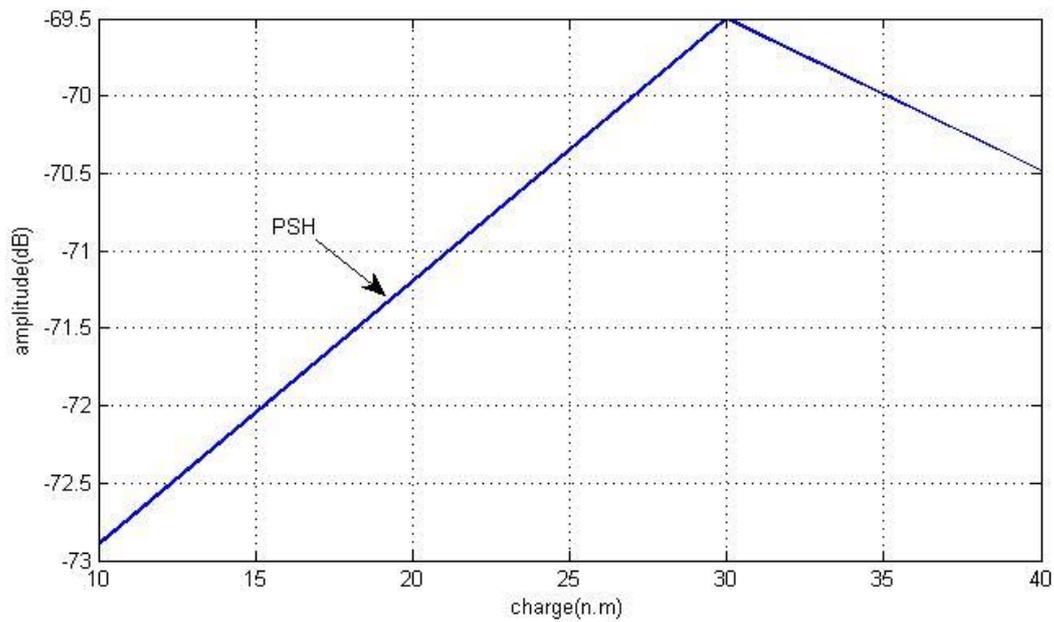


Fig.III.21: amplitude de PSH en fonction de la charge

L'amplitude de PSH dans le cas avec bar inclinée diminue lorsqu'il arrive à 30 nm de la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-36.51	-35.2	-34.9

Tab.III.22:20% d'excentricité statique sans inclinaison des barres

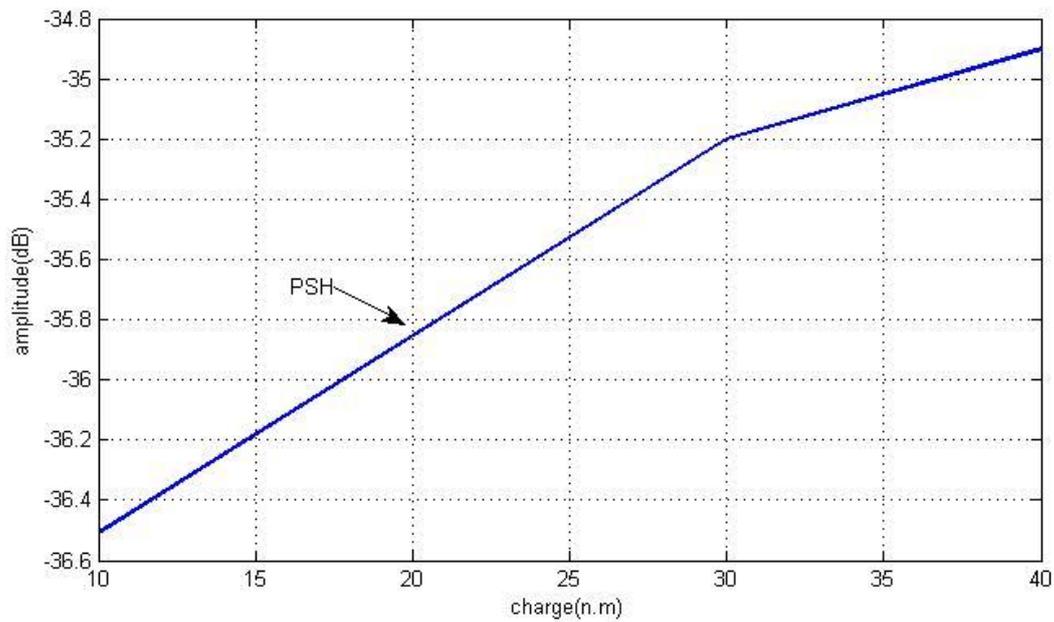


Fig.III.22: amplitude de PSH en fonction de la charge

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

#### III.3.1.4. Pour 40 % d'excentricité statique

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-73.14	-70.82	-69.97

Tab.III.23:40% d'excentricité statique avec inclinaison des barres

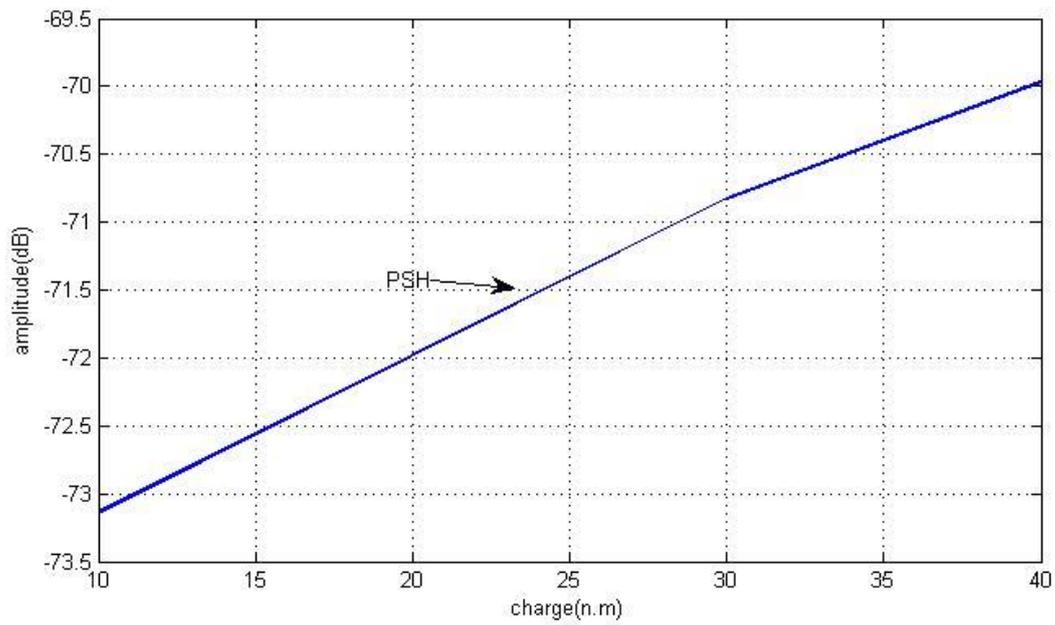


Fig.III.23: amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec bar incliné augmente avec la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-35.96	-34.63	-34.43

Tab.III.24:40% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

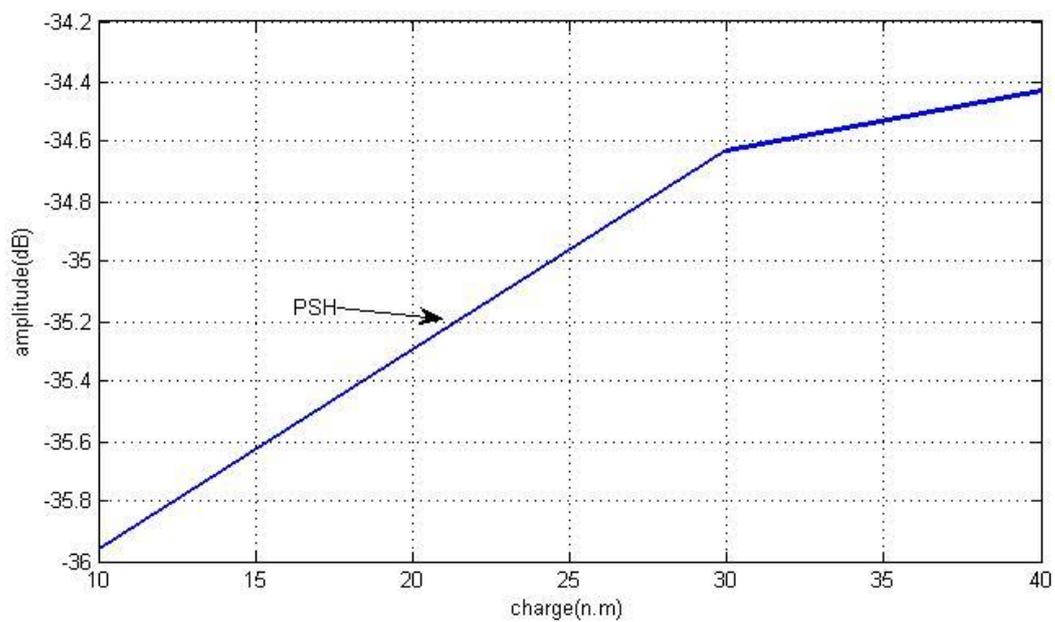


Fig.III.24: amplitude de PSH en fonction de la charge

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.1.5. Pour 50 % d'excentricité statique

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-74.78	-71.49	-67.58

Tab.III.25:50% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

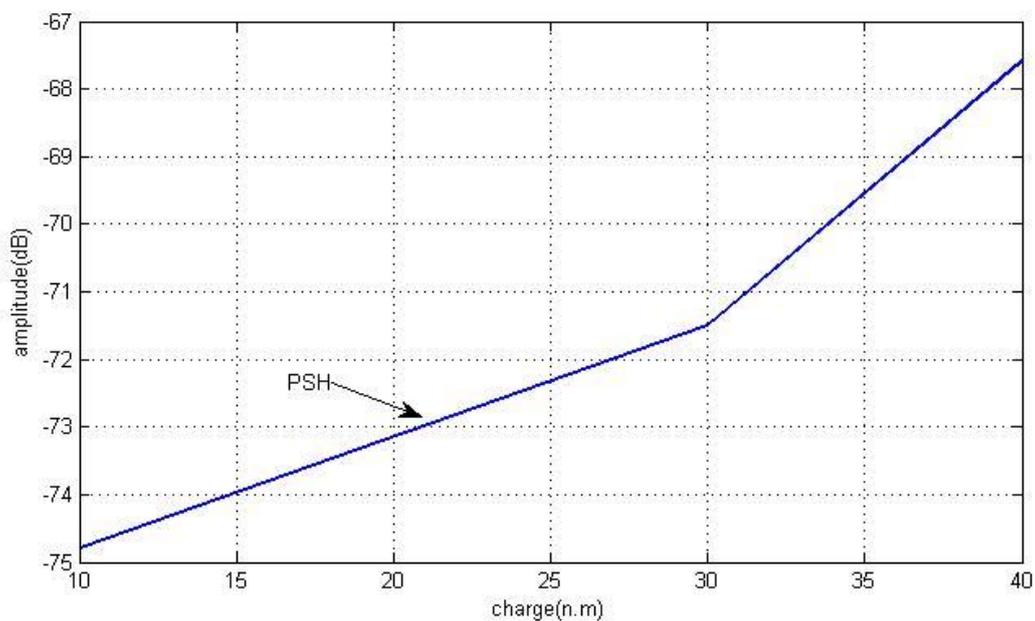


Fig.III.25: amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-35.2	-36.16	-34.9

Tab.III.26:50% d'excentricité statique sans inclinaison des barres

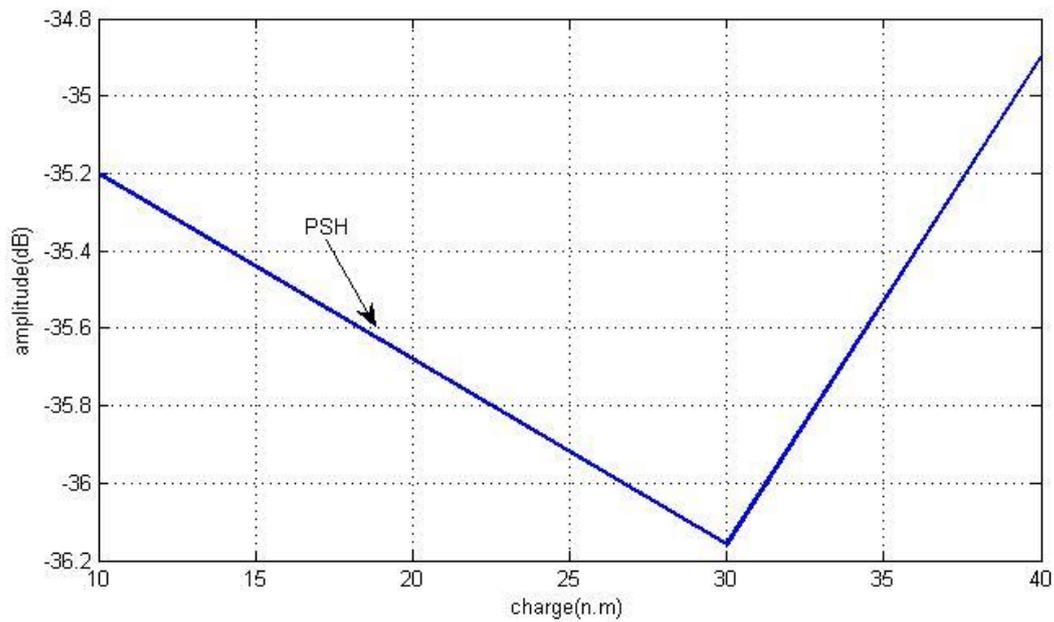


Fig.III.26: amplitude de PSH en fonction de la charge

L'amplitude de PSH dans le cas avec bar non incliné Commence à diminuer, mais

lorsque la charge jusqu'à 30 n.m l'amplitude de PSH augmentent

### III.3.1.6. Pour 60 % d'excentricité statique

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-70.7	-69.9	-66.9

Tab.III.27:60% d'excentricité statique avec inclinaison des barres

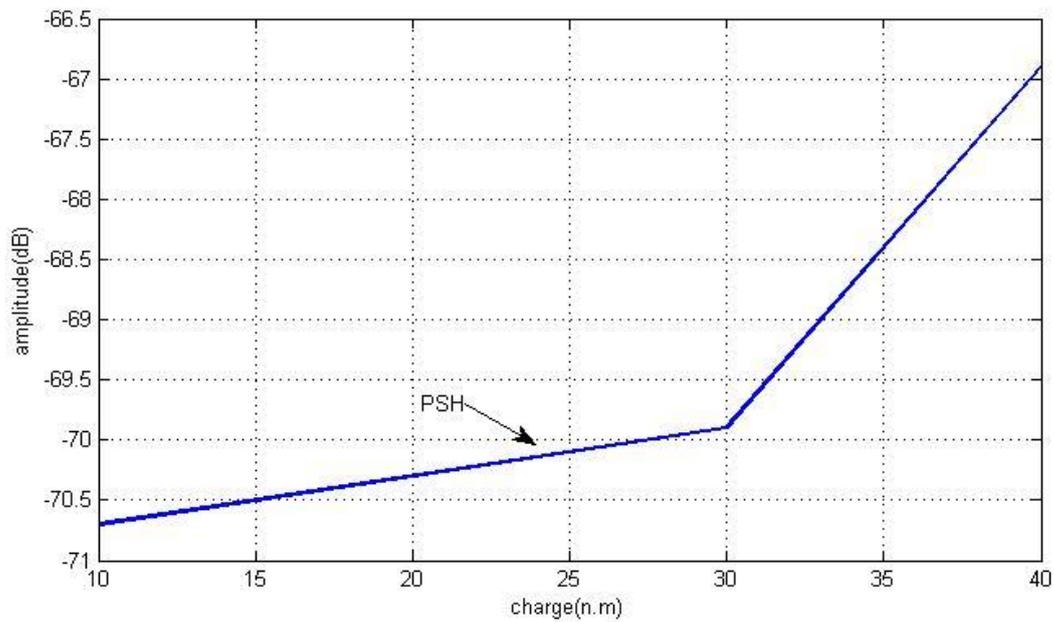


Fig.III.27: amplitude de PSH en fonction de la charge

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre inclinée augmente avec la charge

### III.3.2. 20% d'excentricité dynamique

#### III.3.2.1. pour 10 % d'excentricité statique :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-75.52	-70.92	-67.7

Tab.III.28:10% d'excentricité statique avec inclinaison des barres

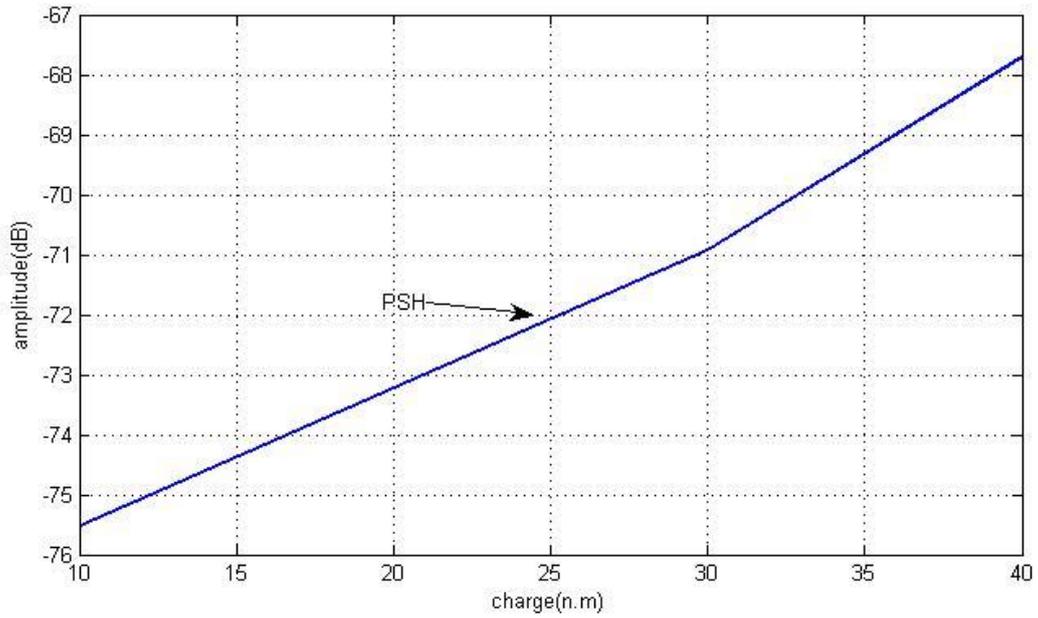


Fig.III.28 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres:

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-36.7	-35.6	-35.4

Tab.III.29:10% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

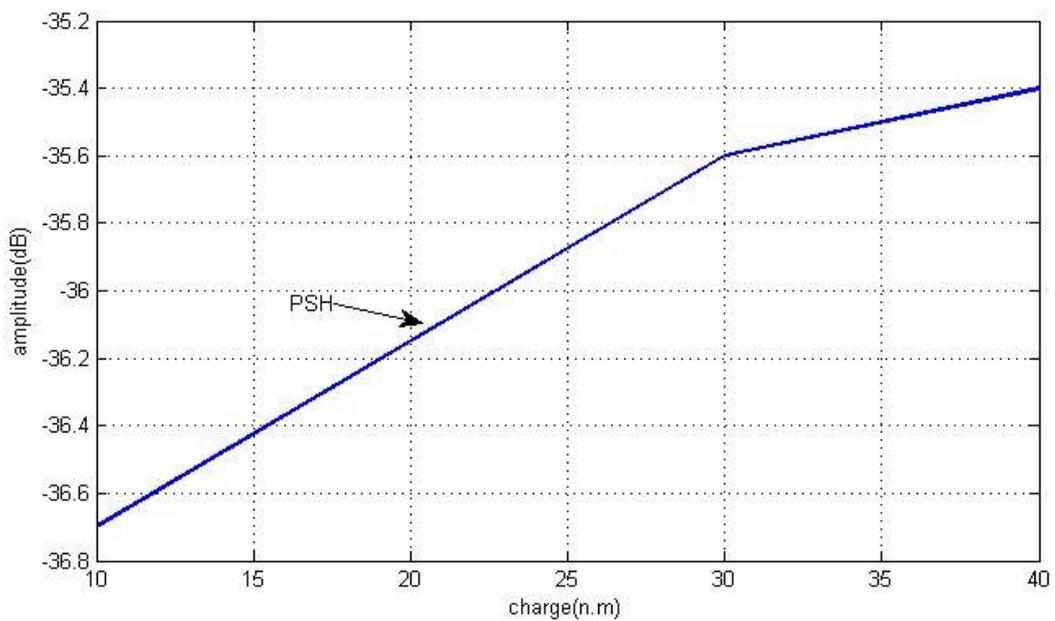


Fig.III.29 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.2.2. pour 20 % d'excentricité statique :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-76.4	-71.3	-68

Tab.III.30:20% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

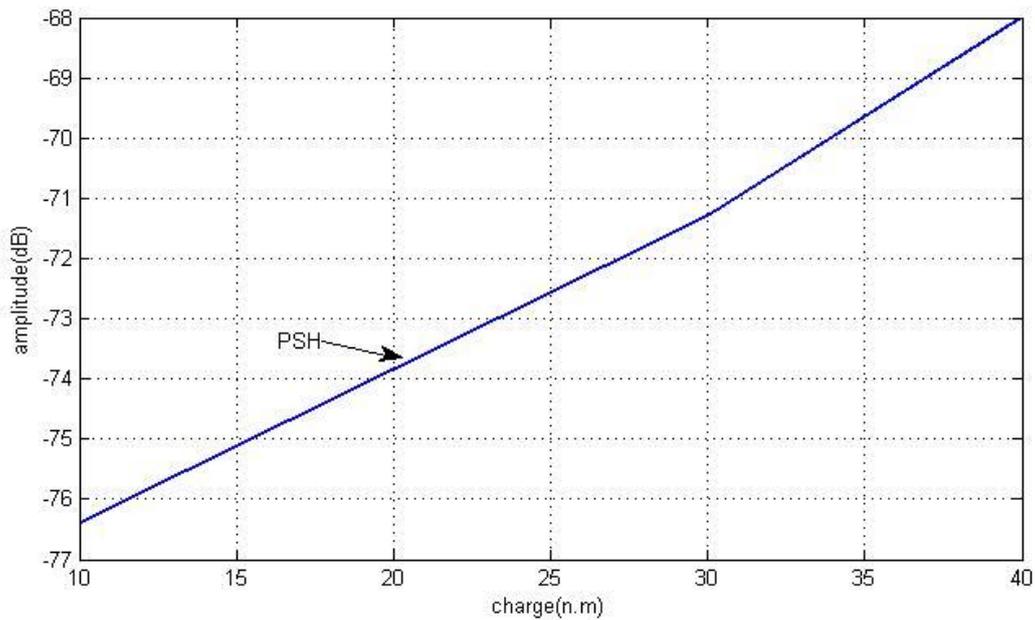


Fig.III.30 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-36.45	-35.2	-35

Tab.III.31:20% d'excentricité statique sans inclinaison des barres

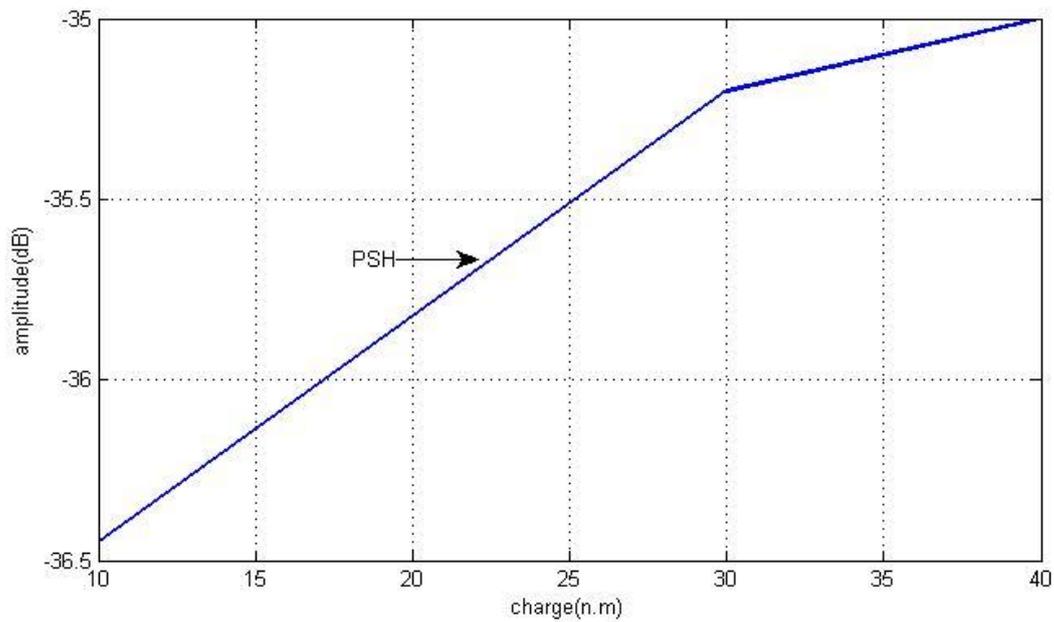


Fig.III.31 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.2.3. pour 30 % d'excentricité statique :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-75.75	-72.15	-67.35

Tab.III.32:30% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

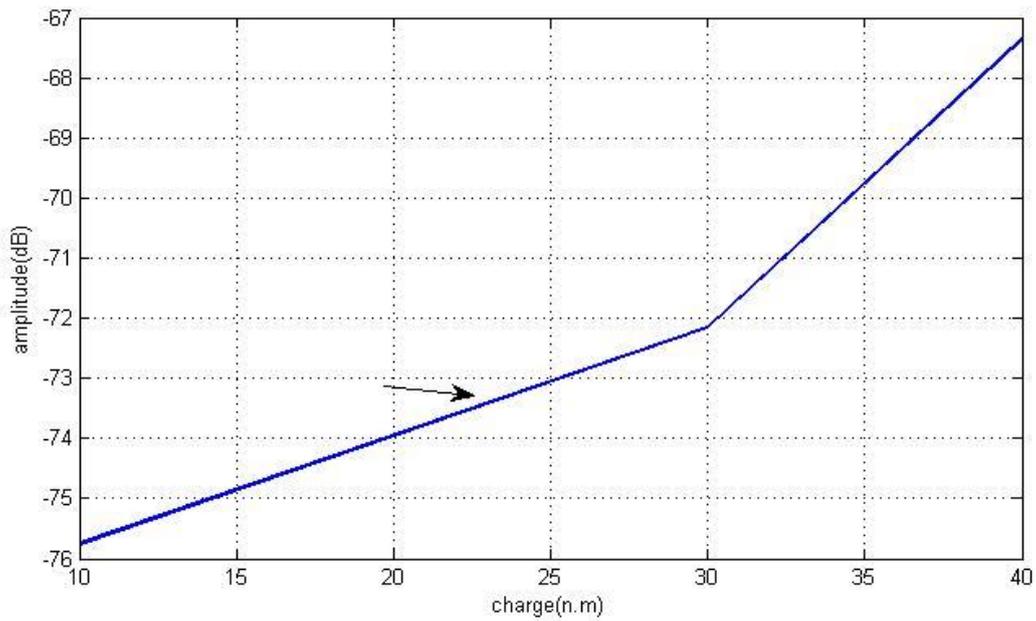


Fig.III.32 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-36	-34.72	-34.6

Tab.III.33:30% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

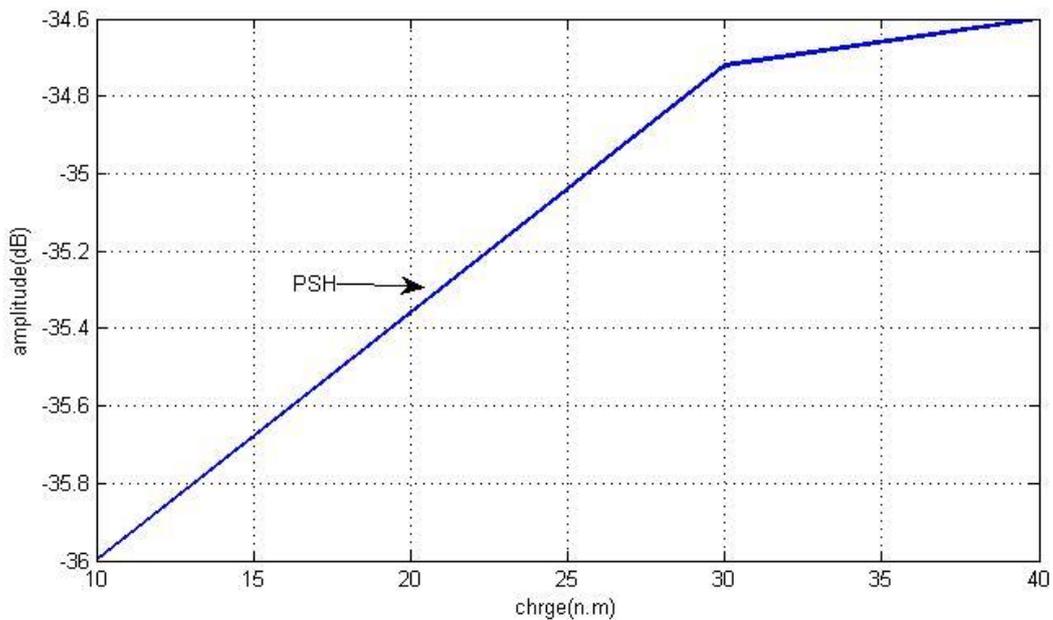


Fig.III.33 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.2.4. Pour 40 % d'excentricité statique :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-74.8	-70.5	-67.4

Tab.III.34:40% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

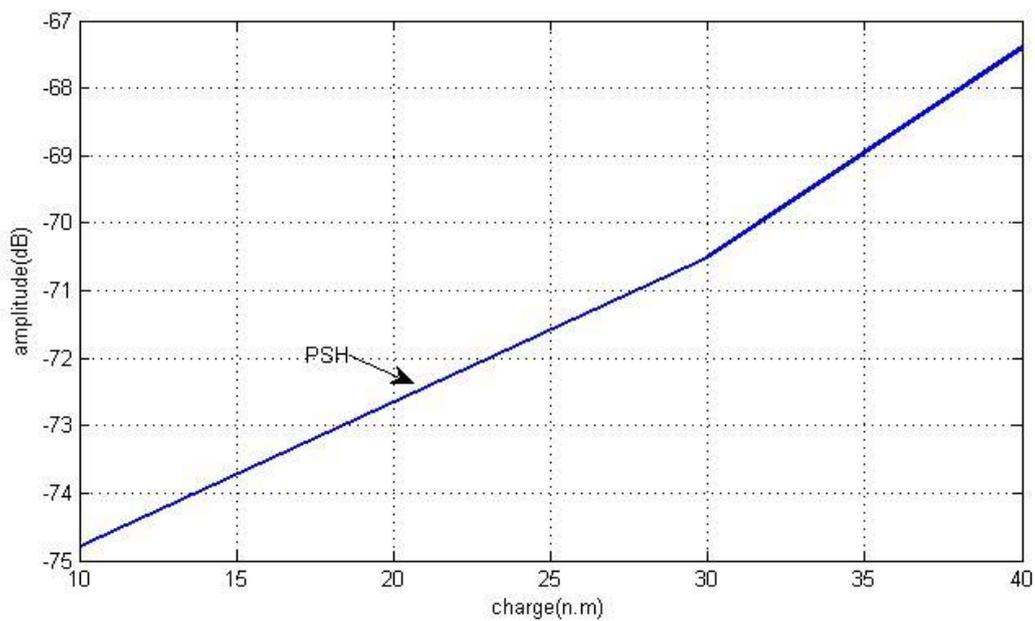


Fig.III.34 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-35.6	-34.7	-34.68

Tab.III.35:40% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

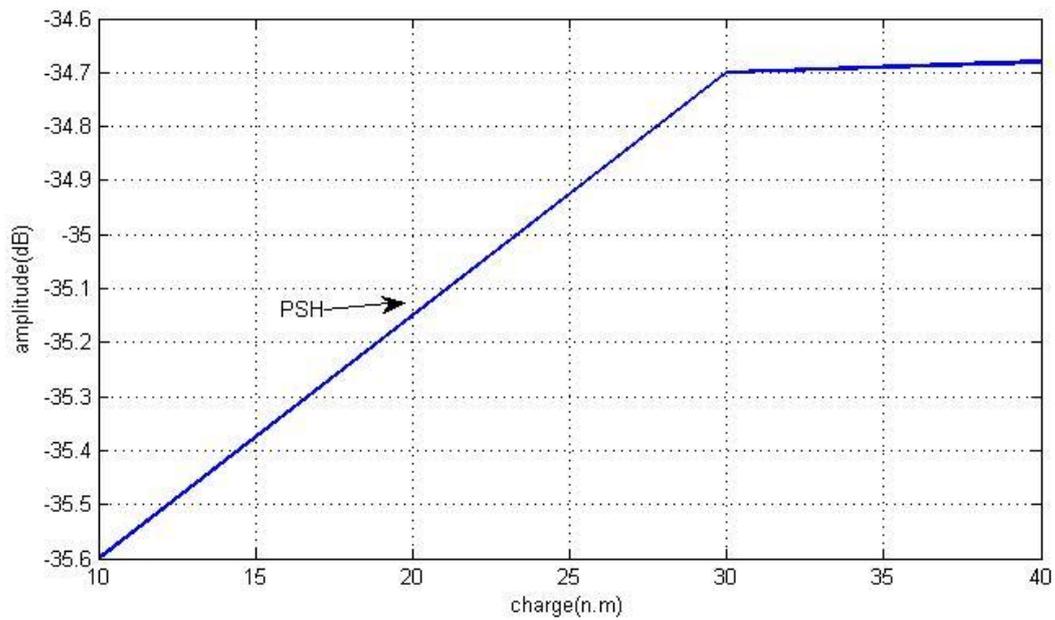


Fig.III.35 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.2.5. Pour 50 % d'excentricité statique

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-74.5	-70.9	-68.1

Tab.III.36:50% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

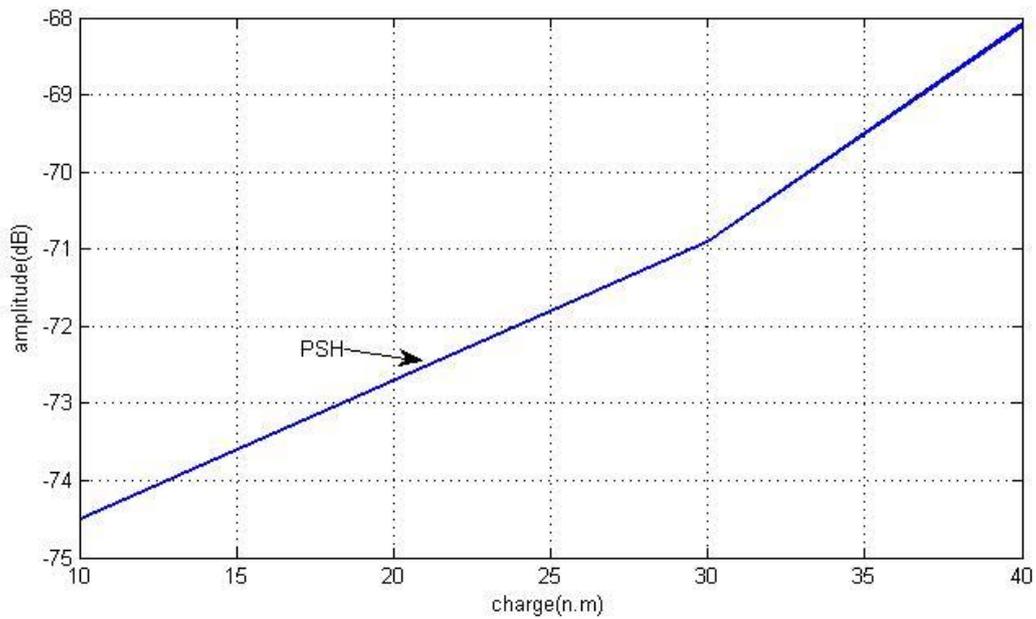


Fig.III.36 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-34.9	-34.6	-34

Tab.III.37 :50% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

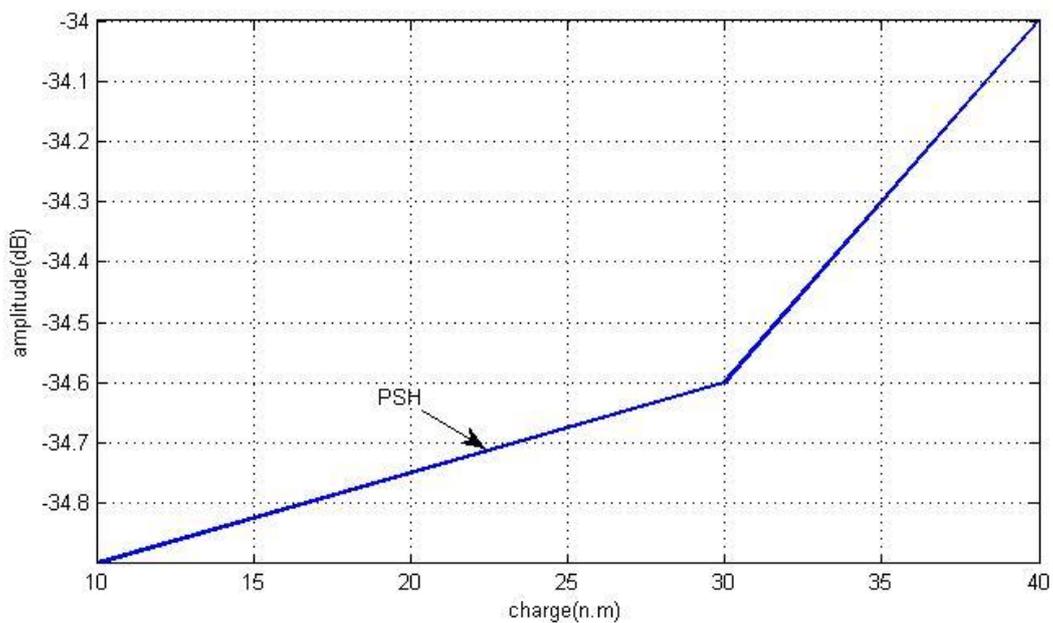


Fig.III.37 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.2.6. Pour 60 % d'excentricité statique

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-69.5	-70.3	-68.5

Tab.III.38 :60% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

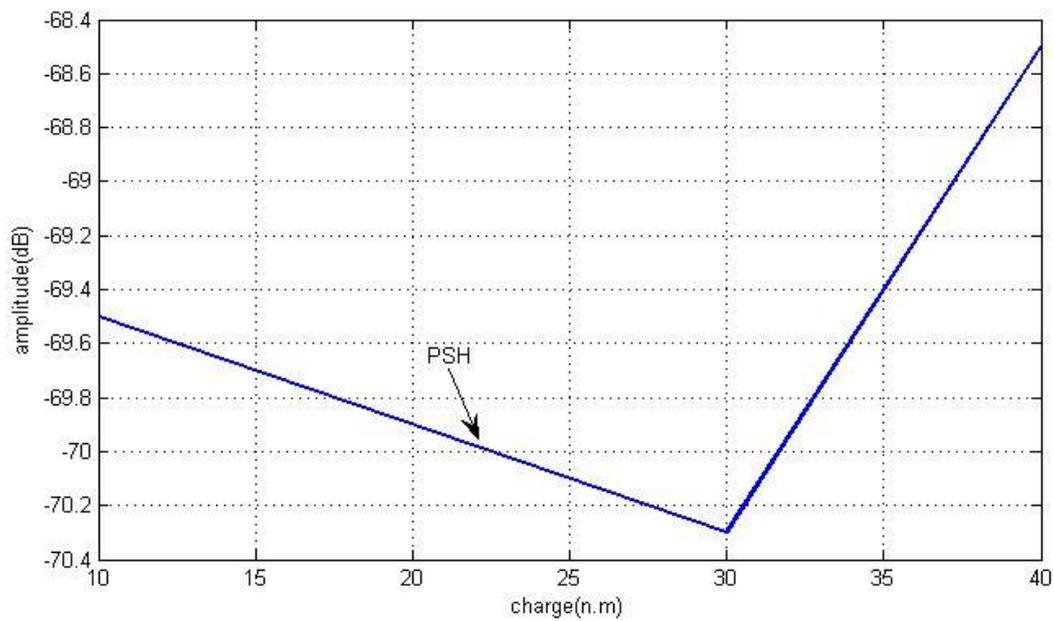


Fig.III.38 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH augmente lorsqu'il arrive à 30 n.m de la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-34.2	-33.16	-34

Tab.III.39 :60% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

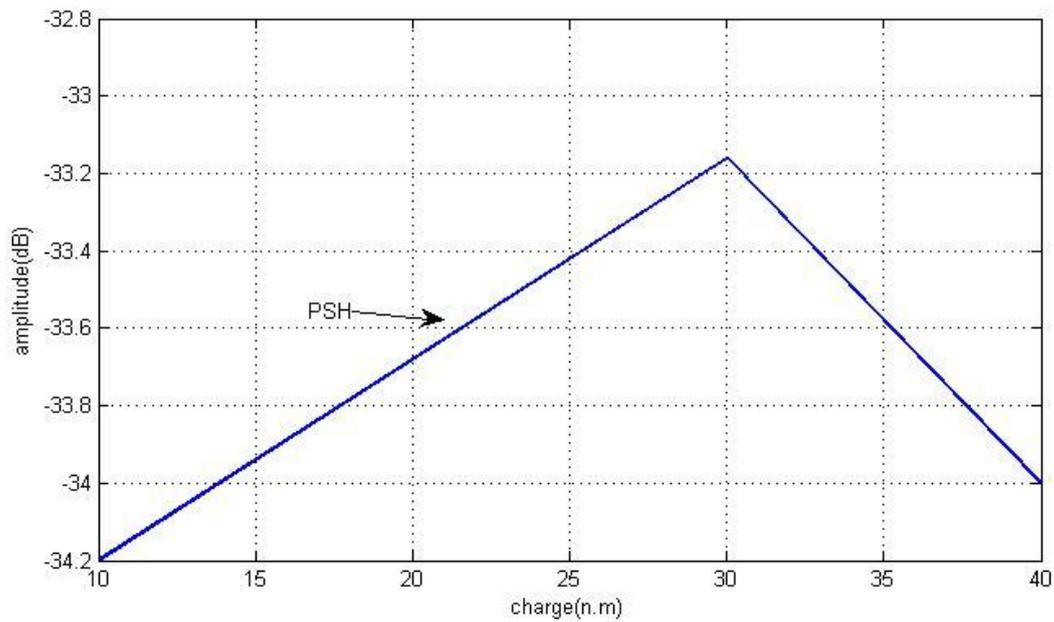


Fig.III.39 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH diminue lorsqu'il arrive à 30 n.m de la charge.

### III.3.3. 30% d'excentricité dynamiques

#### III.3.3.1. Pour 10 % d'excentricité statique :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-76.8	-71.2	-68.7

Tab.III.40 : 10% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

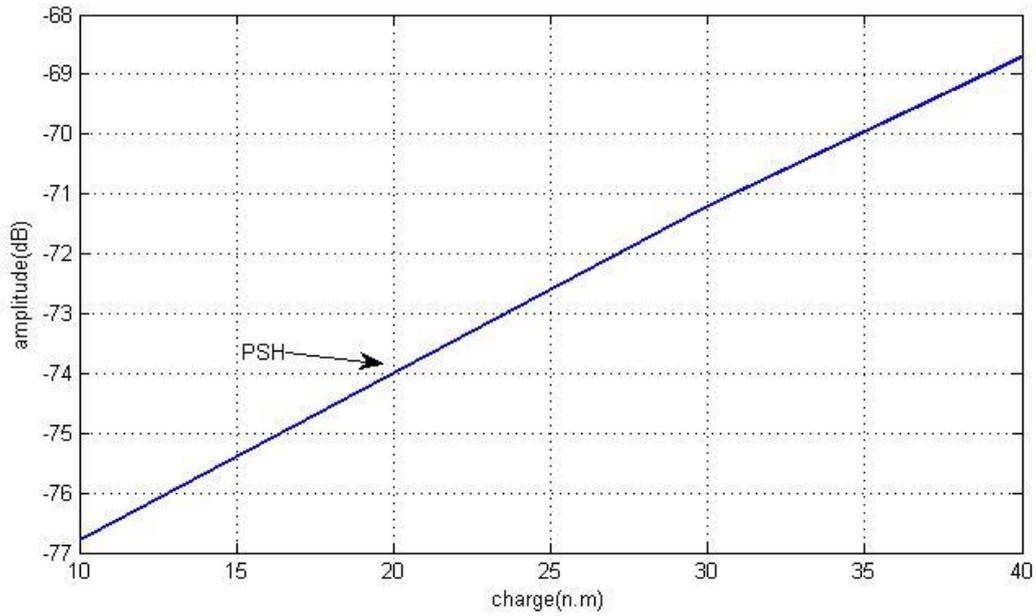


Fig.III.40 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-36.2	-35	-34.7

Tab.III.41 :10% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

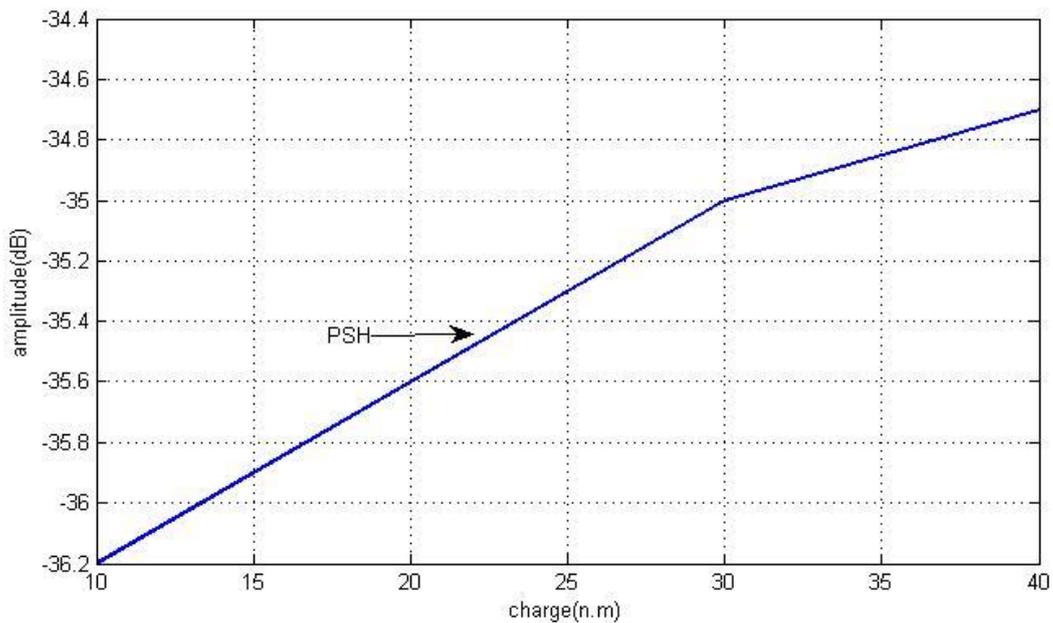


Fig.III.41 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.3.2. Pour 20 % d'excentricité statique

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-75.6	-71.5	-67.55

Tab.III.42 :20% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

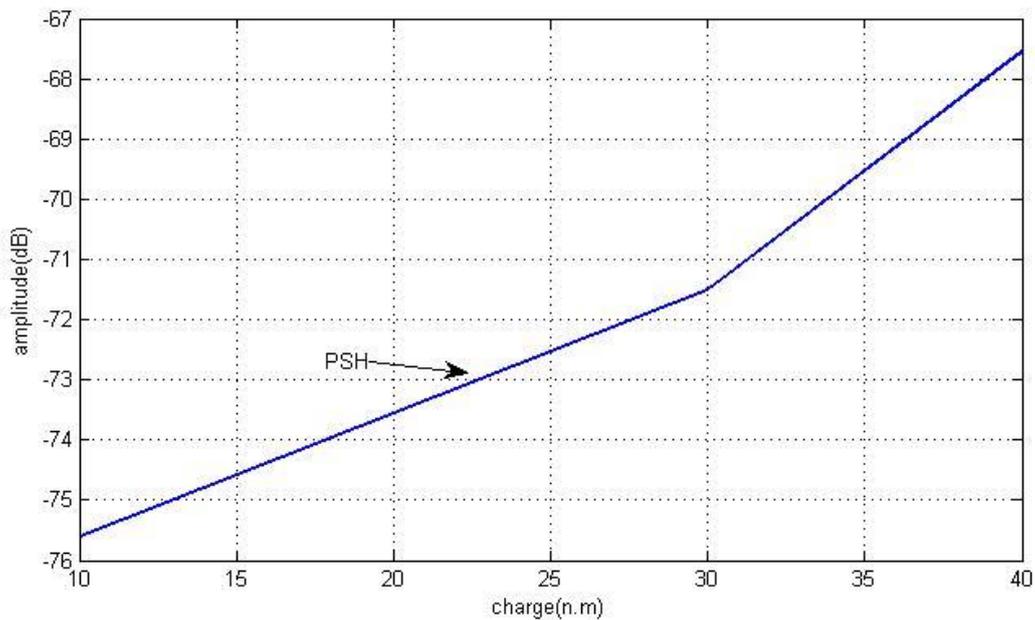


Fig.III.42 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-36	-35	-34.8

Tab.III.43 :20% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

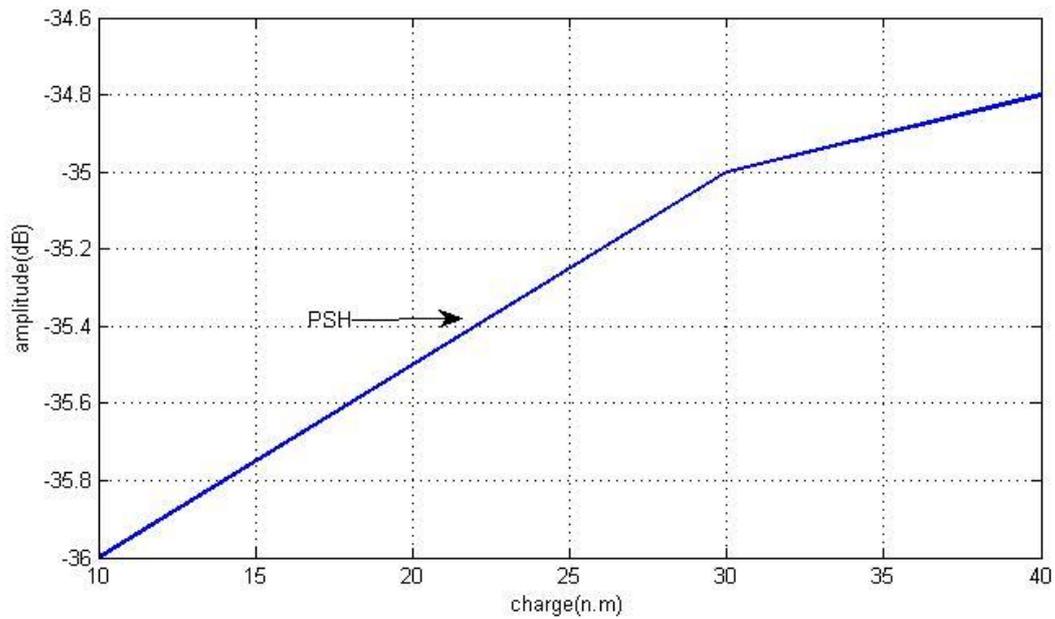


Fig.III.43 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.3.3. Pour 30 % d'excentricité statique :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-71.8	-69.4	-68.9

Tab.III.44 :30% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

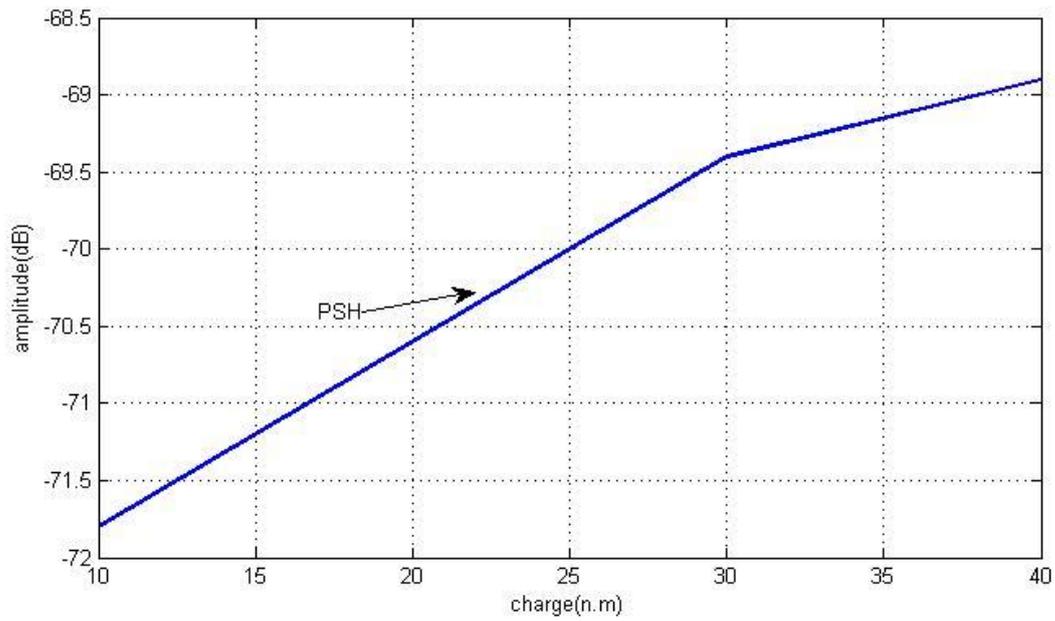


Fig.III.44 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre inclinée augmente avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-35.7	-35	-35

Tab.III.45 :30% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

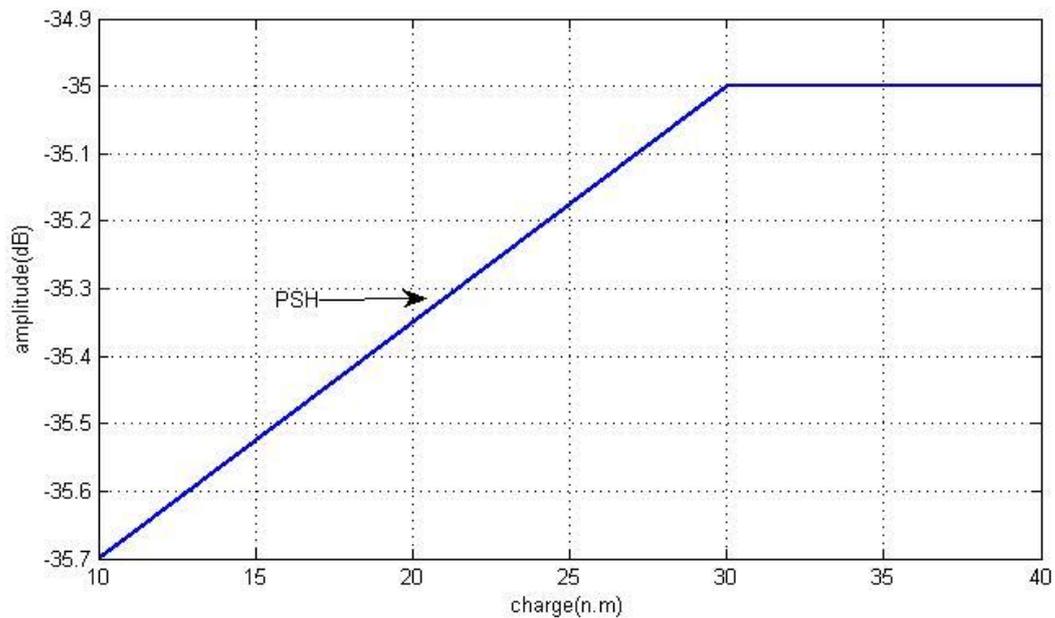


Fig.III.45 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.3.4. Pour 40 % d'excentricité statique :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-71.6	-68.8	-70.5

Tab.III.46 :40% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

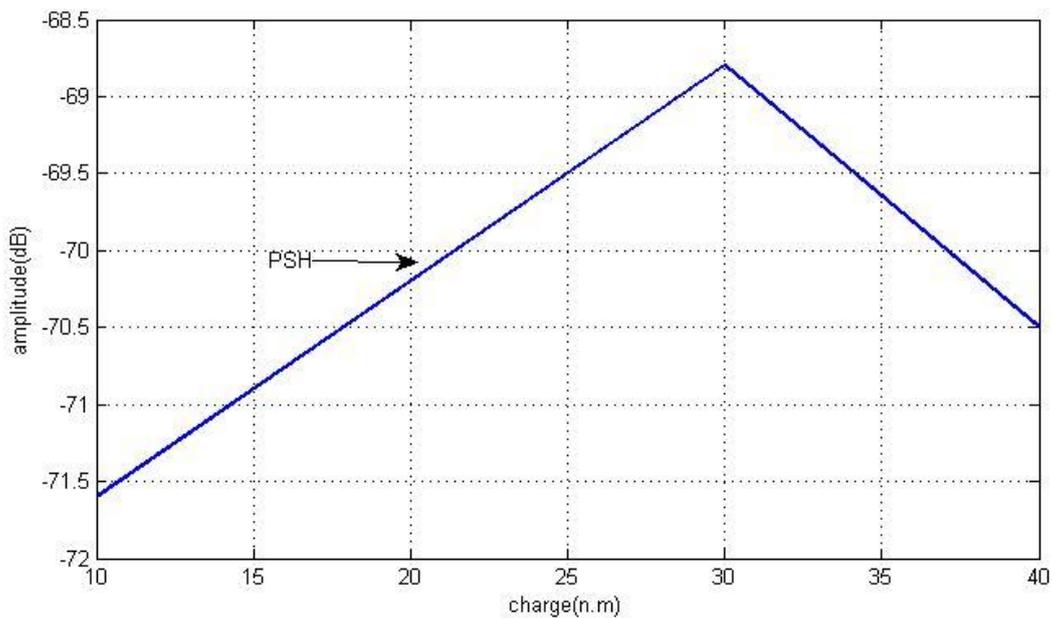


Fig.III.46 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné diminuer lorsque la charge 30 n.m

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-35.3	-34.7	-34.2

Tab.III.47 :40% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

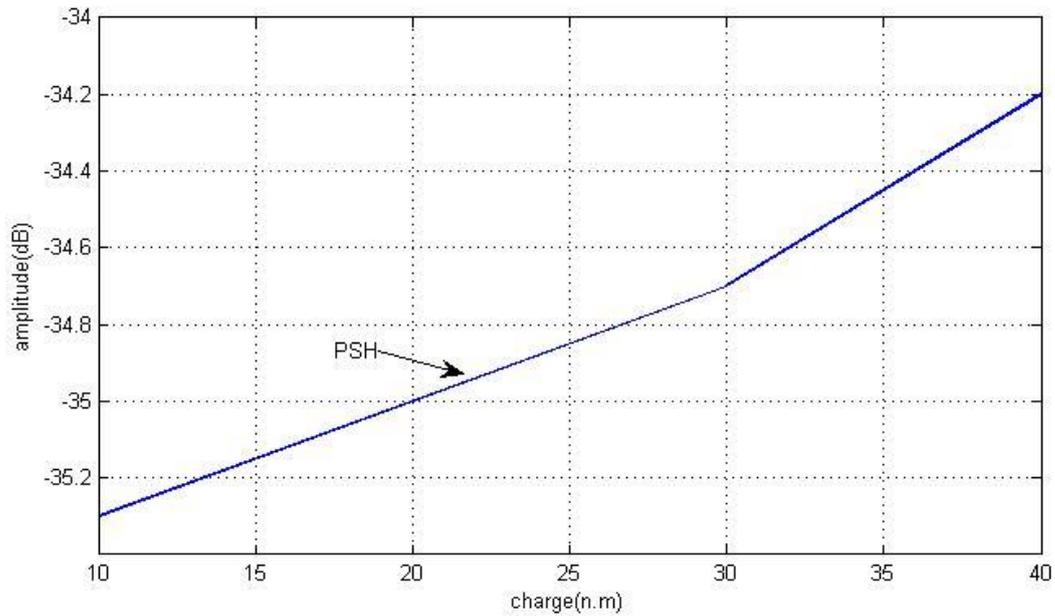


Fig.III.47 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre non incliné augmente avec la charge.

### III.3.3.5. Pour 50 % d'excentricité statique :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-71.7	-71.6	-67.8

Tab.III.48 : 50% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

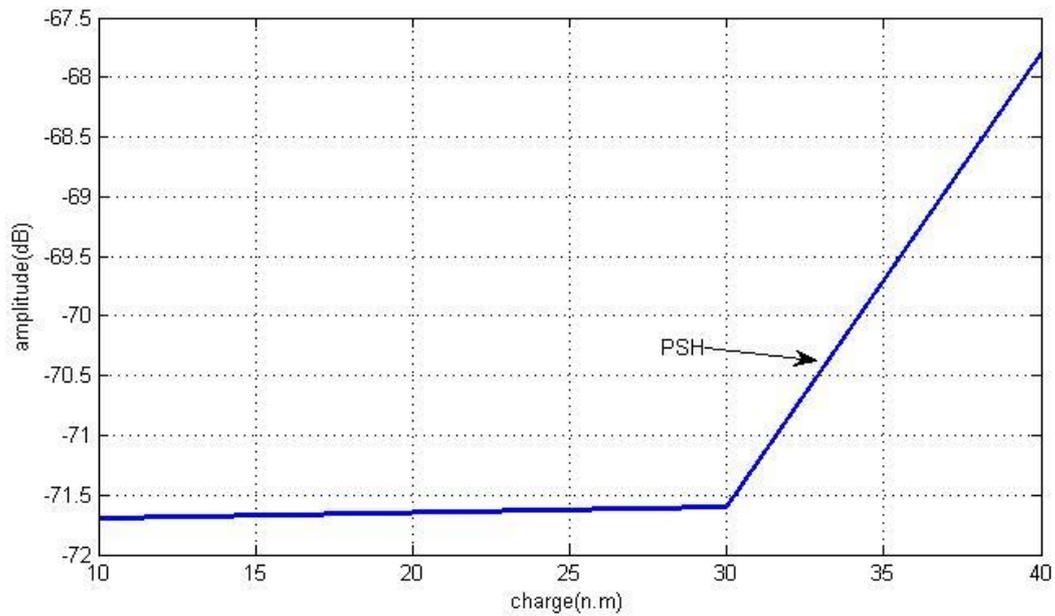


Fig.III.48 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné augmente lorsque la charge 30 n.m

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-35.3	-33.5	-33.6

Tab.III.49 :50% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

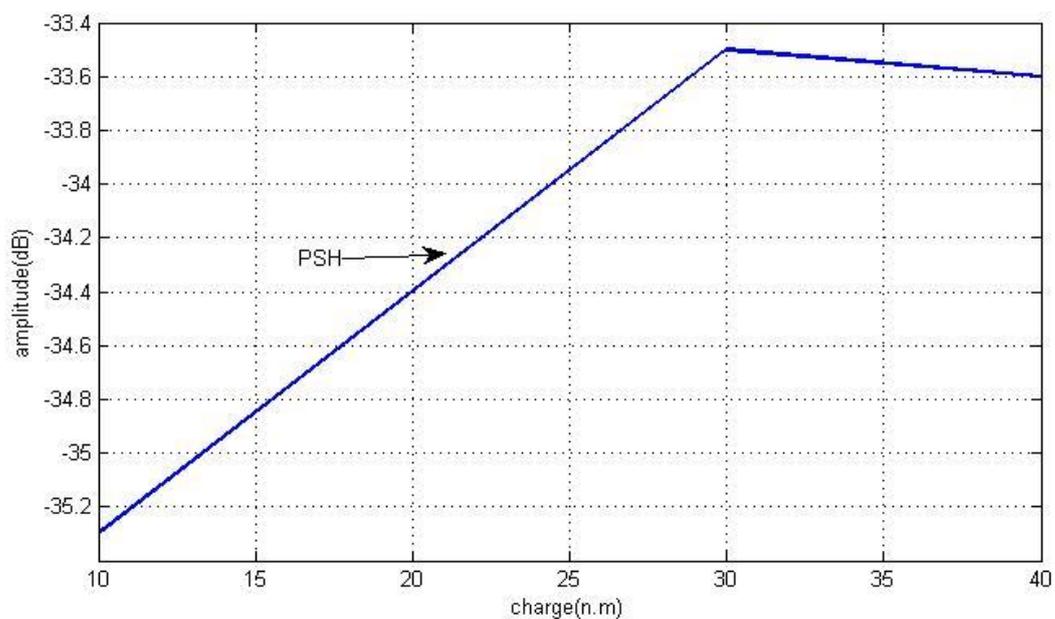


Fig.III.49 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre inclinée diminue lorsque la charge est de 30 n.m.

### III.3.3.6. pour 60 % d'excentricité statique :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-58.7	-62.6	-62.6

Tab.III.50 :60% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

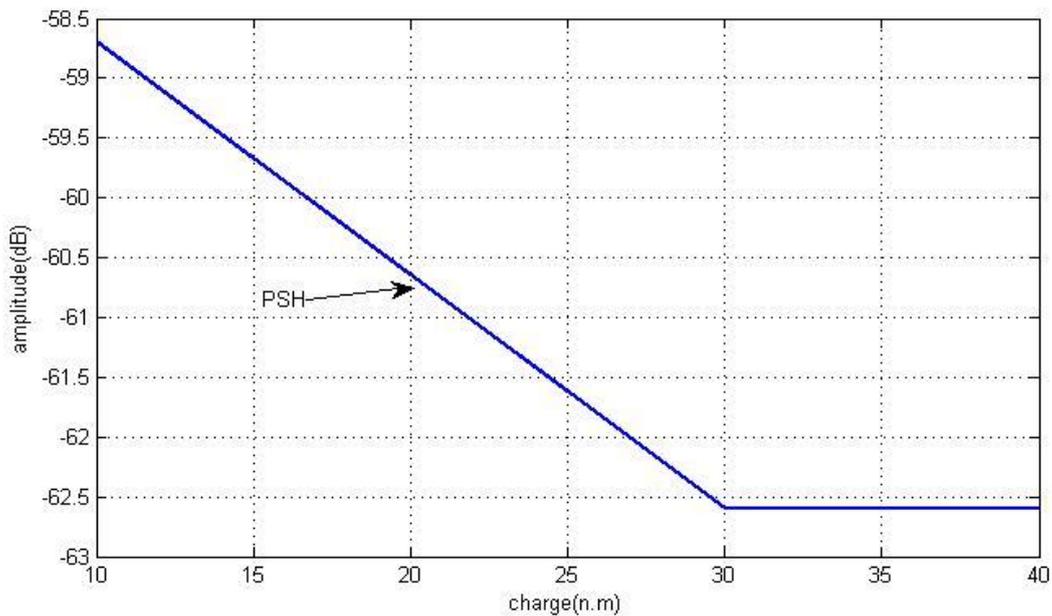


Fig.III.50 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre inclinée diminue avec la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(PSH)	-32.2	-34.3	-34.6

Tab.III.51 :60% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

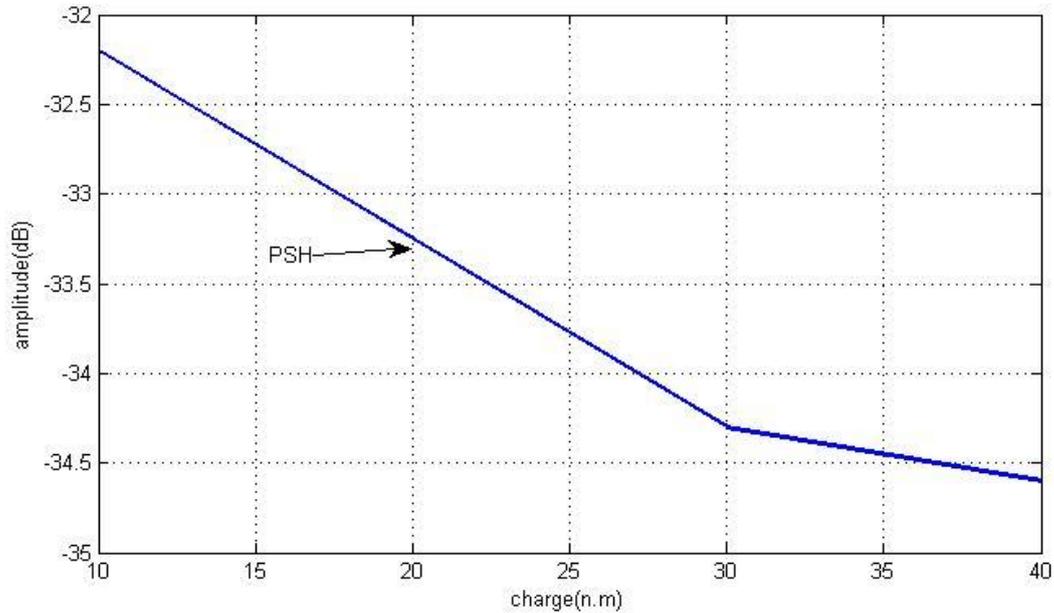


Fig.III.51 : amplitude de PSH en fonction de la charge.

L'amplitude de PSH dans le cas avec barre inclinée diminue avec la charge

### III.4. ETUDE DE L'HARMONIQUE $F_{S\pm FR}$

#### III.4.1. 10% d'excentricité dynamique

##### III.4.1.1. pour 10% d'excentricité statiques :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s - F_r$ )	-48.43	-50.19	-51.28
ampl( $F_s + F_r$ )	-50.4	-48.85	-49.52

Tab.III.52 : 10% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

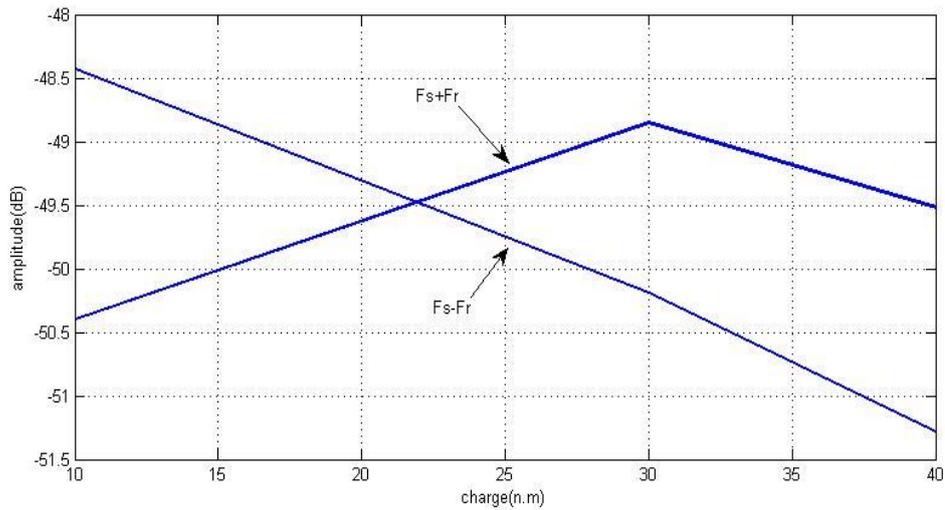


Fig.III.52 : amplitude de  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s+Fr}$  diminue lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s-Fr}$  diminue avec la charge

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-48.74	-51.23	-51.07
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-50.11	-50.82	-49.9

Tab.III.53 :10% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

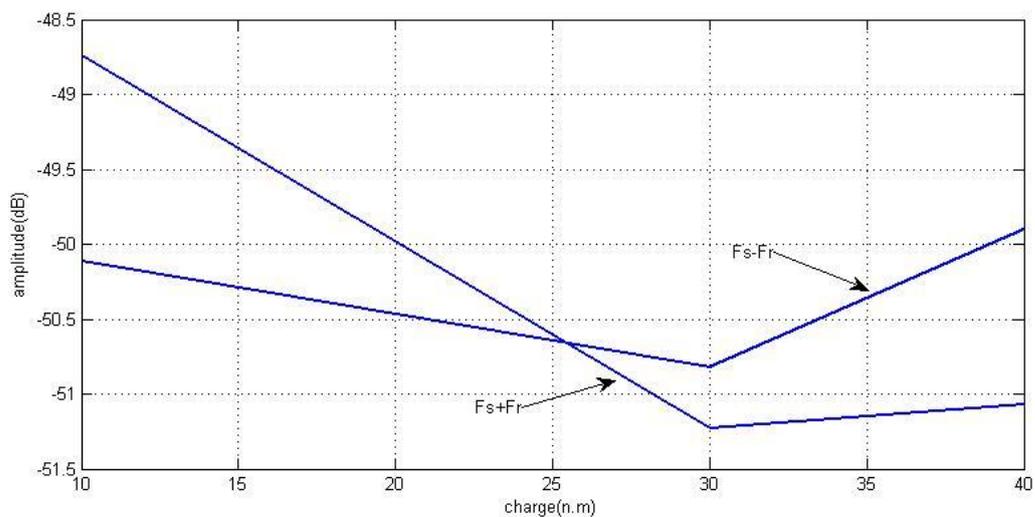


Fig.III.53 : amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

### III.4.1.2.pour 20% d'excentricité statique :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-46.86	-46.87	-50.16
ampl(Fs+Fr)	-48.33	-46.73	-48.37

Tab.III.54 :20% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

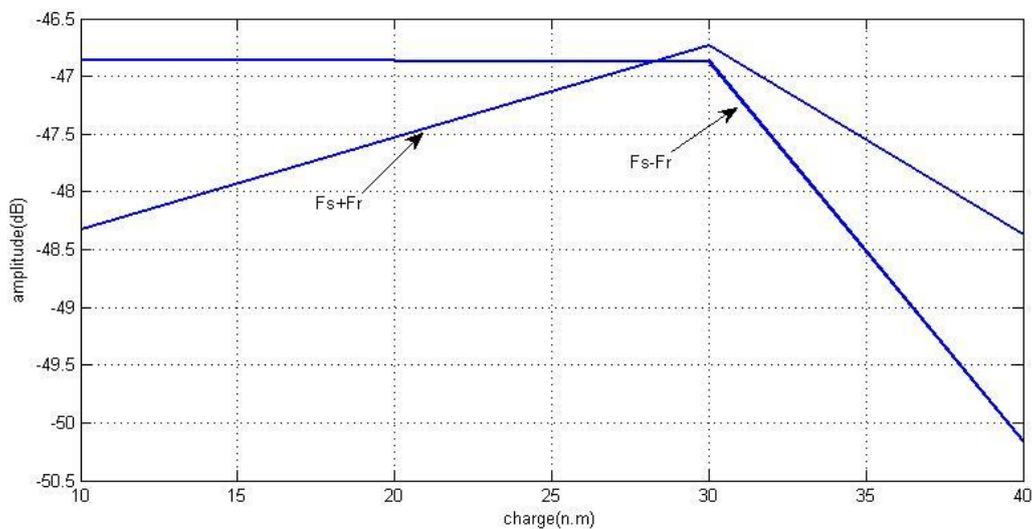


Fig.III.54: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-46.93	-50.7	-50
ampl(Fs+Fr)	-49.75	-49.93	-48.8

Tab.III.55 :20% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

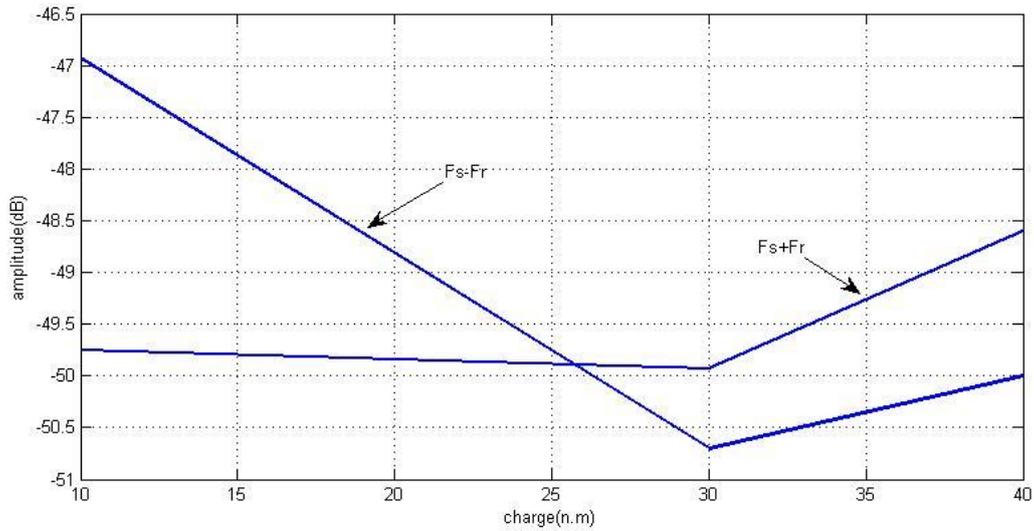


Fig.III.55: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente lorsqu’il arrive à 30 (n.m) de la charge.

**III.4.1.3.pour 30 % d’excentricité statiques :**

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-46.25	-45.27	-49.14
ampl( $F_s+F_r$ )	-46.51	-44.39	-47.12

Tab.III.56 :30% d’excentricité statique avec inclinaison des barres.

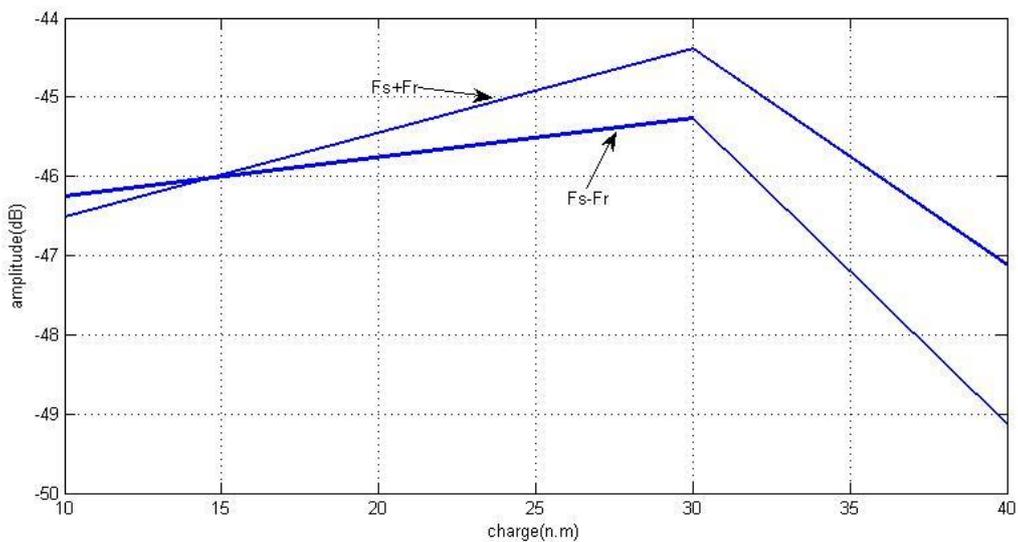


Fig.III.56: amplitude de  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-44.3	-49.42	-47.7
ampl( $F_s+Fr$ )	-46.22	-49.24	-46.51

Tab.III.57 :30% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

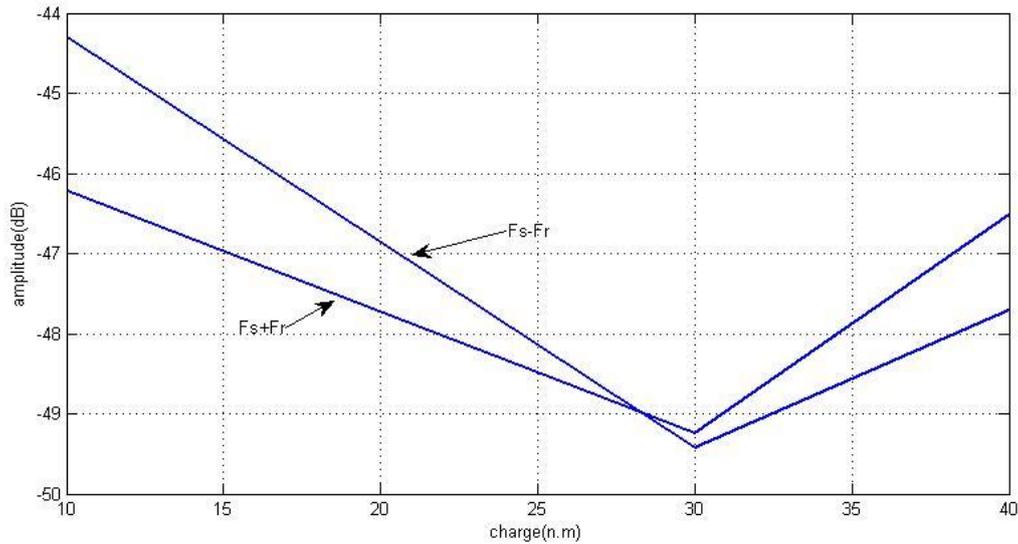


Fig.III.57: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

#### III.4.1.4.pour 40 % d'excentricité statiques :

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-45.66	-44.02	-51.34
ampl( $F_s+Fr$ )	-45.34	-42.23	-51.1

Tab.III.58 :40% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

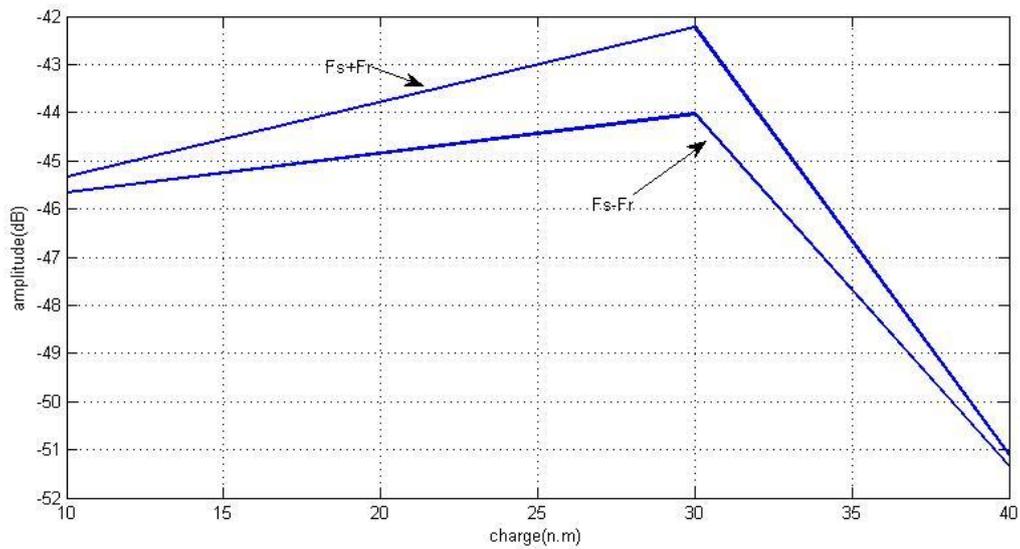


Fig.III.58: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-43.28	-48.8	-46.02
ampl( $F_s+F_r$ )	-44.62	-48.29	-44.92

Tab.III.59 :40% d’excentricité statique sans inclinaison des barres

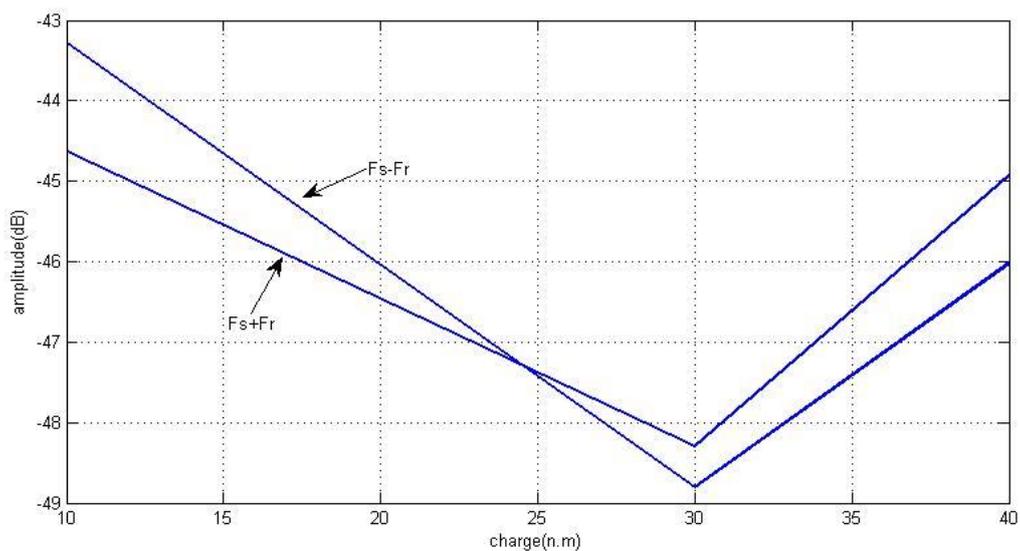


Fig.III.59: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

### III.4.1.5.pour 50 % d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-45.13	-43.15	-44.57
ampl(Fs+Fr)	-40.94	-38.09	-41.78

Tab.III.60 :50% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

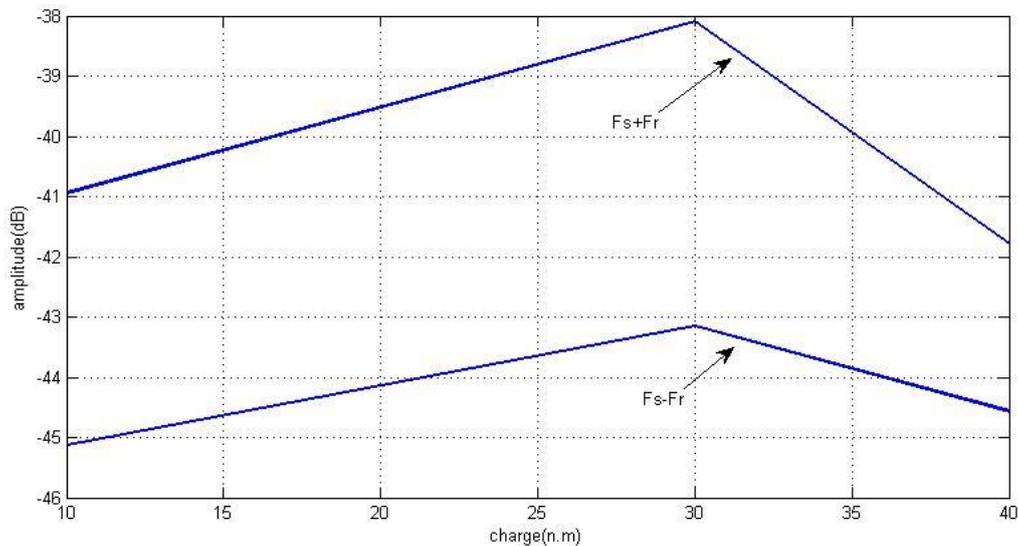


Fig.III.60: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-43.31	-47.04	-45.83
ampl(Fs+Fr)	-42.53	-43.55	-41.91

Tab.III.61 :50% d'excentricité statique sans inclinaison des barres

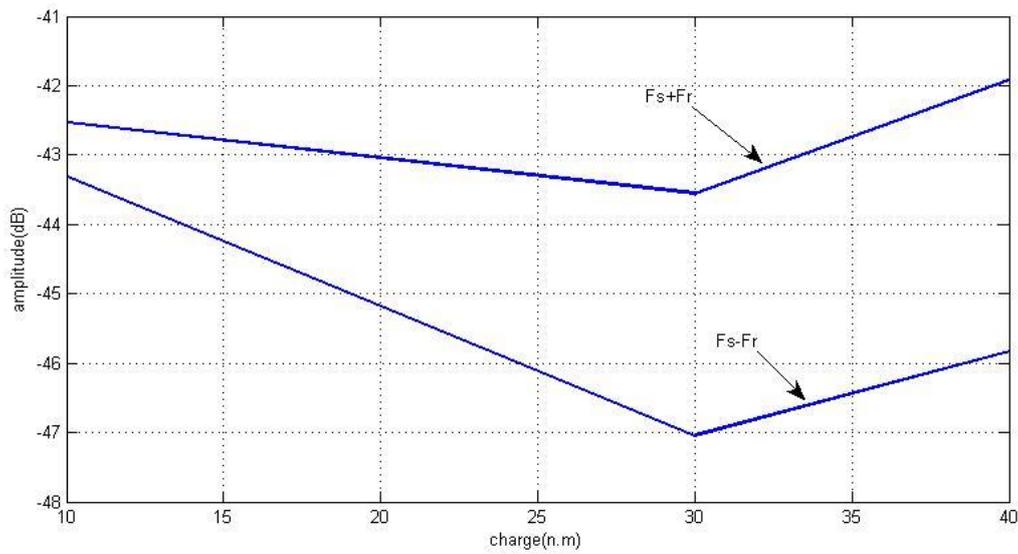


Fig.III.61: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente lorsqu’il arrive à 30 (n.m) de la charge.

**III.4.1.6.pour 60% d’excentricité statiques :**

-avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-40.59	-41.12	-39.97
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-44.25	-39.58	-41.95

Tab.III.62 :60% d’excentricité statique avec inclinaison des barres

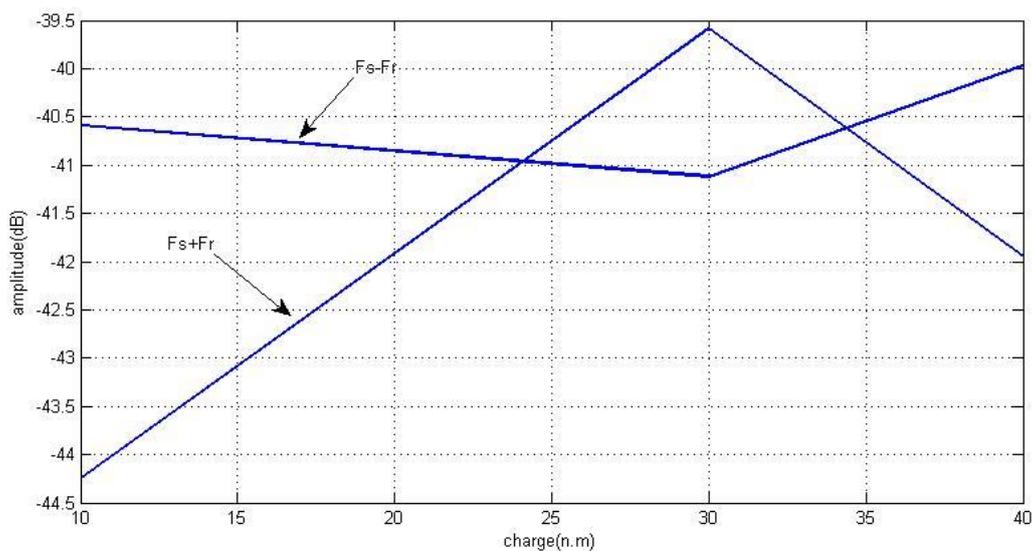


Fig.III.62: amplitude de  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

### III.4.2.20% d'excentricité dynamique

#### III.4.2.1.Pour 10% d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-45.88	-47.3	-50.3
ampl(Fs+Fr)	-49	-46.5	-48.5

Tab.III.63 :10% d'excentricité statique avec inclinaison des barres

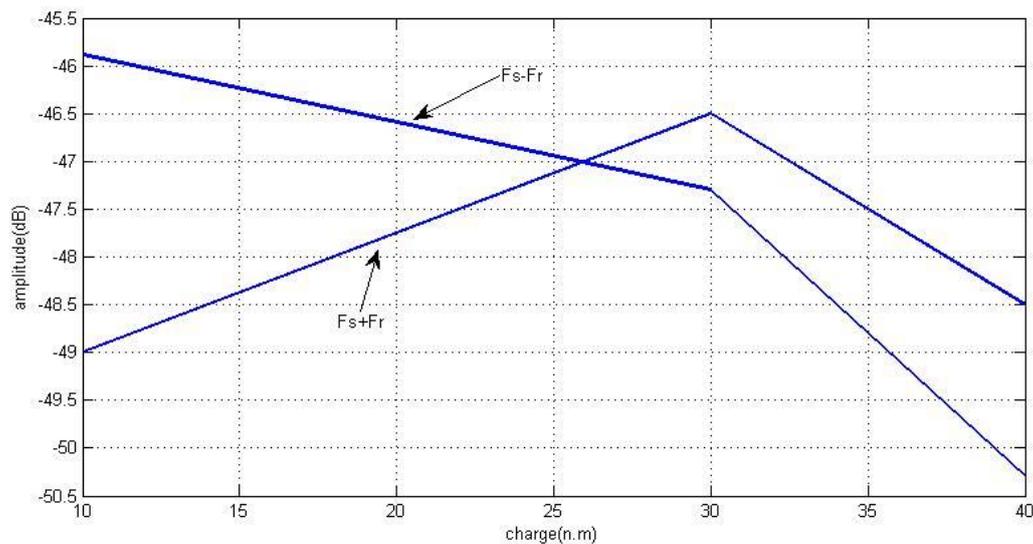


Fig.III.63: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s+Fr}$  augmente lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s-Fr}$  diminue avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-46.2	-50.2	-49.6
ampl(Fs+Fr)	-49	-50.3	-48.6

Tab.III.64 :10% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

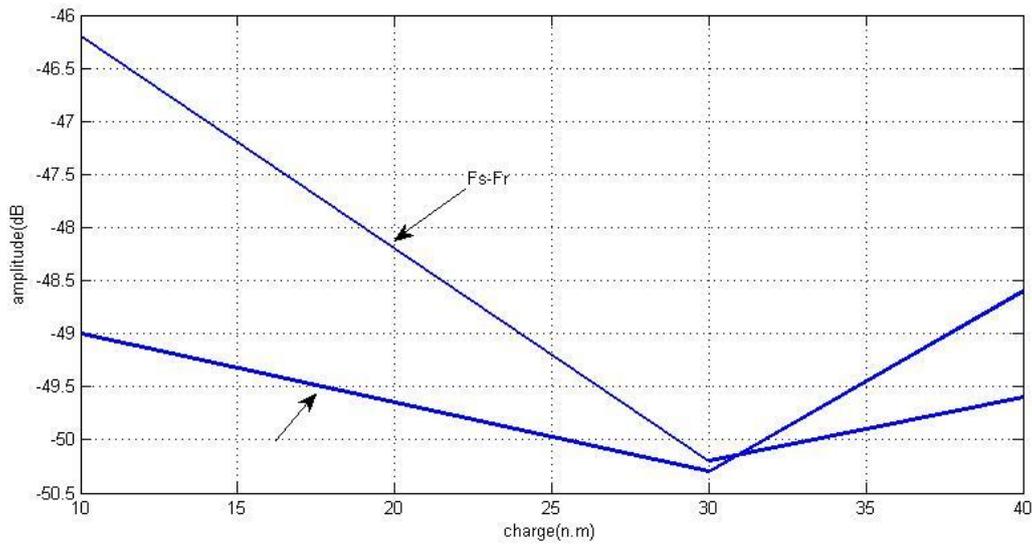


Fig.III.64: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{\pm Fr}$  augmente lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

**III.4.2.2. Pour 20% d'excentricité statiques :**

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-44.5	-43.6	-48.43
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-44	-43.4	-45.56

Tab.III.65 :20% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

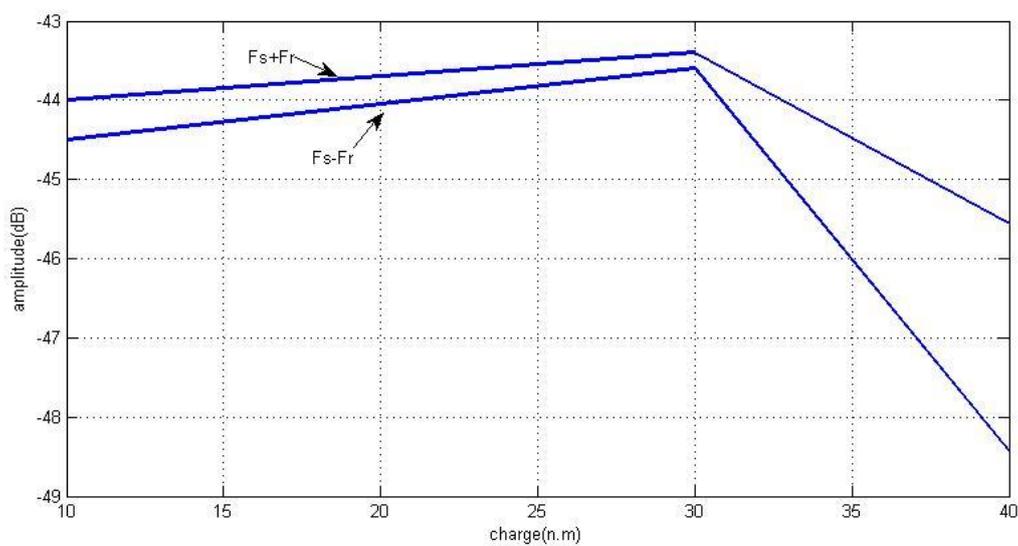


Fig.III.65: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-45.08	-48.65	-47.82
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-44.92	-49.41	-47.11

Tab.III.66 :20% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

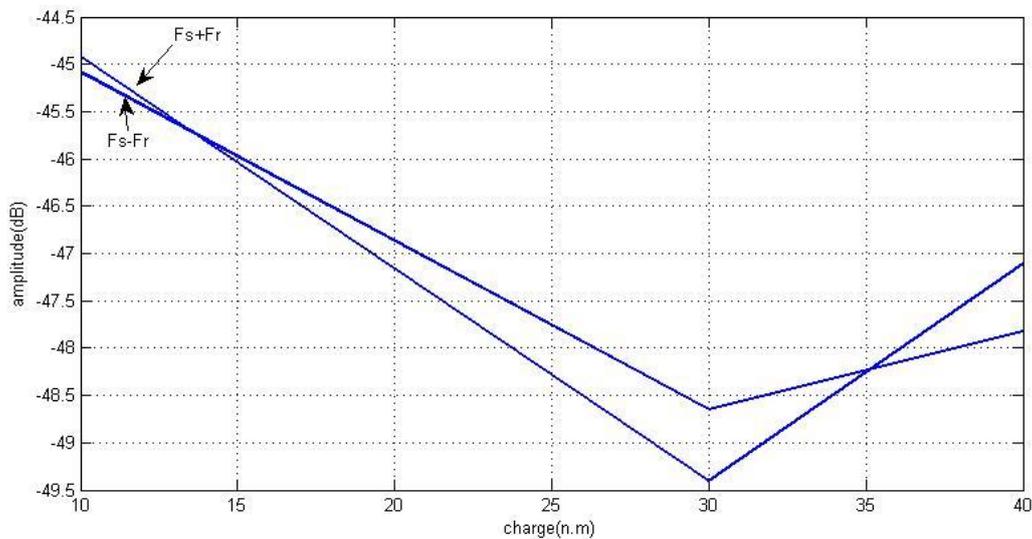


Fig.III.66: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{\pm Fr}$  augmente lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

#### III.4.2.3.Pour 30% d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-41.27	-40.67	-45.25
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-42.07	-40.49	-42.97

Tab.III.67 :30% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

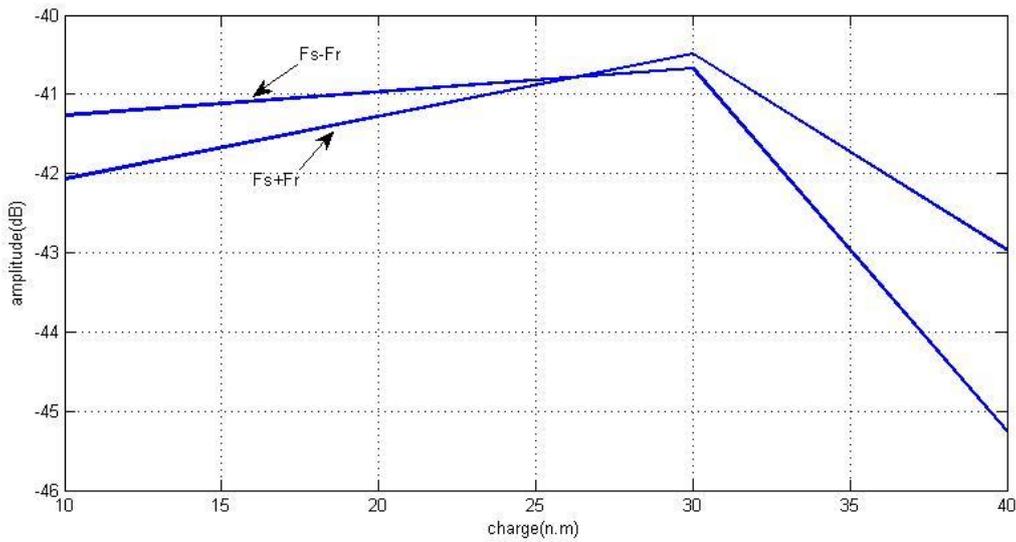


Fig.III.67: amplitude d’harmonique  $F_s \pm F_r$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_s \pm F_r$  diminue lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s - F_r$ )	-42.79	-48.76	-45.06
ampl( $F_s + F_r$ )	-42.89	-47.3	-45.01

Tab.III.68 :30% d’excentricité statique sans inclinaison des barres

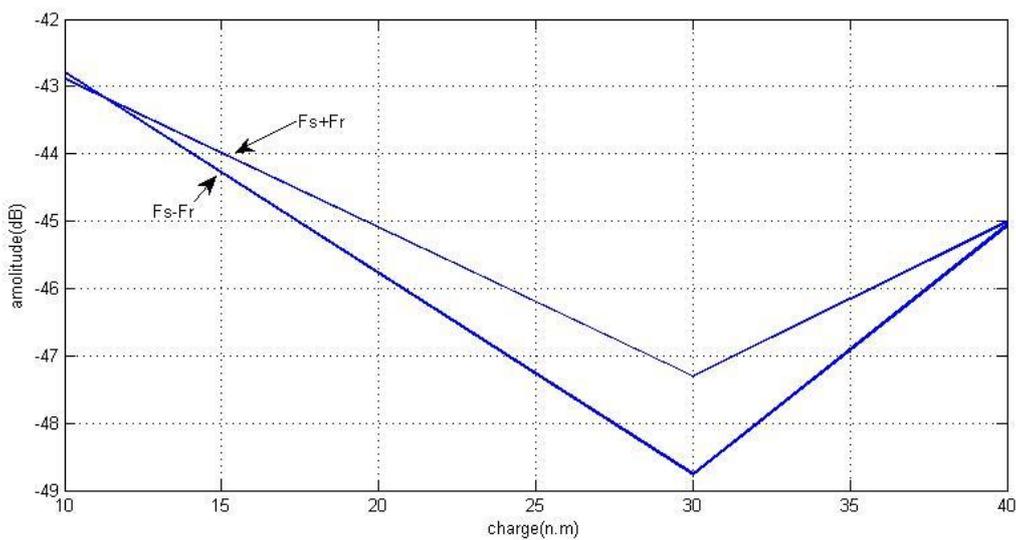


Fig.III.68: amplitude d’harmonique  $F_s \pm F_r$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_s \pm F_r$  augmente lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

### III.4.2.4.pour 40% d'excentricité statiques :

Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-40.33	-39.22	-41.8
ampl(Fs+Fr)	-39.29	-37.53	-39.98

Tab.III.69 :40% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

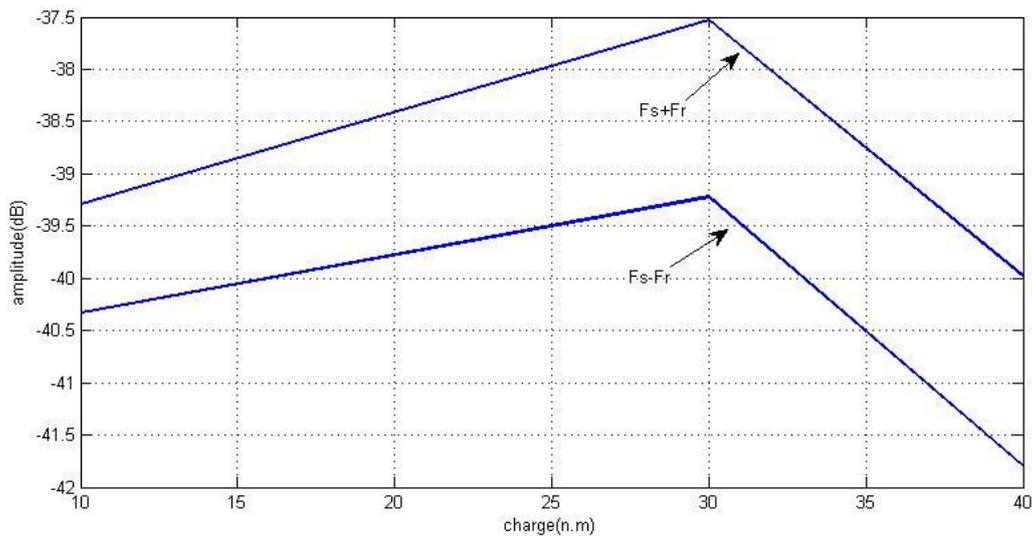


Fig.III.69: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-41.48	-44.94	-44.34
ampl(Fs+Fr)	-42.64	-43.98	-42.88

Tab.III.70 :40% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

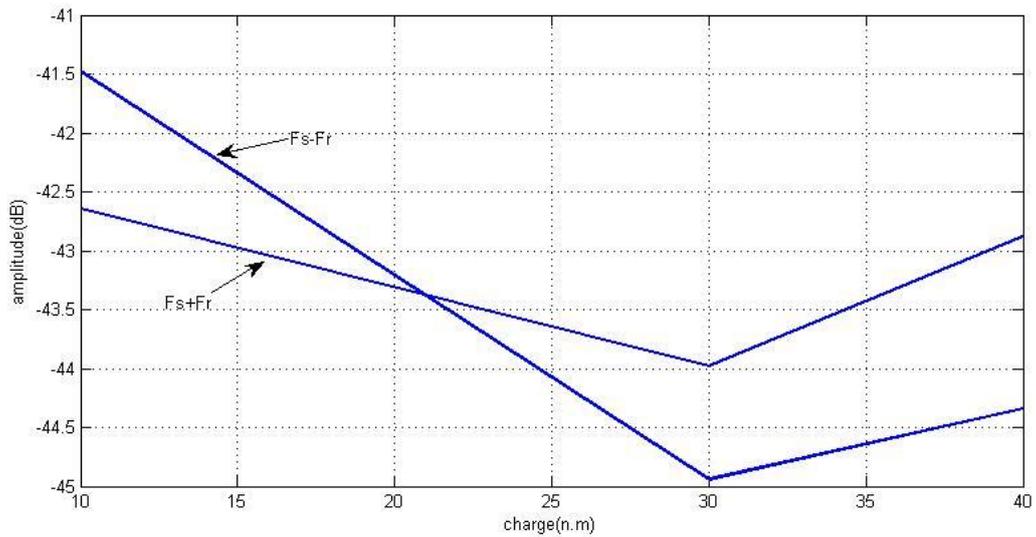


Fig.III.70: amplitude d’harmonique  $F_s \pm F_r$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_s \pm F_r$  augmente lorsqu’il arrive à 30 (n.m) de la charge.

**III.4.2.5. Pour 50% d’excentricité statique :**

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s - F_r$ )	-40.41	-37.7	-39.22
ampl( $F_s + F_r$ )	-34.16	-32.55	-34.21

Tab.III.71 :50% d’excentricité statique avec inclinaison des barres.

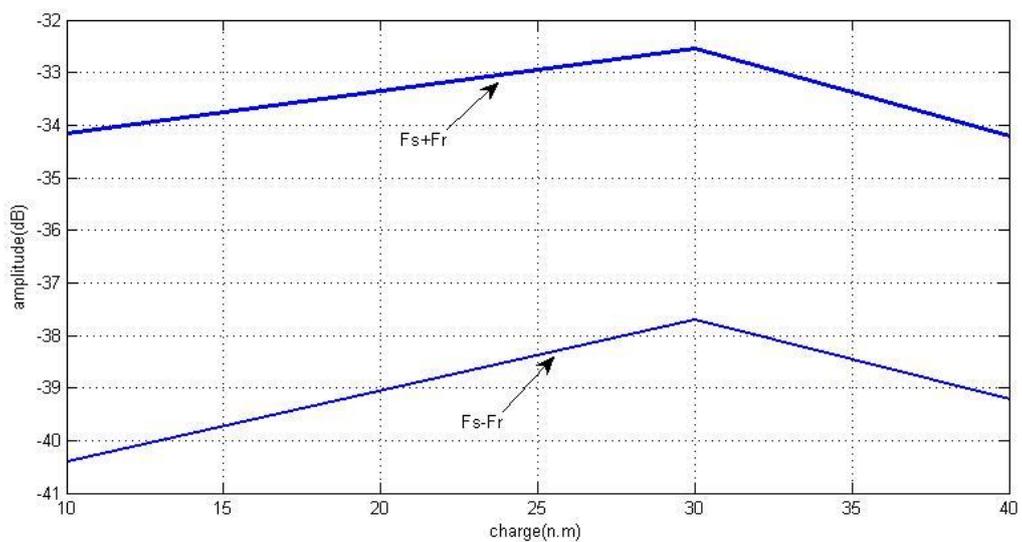


Fig.III.71: amplitude d’harmonique  $F_s \pm F_r$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-41.3	-41.96	-46.6
ampl( $F_s+Fr$ )	-38.48	-35.31	-36.51

Tab.III.72 :50% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

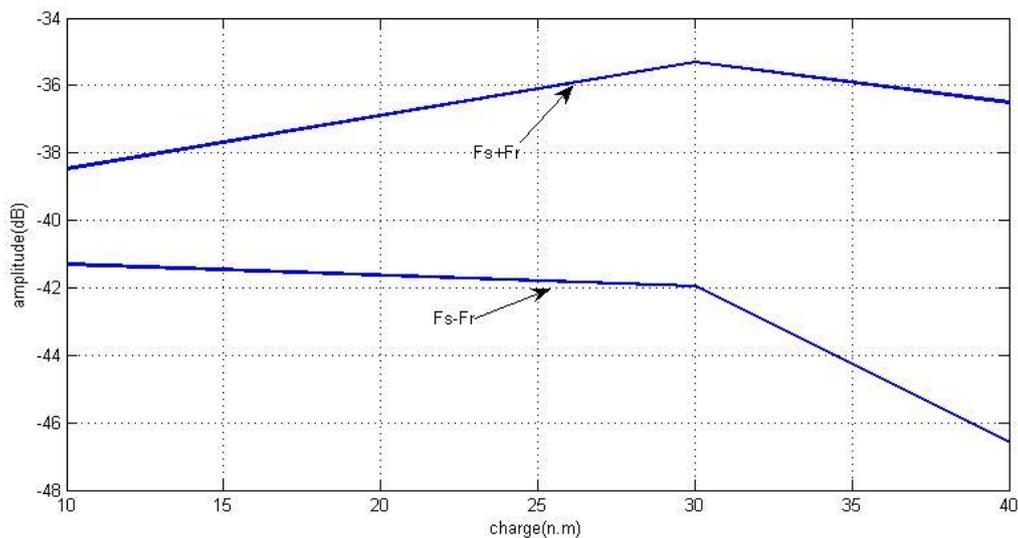


Fig.III.72: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

#### III.4.2.6.Pour 60% d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-37.21	-34.21	-35.38
ampl( $F_s+Fr$ )	-34.24	-32.67	-32.69

Tab.III.73:60% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

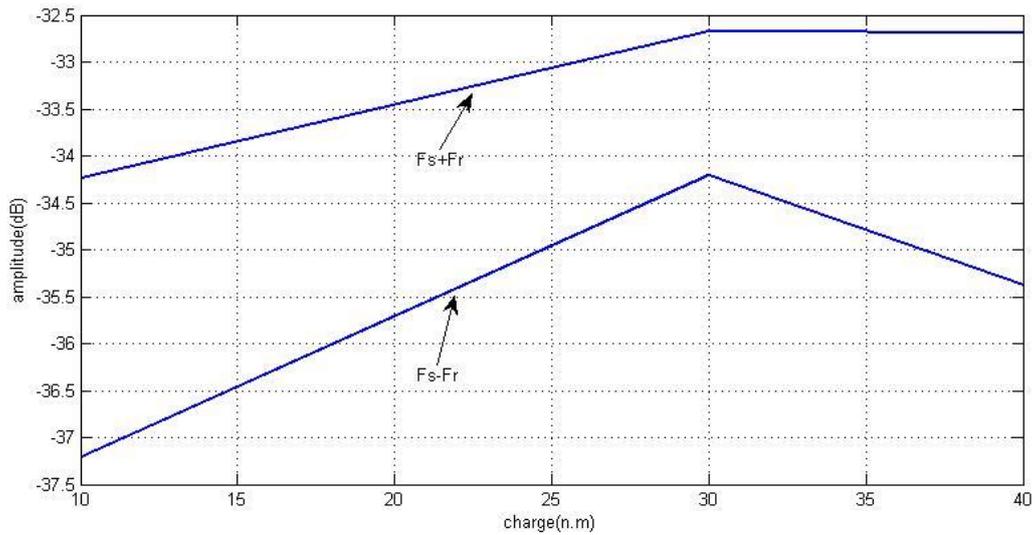


Fig.III.73: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-41.47	-45	-44.77
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-41.48	-37	-34.82

Tab.III.74:60% d’excentricité statique sans inclinaison des barres.

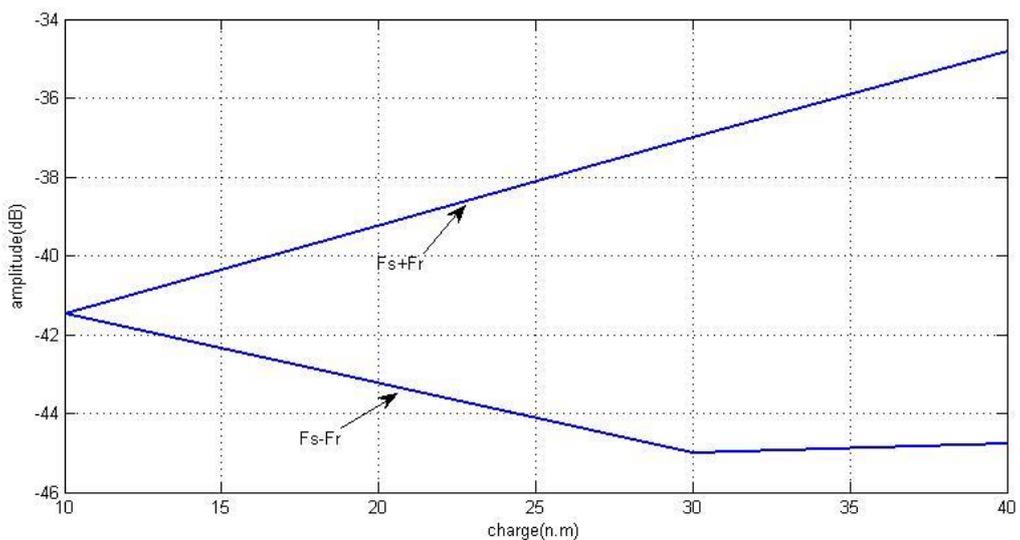


Fig.III.74: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s+Fr}$  augmente avec la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_s$ - $F_r$  diminue avec la charge.

### III.4.3.30% d'excentricité dynamique

#### III.4.3.1. Pour 10% d'excentricité statiques

- Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s$ - $F_r$ )	-45.33	-44.81	-49.18
ampl( $F_s$ + $F_r$ )	-46.31	-44.75	-47.06

Tab.III.75: 10% d'excentricité statique avec inclinaison des barres

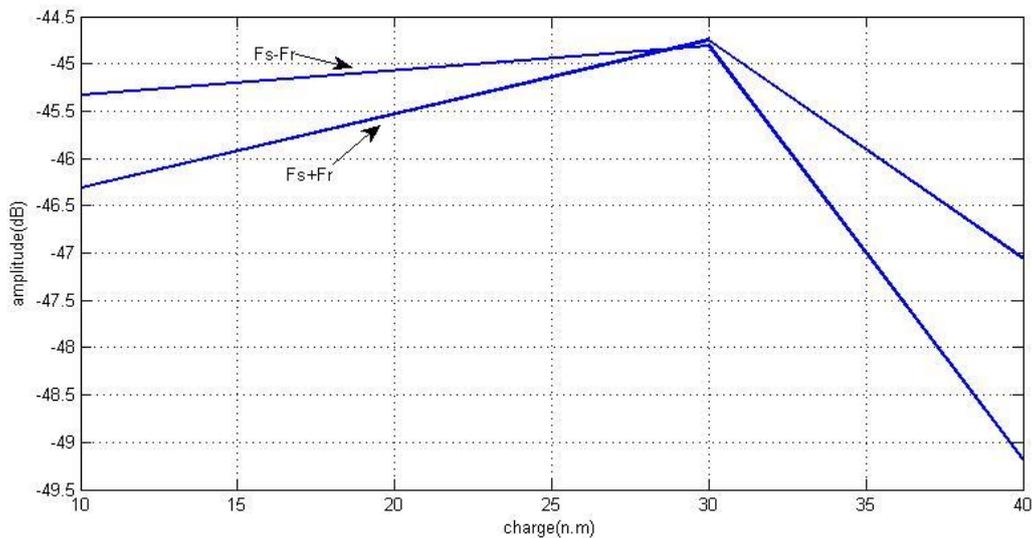


Fig.III.75: amplitude d'harmonique  $F_s \pm F_r$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_s \pm F_r$  diminue lorsqu'il arrive à 30 (n.m) de la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s$ - $F_r$ )	-45.31	-49.09	-48.73
ampl( $F_s$ + $F_r$ )	-47.44	-48.89	-47.75

Tab.III.76: 10% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

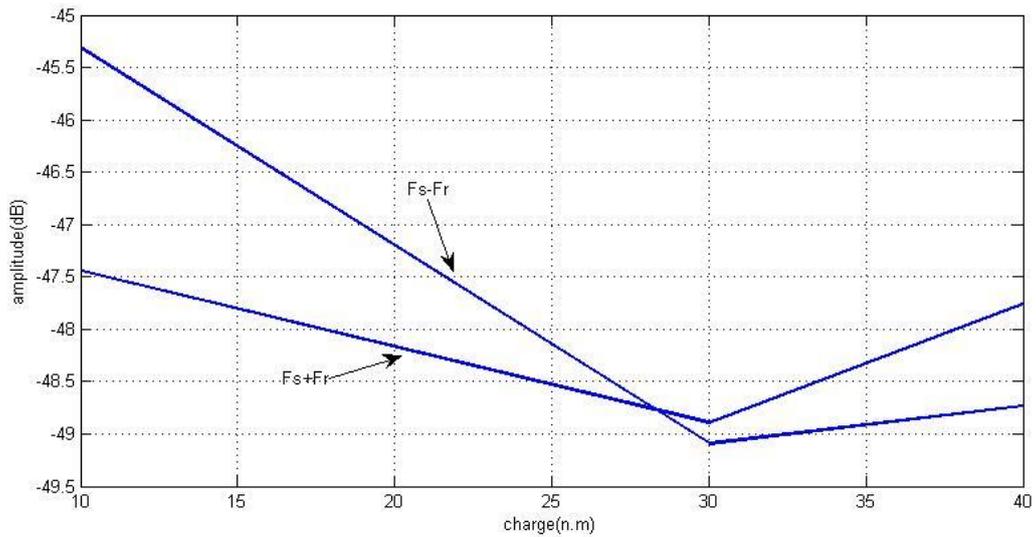


Fig.III.76: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

**III.4.3.2 .Pour 20% d’excentricité statiques :**

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-40.44	-40.9	-45.94
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-41.85	-40.53	-42.54

Tab.III.77:20% d’excentricité statique avec inclinaison des barres.

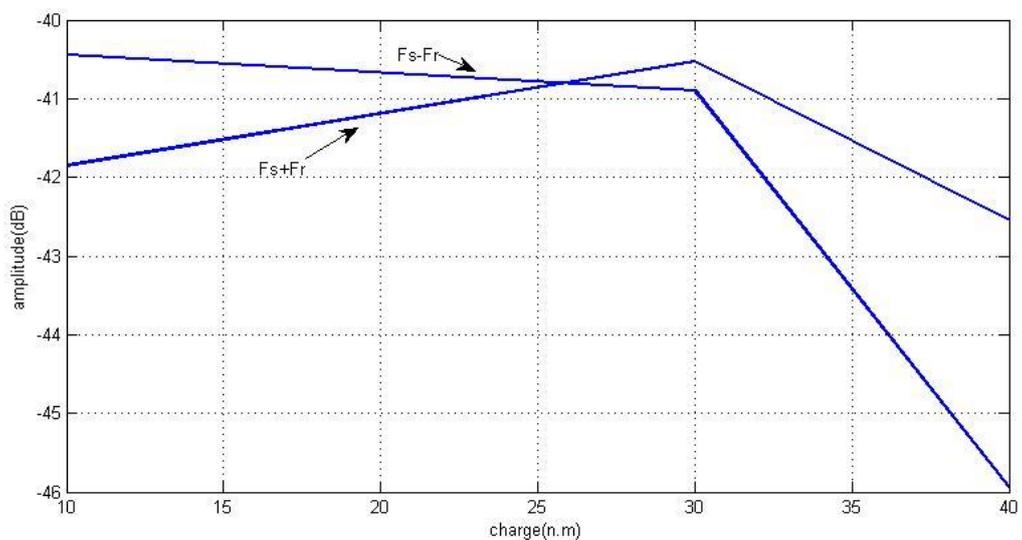


Fig.III.77: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-42.35	-45.85	-45.5
ampl( $F_s+Fr$ )	-43.55	-46.44	-45.29

Tab.III.78:20% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

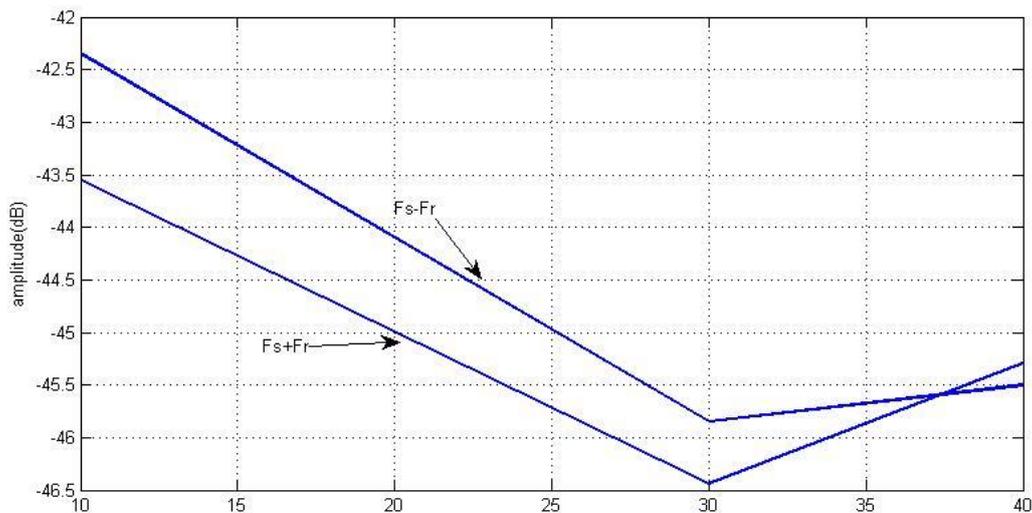


Fig.III.78: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

#### III.4.3.3.Pour 30% d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-37.5	-37.96	-41.3
ampl( $F_s+Fr$ )	-38.25	-37.04	-38.52

Tab.III.79:30% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

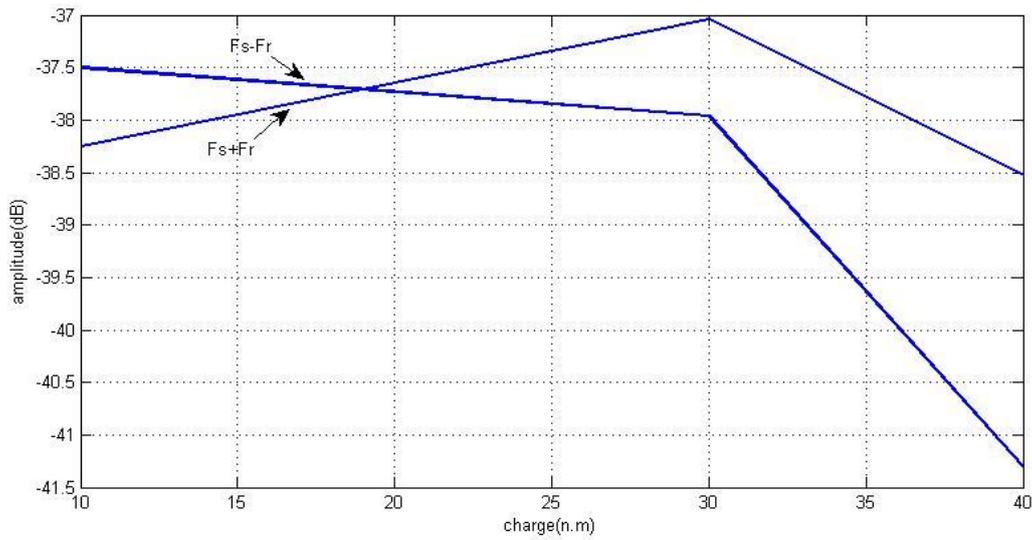


Fig.III.79: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-F_r$ )	-41.74	-42.84	-44.94
ampl( $F_s+F_r$ )	-42.46	-41.87	-45.35

Tab.III.80:30% d’excentricité statique sans inclinaison des barres.

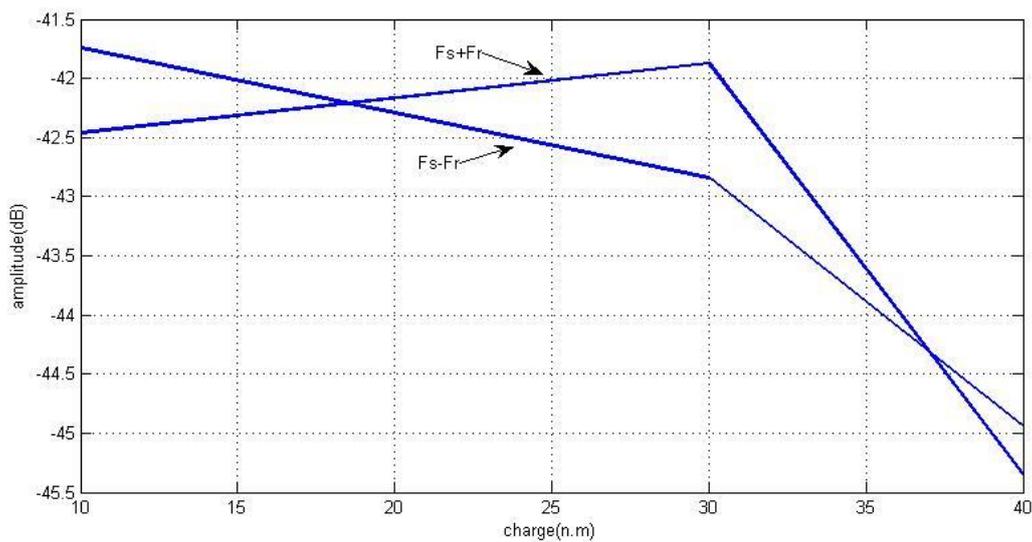


Fig.III.80: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu’il arrive a 30 (n.m) de la charge.

### III.4.3.4. Pour 40% d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-34.52	-35.29	-37.45
ampl(Fs+Fr)	-34.77	-33.73	-34.38

Tab.III.81:40% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

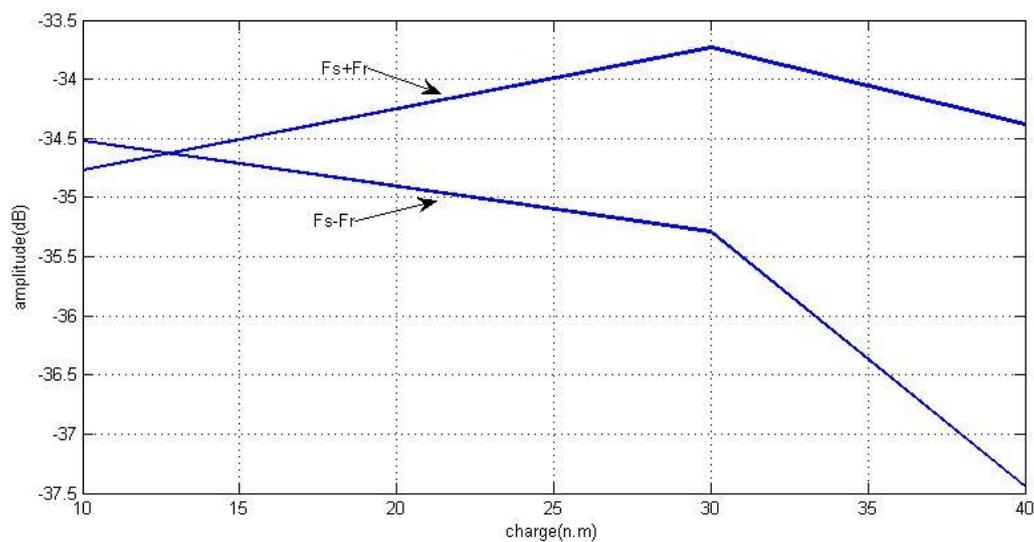


Fig.III.81: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue lorsqu'il arrive a 30 (n.m) de la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl(Fs-Fr)	-36.17	-40.05	-42.78
ampl(Fs+Fr)	-40.41	-38.4	-37.31

Tab.III.82:40% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

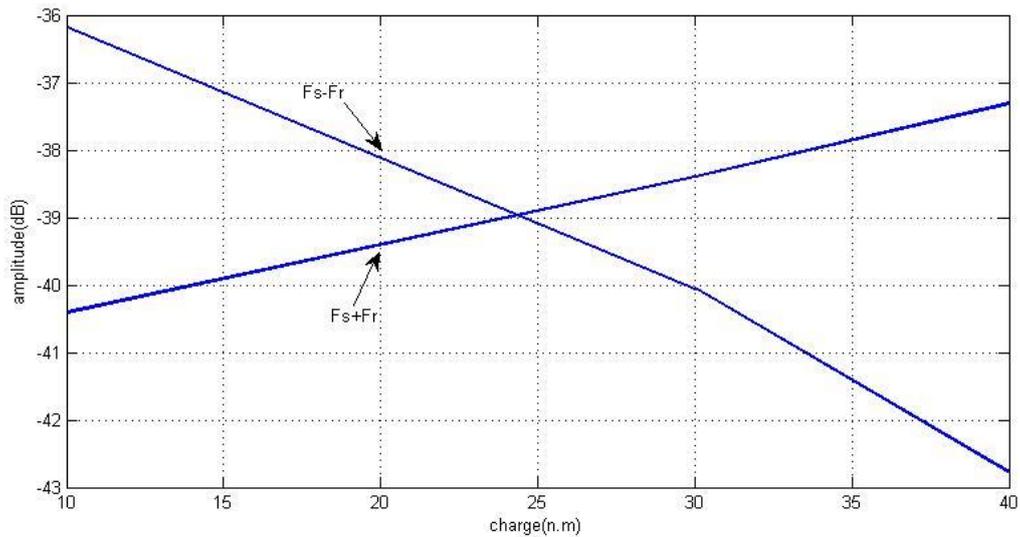


Fig.III.82: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s+Fr}$  augmente avec la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s-Fr}$  diminue avec la charge.

#### III.4.3.5: Pour 50 % d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-31.71	-32.13	-32.97
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-28.72	-28.34	-28.09

Tab.III.83: 50% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

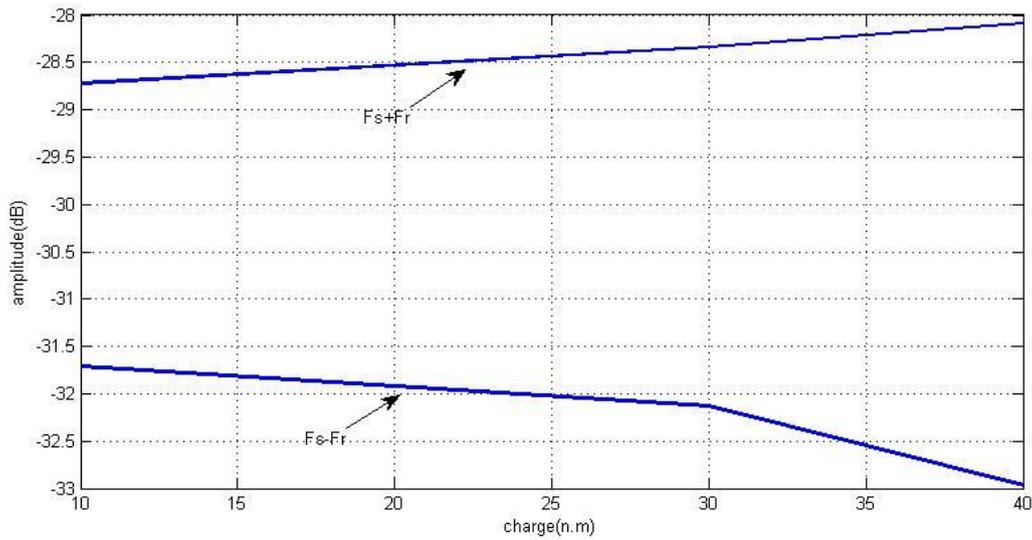


Fig.III.83: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_s+Fr$  augmente avec la charge.

L’amplitude d’harmonique  $F_s-Fr$  diminue avec la charge.

- Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-Fr$ )	-34.46	-41.37	-43.29
ampl( $F_s+Fr$ )	-34.17	-30.59	-30.21

Tab.III.84:50% d’excentricité statique sans inclinaison des barres.

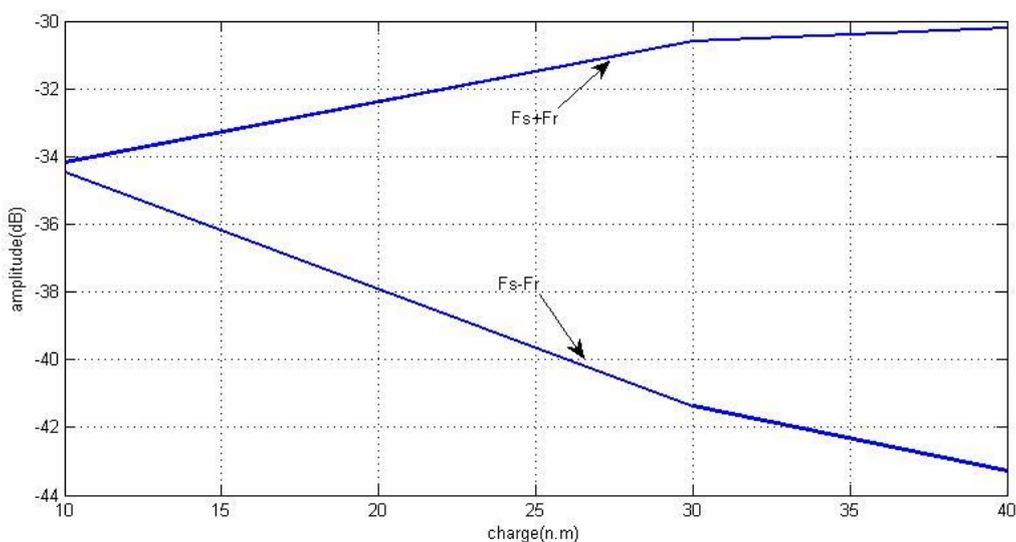


Fig.III.84: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_s+Fr$  augmente avec la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_s-Fr$  diminue avec la charge.

### III.4.3.6. Pour 60% d'excentricité statiques :

-Avec inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-Fr$ )	-26.16	-29.74	-41.43
ampl( $F_s+Fr$ )	-22.16	-23.31	-23.38

Tab.III.85:60% d'excentricité statique avec inclinaison des barres.

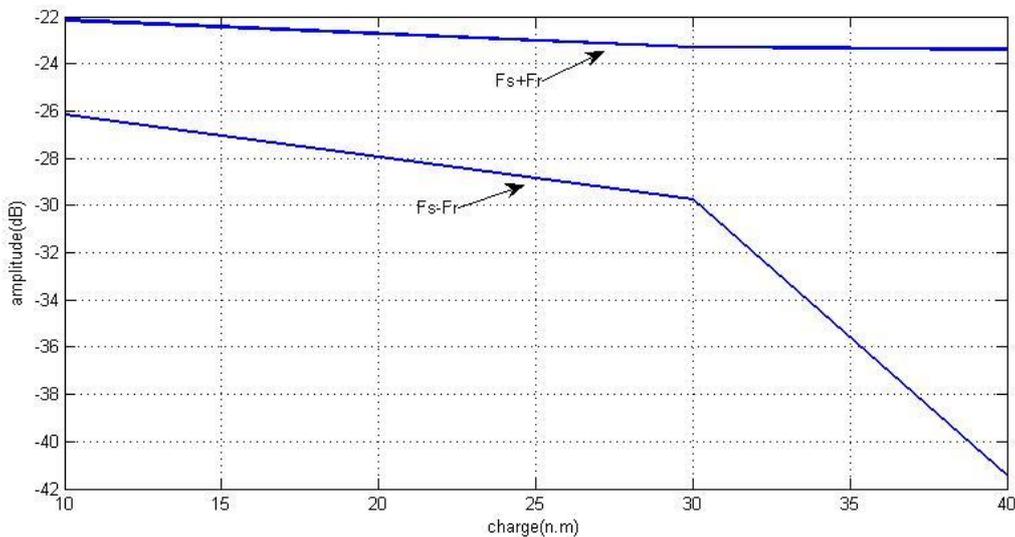


Fig.III.85: amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  diminue avec la charge.

-Sans inclinaison des barres :

Charge (n.m)	10	30	40
ampl( $F_s-Fr$ )	-21.33	-24.31	-25.01
ampl( $F_s+Fr$ )	-20.24	-21.32	-21.1

Tab.III.86:60% d'excentricité statique sans inclinaison des barres.

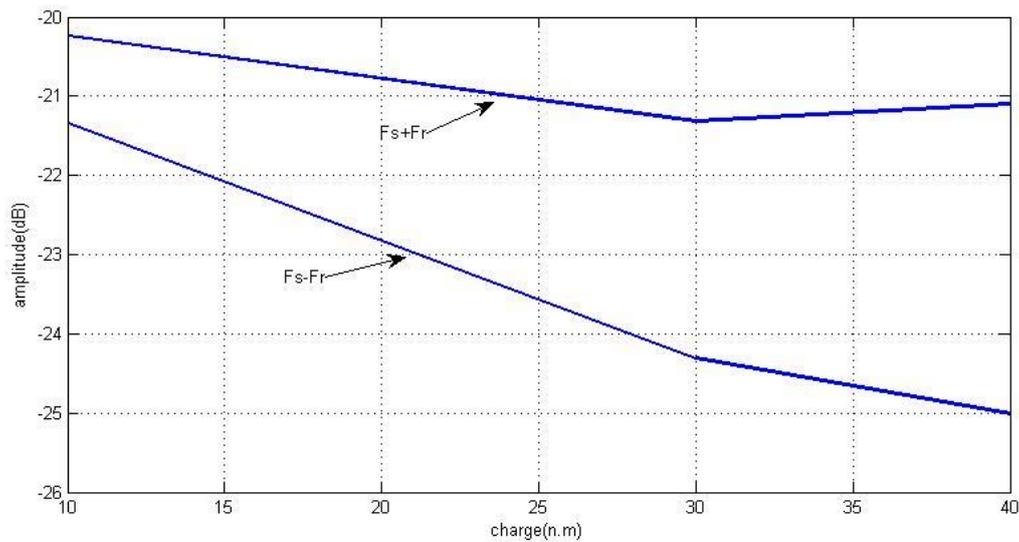


Fig.III.86: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  diminue avec la charge.

### III.5. ETUDE DE L'HARMONIQUE $F_{s \pm FR}$ POUR DIFFERENT SEVERITE DE DEFAUT STATIQUE:

#### III.5.1. 10% d'excentricité dynamique

##### III.5.1.1. 10% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) avec inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-48.43	-46.86	-46.25	-45.66	-45.13	-40.59
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-50.4	-48.33	-46.51	-45.34	-40.94	-44.25

Tab.III.87: charge 10(n.m) avec inclinaison des barres.

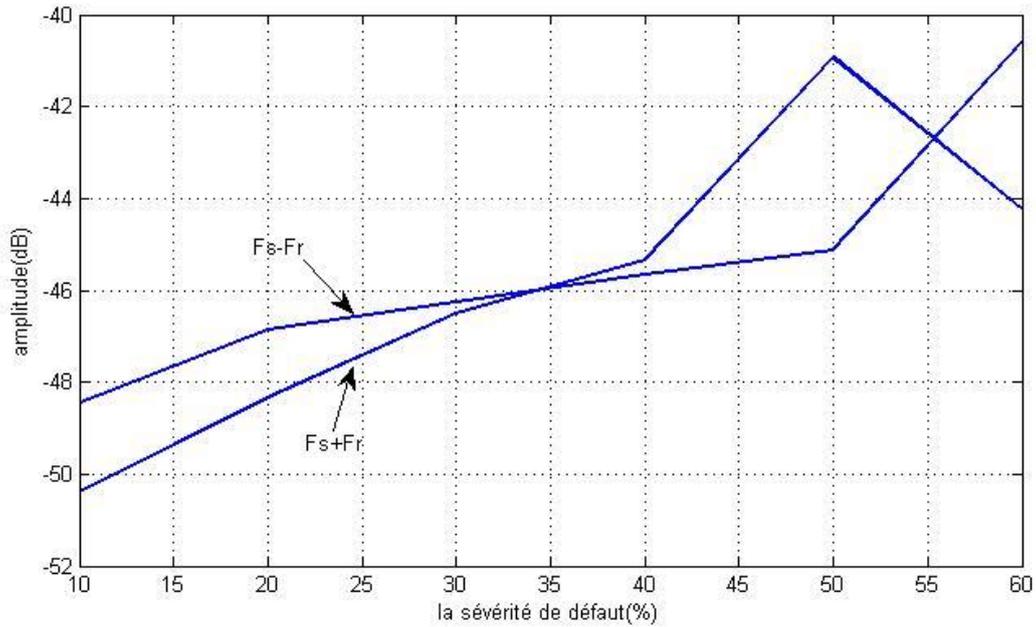


Fig.III.87: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s+Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.1.2 .10% d’excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) avec inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-50.19	-46.87	-45.27	-44.02	-43.15	-41.12
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-48.85	-46.73	-44.39	-42.23	-38.09	-39.58

Tab.III.88: charge 30(n.m) avec inclinaison des barres.

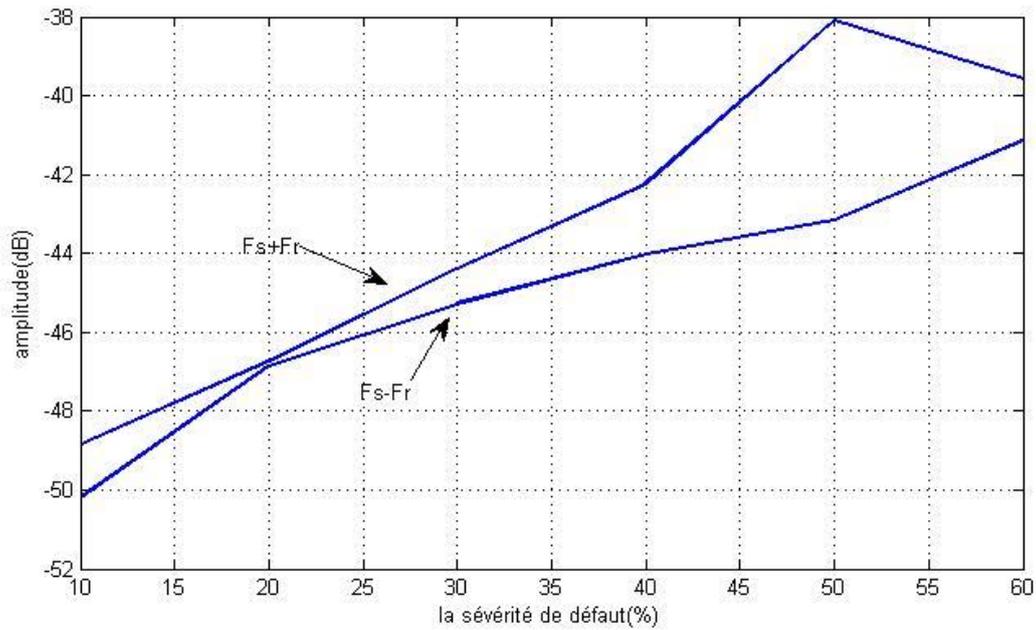


Fig.III.88: amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.1.3.10% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) avec inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_s-Fr$ )	-51.28	-50.16	-49.14	-51.34	-44.57	-39.97
ampl( $F_s+Fr$ )	-49.52	-48.37	-47.12	-51.1	-41.78	-41.95

Tab.III.89: charge 40(n.m) avec inclinaison des barres.

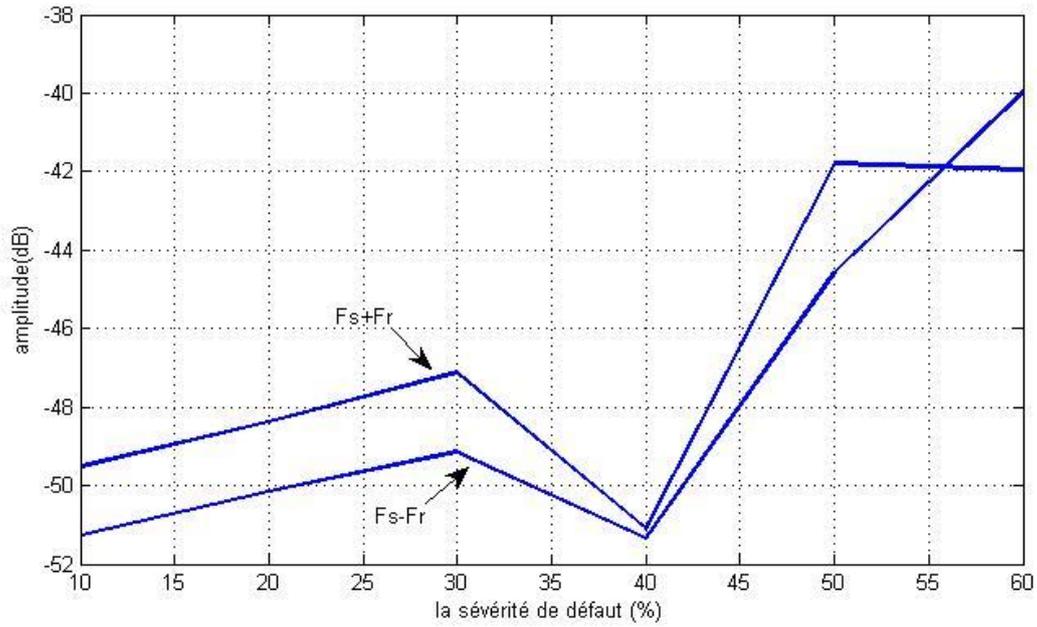


Fig.III.89: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

**III.5.1.4 .10% d’excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) sans inclinaison des barres :**

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-48.74	-46.93	-44.3	-43.28	-43.31	-44.29
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-50.11	-49.75	-46.22	-44.62	-42.53	-48.06

Tab.III.90: charge 10(n.m) sans inclinaison des barre.

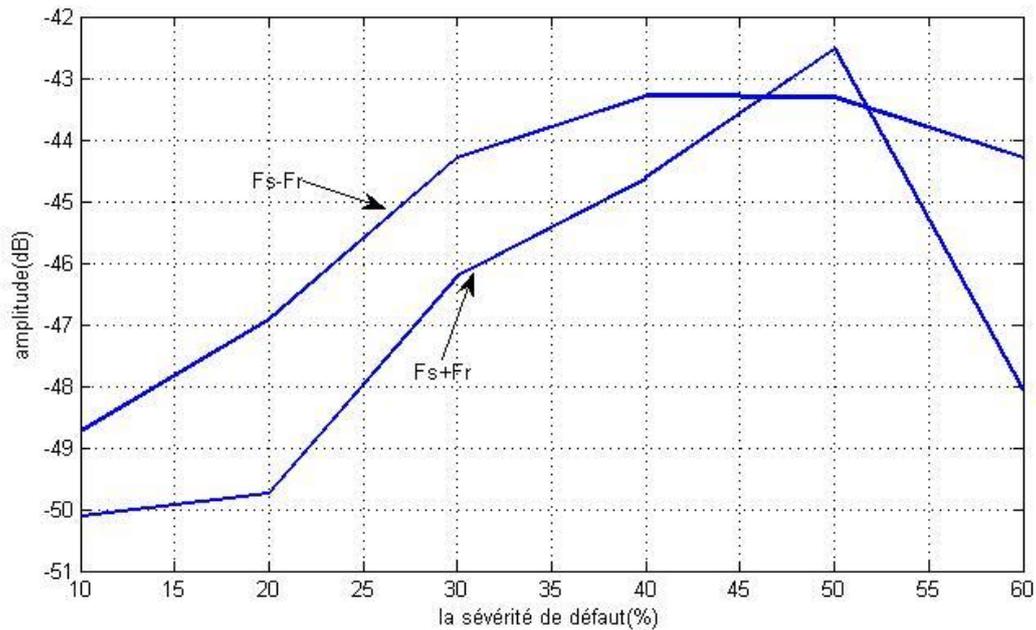


Fig.III.90: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.1.5.10% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) sans inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50
ampl( $F_s-F_r$ )	-51.23	-50.7	-49.42	-48.8	-47.04
ampl( $F_s+F_r$ )	-50.82	-49.93	-49.24	-48.29	-43.55

Tab.III.91: charge 30(n.m) sans inclinaison des barres.

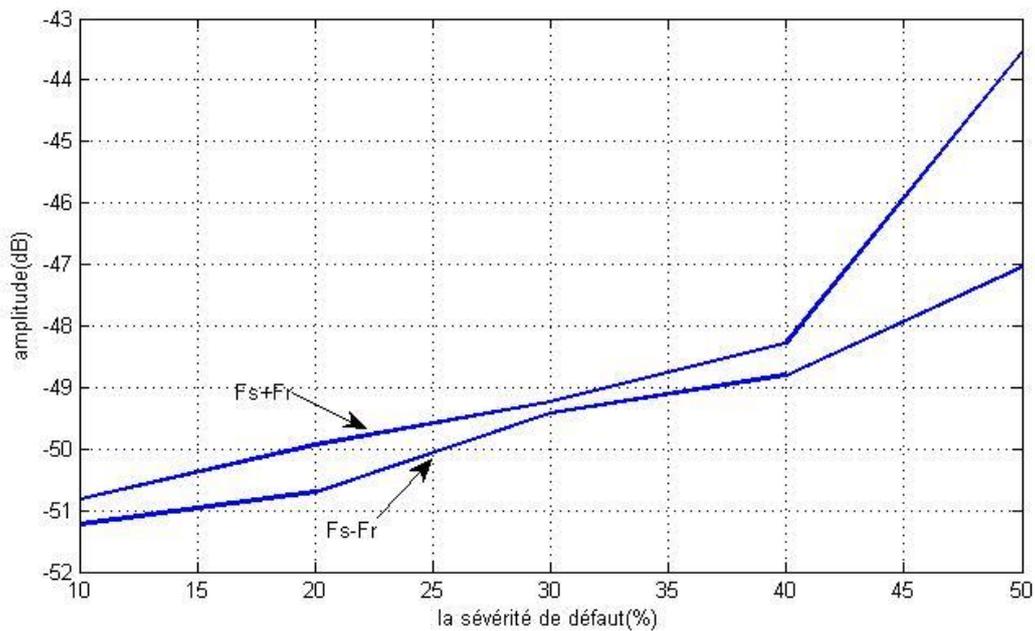


Fig.III.91: amplitude d'harmonique  $F_s \pm F_r$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_s \pm F_r$  augmente avec la sévérité de défaut.

#### III.5.1.6.10% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) sans inclinaison des barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50
ampl( $F_s - F_r$ )	-51.07	-50	-47.7	-46.02	-45.83
ampl( $F_s + F_r$ )	-49.9	-48.6	-46.51	-44.92	-41.91

Tab.III.92: charge 40(n.m) sans inclinaison des barres.

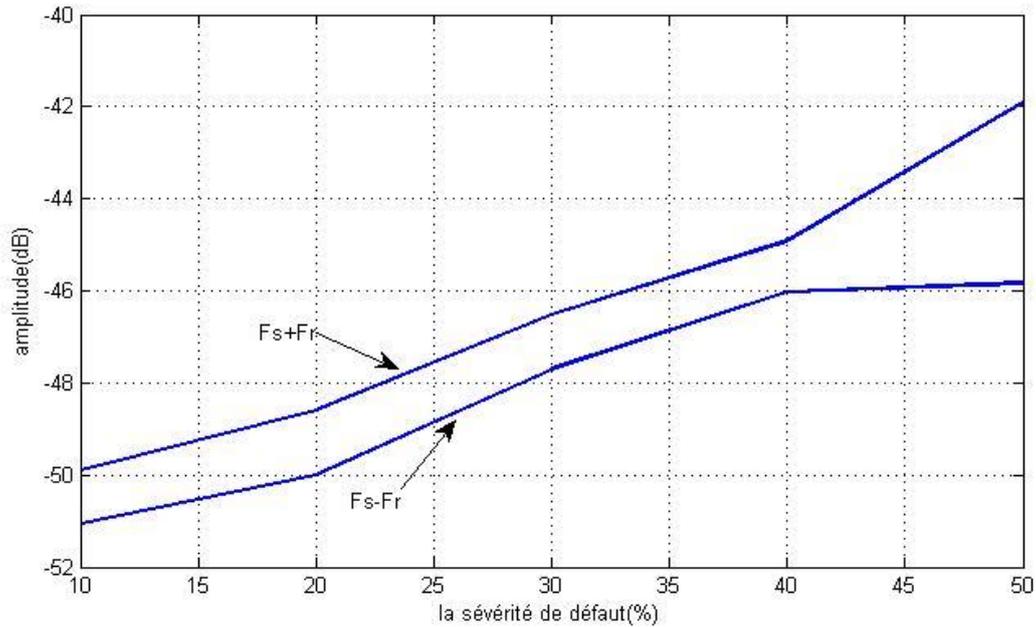


Fig.III.92: amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  augmente avec la sévérité de défaut

### III.5.2.20% d'excentricité dynamique

#### III.5.2.1.20% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) avec inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl ( $F_s-Fr$ )	-45.88	-44.5	-41.27	-40.33	-40.41	-37.21
ampl( $F_s+Fr$ )	-49	-44	-42.07	-39.29	-34.16	-34.24

Tab.III.93: charge 10(n.m) avec inclinaison des bar

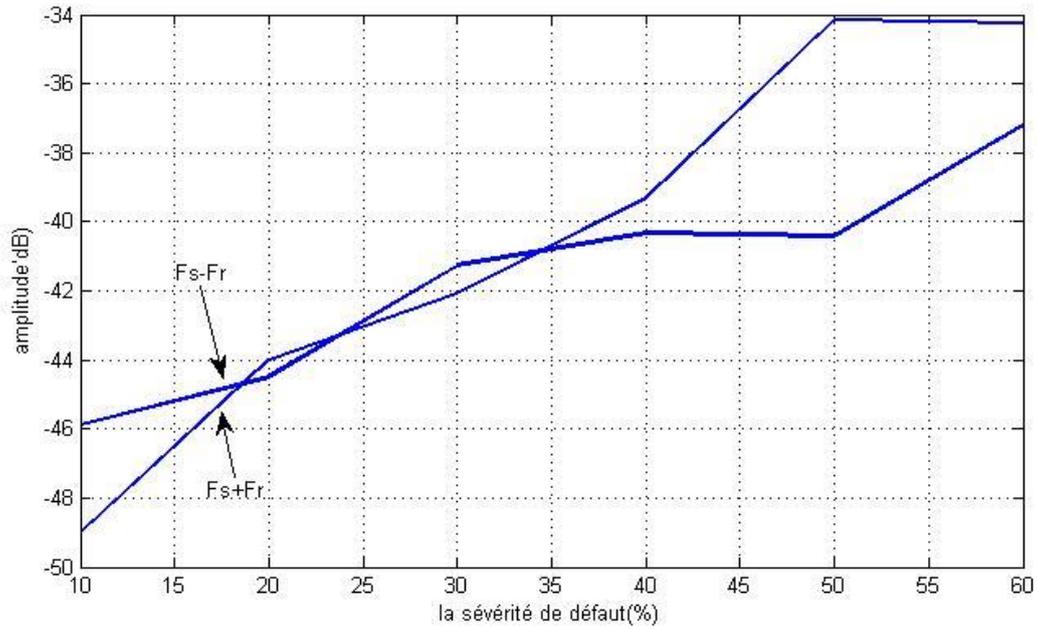


Fig.III.93: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

**III.5.2.2: 20% d’excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) avec inclinaison des barres :**

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl (Fs-Fr)	-47.3	-43.6	-40.67	-39.22	-37.7	-34.21
ampl(Fs+Fr)	-46.5	-43.4	-40.49	-37.53	-32.55	-32.67

Tab.III.94: charge 30(n.m) avec inclinaison des barres.

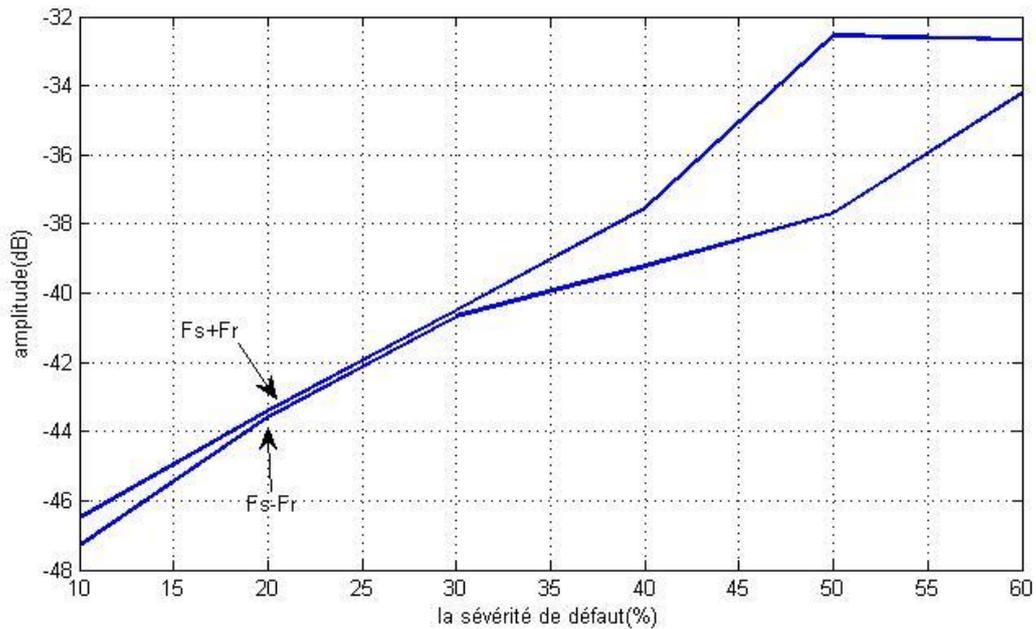


Fig.III.94: amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.2.3.20% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) avec inclinaison des barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl ( $F_s-Fr$ )	-50.3	-48.43	-45.25	-41.8	-39.22	-35.38
ampl( $F_s+Fr$ )	-48.5	-45.56	-42.97	-39.98	-34.21	-32.69

Tab.III.95: charge 40(n.m) avec inclinaison des barres.

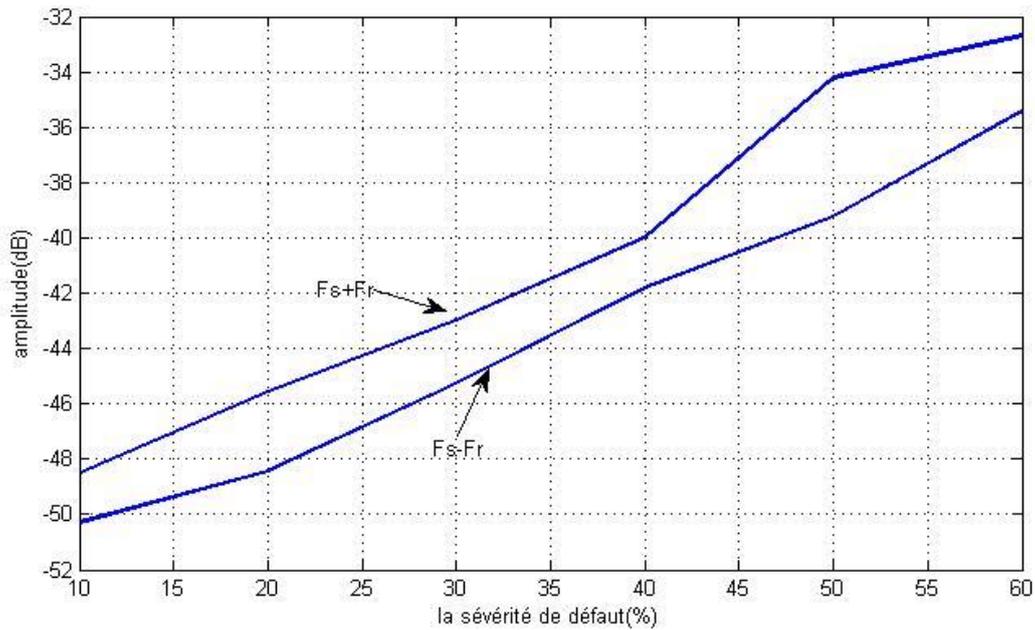


Fig.III.95: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut

#### III.5.2.4.20% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) sans inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl ( $F_{s-Fr}$ )	-46.2	-45.08	-42.79	-41.48	-41.3	-41.47
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-49	-44.92	-42.89	-42.64	-38.48	-41.48

Tab.III.96: charge 10(n.m) sans inclinaison des barres.

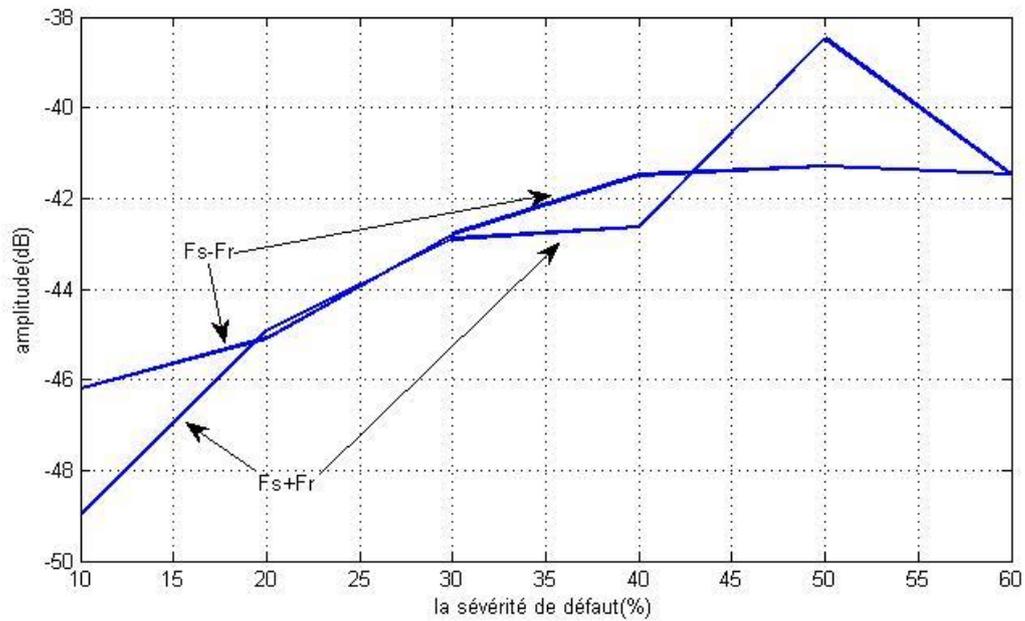


Fig.III.96: amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L’amplitude d’harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

**III.5.2.5.20% d’excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) sans inclinaison des**

**barres :**

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl ( $F_{s-Fr}$ )	-50.2	-48.65	-48.76	-44.94	-41.96	-45
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-50.3	-49.41	-47.3	-43.98	-35.31	-37

Tab.III.97: charge 30(n.m) sans inclinaison des barres.

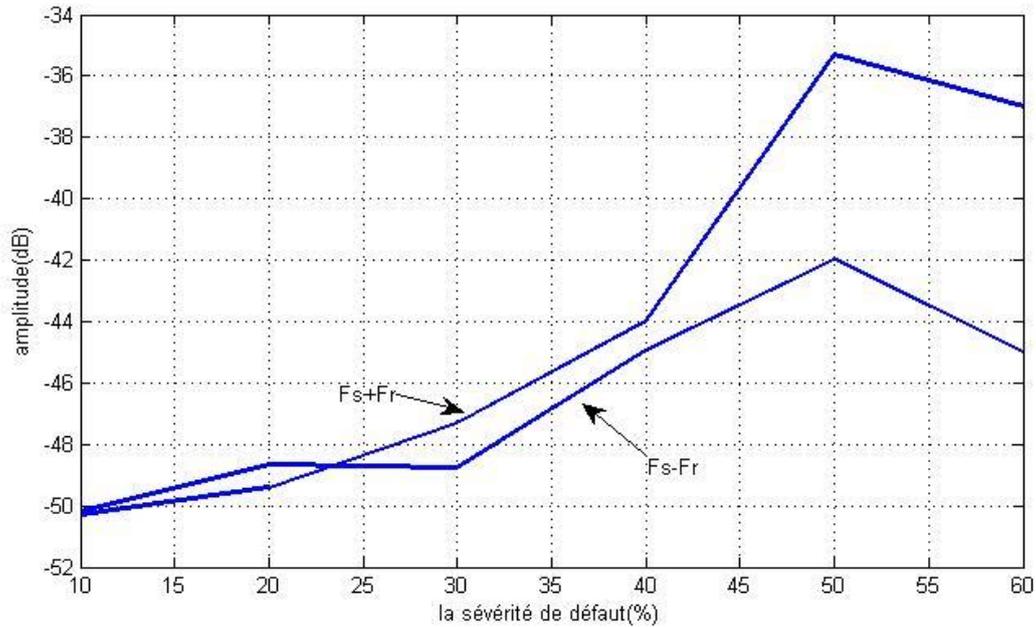


Fig.III.97: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.2.6.20% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) sans inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-49.6	-47.82	-45.06	-44.34	-46.6	-44.77
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-48.6	-47.11	-45.01	-42.88	-36.51	-34.82

Tab.III.98: charge 40(n.m) sans inclinaison des barres.

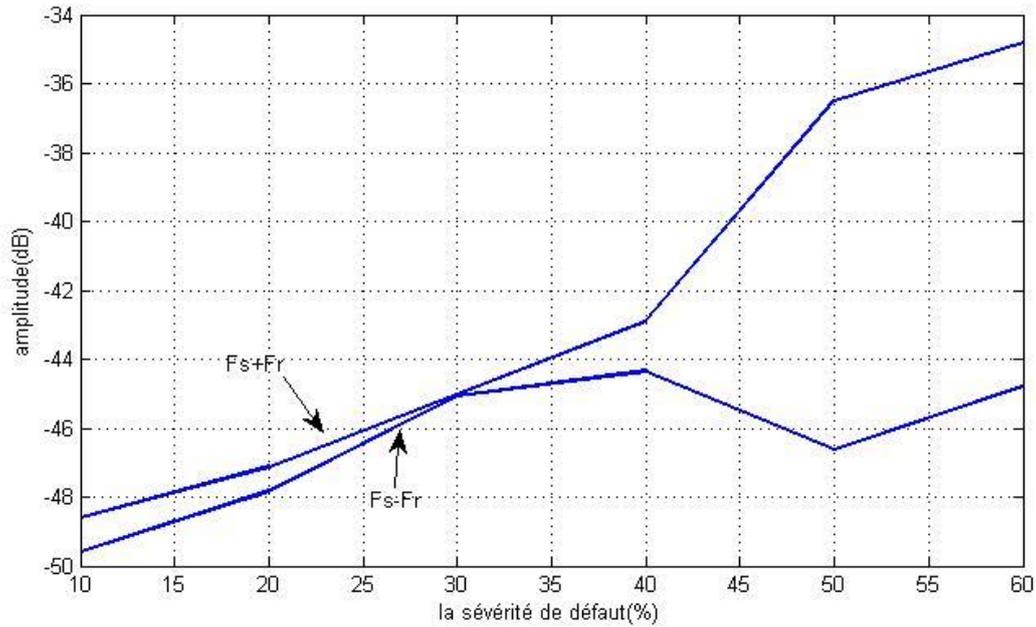


Fig.III.98: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.3.30% d'excentricité dynamique

#### III.5.3.1.30% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) avec inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl(Fs-Fr)	-45.33	-40.44	-37.5	-34.52	-31.71	-26.16
ampl(Fs+Fr)	-46.31	-41.85	-38.25	-34.77	-28.72	-22.16

Tab.III.99: charge 10(n.m) avec inclinaison des barres.

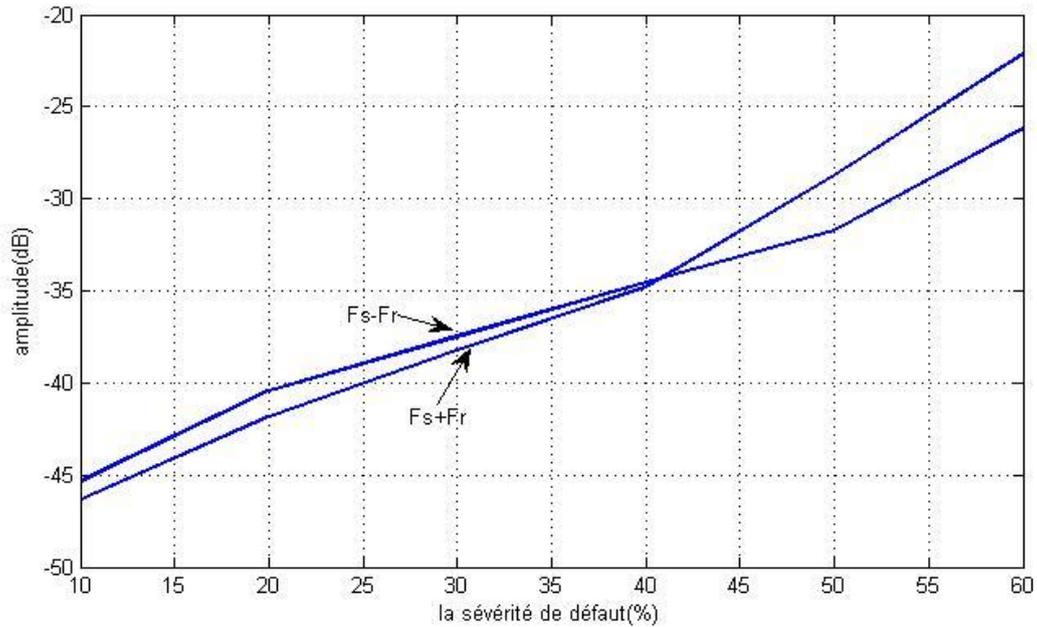


Fig.III.99: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.3.2.30% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) avec inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_s-F_r$ )	-44.81	-40.9	-37.96	-35.29	-32.13	-29.74
ampl( $F_s+F_r$ )	-44.75	-40.53	-37.04	-33.73	-28.34	-23.31

Tab.III.100: charge 30(n.m) avec inclinaison des barres.

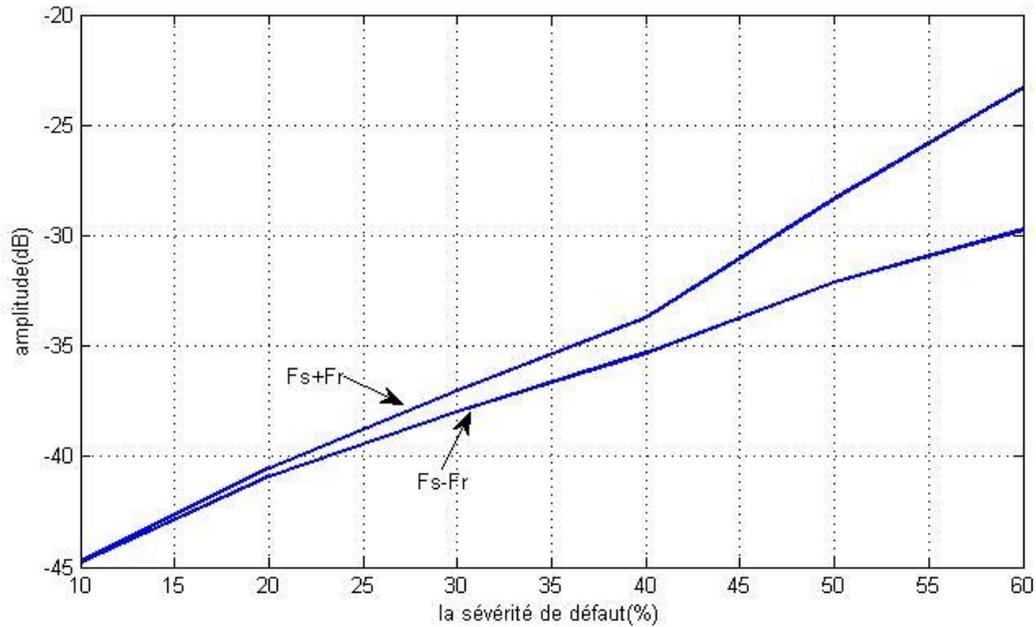


Fig.III.100: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.3.3:30% d'excentricité dynamique pour la charge 40(n.m) avec inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl(Fs-Fr)	-49.18	-45.94	-41.3	-37.45	-32.97	-41.43
ampl(Fs+Fr)	-47.06	-42.54	-38.52	-34.38	-28.09	-23.38

Tab.III.101: charge 40(n.m) avec inclinaison des barres.

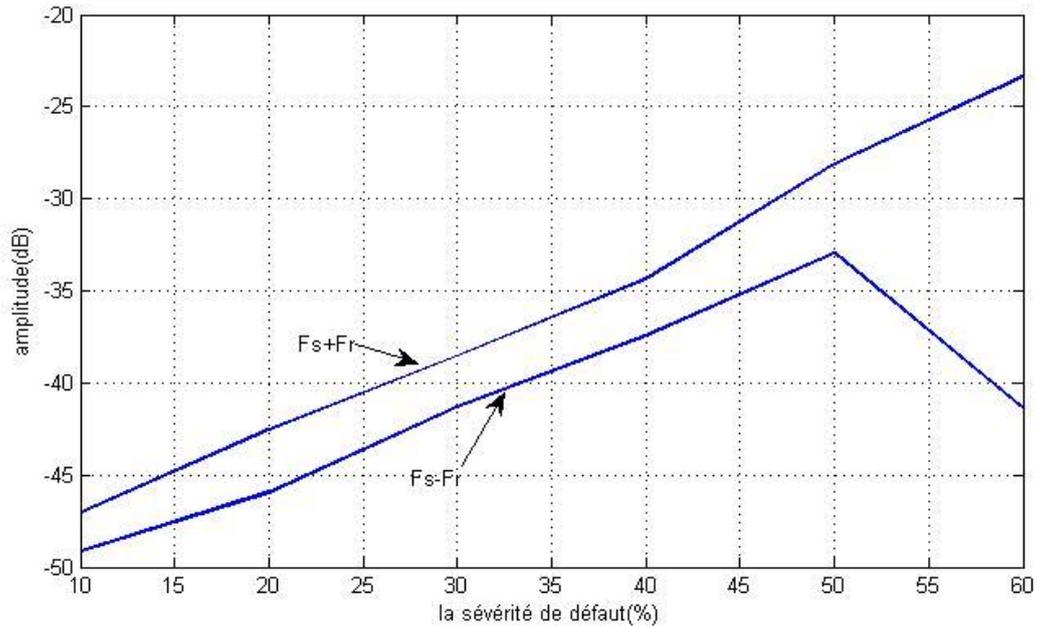


Fig.III.101: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

#### III.5.3.4.30% d'excentricité dynamique pour la charge 10(n.m) sans inclinaison des

barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_s-F_r$ )	-45.31	-42.35	-41.74	-36.17	-34.46	-21.33
ampl( $F_s+F_r$ )	-47.44	-43.55	-42.46	-40.41	-34.17	-20.24

Tab.III.102: charge 10(n.m) sans inclinaison des barres.

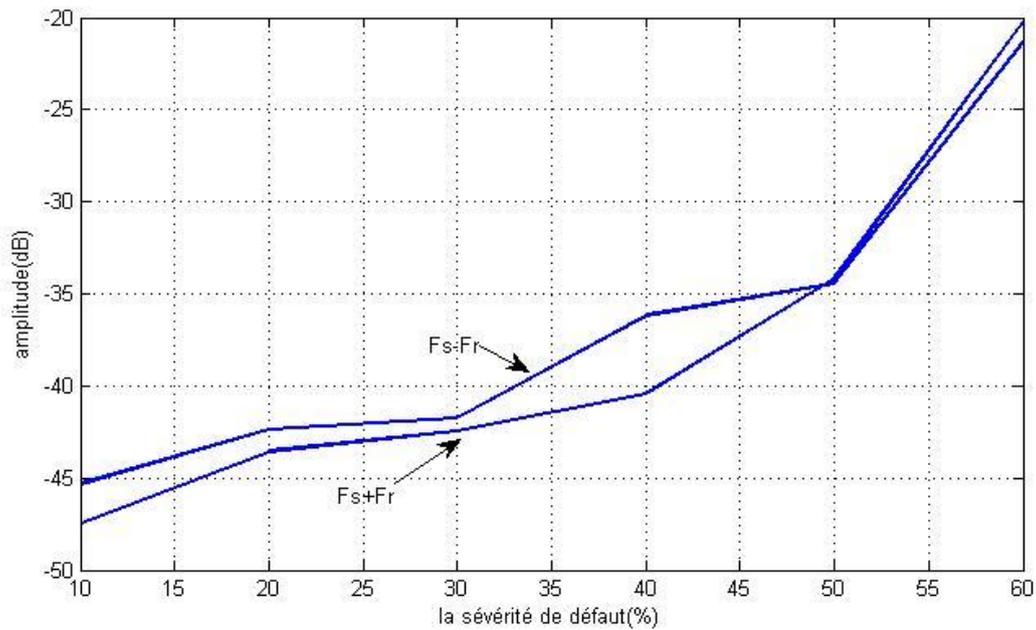


Fig.III.102: amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.3.5.30% d'excentricité dynamique pour la charge 30(n.m) sans inclinaison de barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_{s-Fr}$ )	-49.09	-45.85	-42.84	-40.05	-41.37	-24.31
ampl( $F_{s+Fr}$ )	-48.89	-46.44	-41.87	-38.4	-30.59	-21.32

Tab.III.103: charge 30(n.m) sans inclinaison des barres.

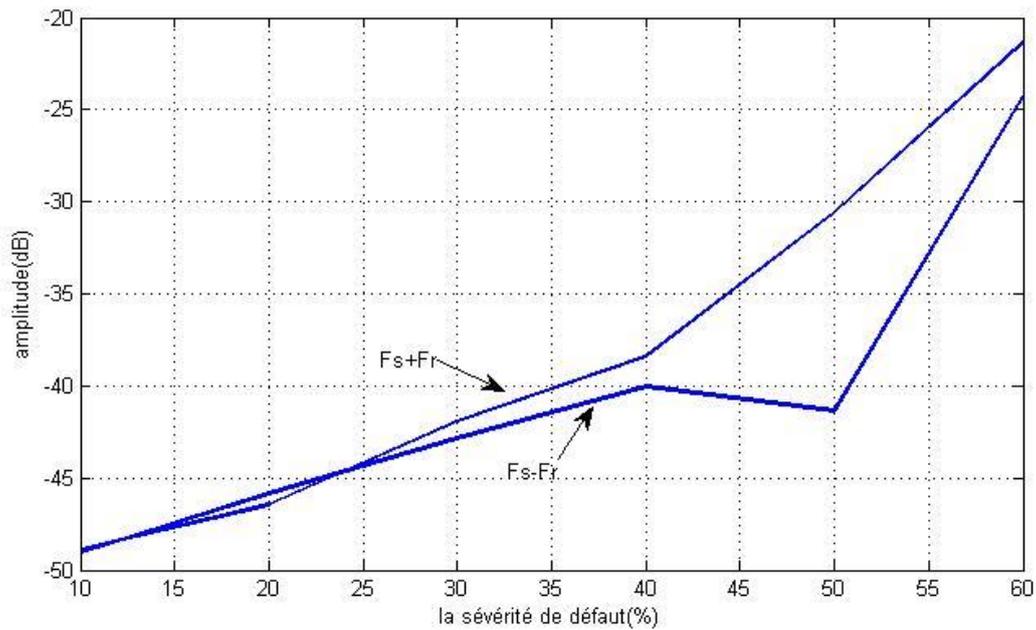


Fig.III.103: amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_s\pm Fr$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.5.3.6.30% d'excentricité dynamique pour la charge 40 (n.m) sans inclinaison des barres :

La sévérité de défaut (%)	10	20	30	40	50	60
ampl( $F_s-Fr$ )	-48.73	-45.5	-44.94	-42.78	-43.29	-25.01
ampl( $F_s+Fr$ )	-47.75	-45.29	-45.35	-37.31	-30.21	-21.1

Tab.III.104: charge 40(n.m) sans inclinaison des barres.

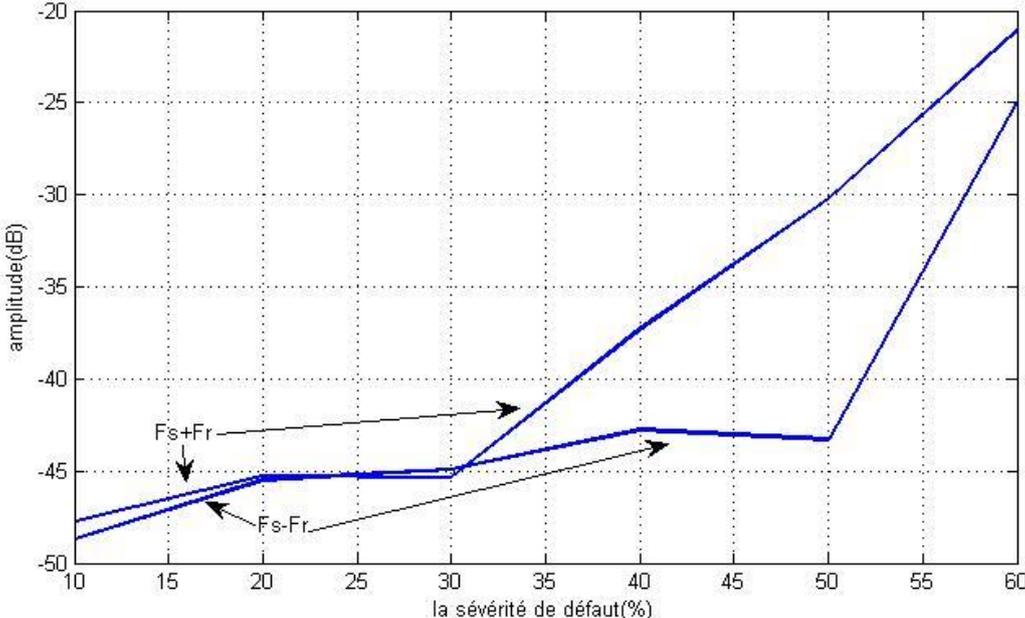


Fig.III.104: amplitude de  $F_s\pm Fr$  en fonction de la sévérité de défaut.

L'amplitude d'harmonique  $F_s+Fr$  augmente avec la sévérité de défaut.

### III.6.CONCLUSION

C présent travail nous a permis de porter quelque conclusion importante pouvant être d'une grande utilité pour le travailleur en maintenance prédictive basée sur l'analyse spectral du courant moteur. Nous pouvons les regrouper dans ce qui suit :

Lorsque l'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné est très faible (-60dB...75dB) donc ce n'est pas une image de défaut par contre dans le cas avec barre non incliné elle a une bon amplitude (-35dB...30dB...) nous pouvons la compter comme un indice de défaut. La charge 30(n.m) c'est un point de changement de la tendance de l'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge. Quand l'excentricité augmente l'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente ainsi, nous pouvons la prendre comme un indice de défaut. Pour les grande degrés d'excentricité l'harmonique diminue par ce que le model es limiter pour les grandes degrés d'excentricité. Quand l'harmonique augmente le modèle devient a peu fiable.



# **CONCLUSION**

## **GENERAL**

## CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diagnostic des défauts dans les moteurs asynchrones triphasés. Nous pouvons affecter la machine asynchrone, leurs causes et leurs conséquences, ainsi que les méthodes utilisées en diagnostic. Pour cela, il faut disposer d'un bon modèle mathématique, [3]

Afin de représenter le comportement de la machine nous avons commencé par La modélisation mathématique du défaut d'excentricité une fois achevée sera la base du programme de simulation qui nous permettra d'étudier le fonctionnement de la machine selon plusieurs variantes. C'est ce qui marque le chapitre suivant.

Enfin, d'étude les lois d'évolution des raies caractéristiques du défaut d'excentricité nous a permis de porter quelque conclusion importante pouvant être d'une grande utilité pour le travailleur en maintenance prédictive basée sur l'analyse spectral du courant moteur : Lorsque l'amplitude de PSH dans le cas avec barre incliné est très faible (-60dB...75dB) donc ce n'est pas une image de défaut par contre dans le cas avec barre non incliné elle a une bon amplitude (-35dB...30dB...) nous pouvons la compter comme un indice de défaut. La charge 30(n.m) c'est un point de changement de la tendance de l'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  en fonction de la charge. Quand l'excentricité augmente l'amplitude d'harmonique  $F_{s\pm Fr}$  augmente ainsi, nous pouvons la prendre comme un indice de défaut. Pour les grande degrés d'excentricité l'harmonique diminue par ce que le model es limiter pour les grandes degrés d'excentricité. Quand l'harmonique augmente le modèle devient a peu fiable.

**ANNEXE**

## **ANNEXE :**

Les caractéristiques du moteur asynchrone triphasé utilisé dans notre étude sont :

$$P = 11 \text{ kW}$$

$$g_0 = 0.0008 \text{ m}$$

$$N_b = 40$$

$$N_e = 48$$

$$r = 0.082 \text{ m}$$

$$w = 28$$

$$l = 0.11 \text{ m}$$

$$L_b = 95 \text{ nH}$$

$$L_e = 18 \text{ nH}$$

$$R_s = 1.75 \Omega$$

$$R_b = 31 \mu\Omega$$

$$R_e = 2.2 \mu\Omega$$

$$J_T = 0.0754 \text{ kgm}^2$$

$$\gamma = \pi/20 \text{ rad}$$

$$\beta = \pi/86 \text{ rad}$$

Les spectres du courant utilisé :

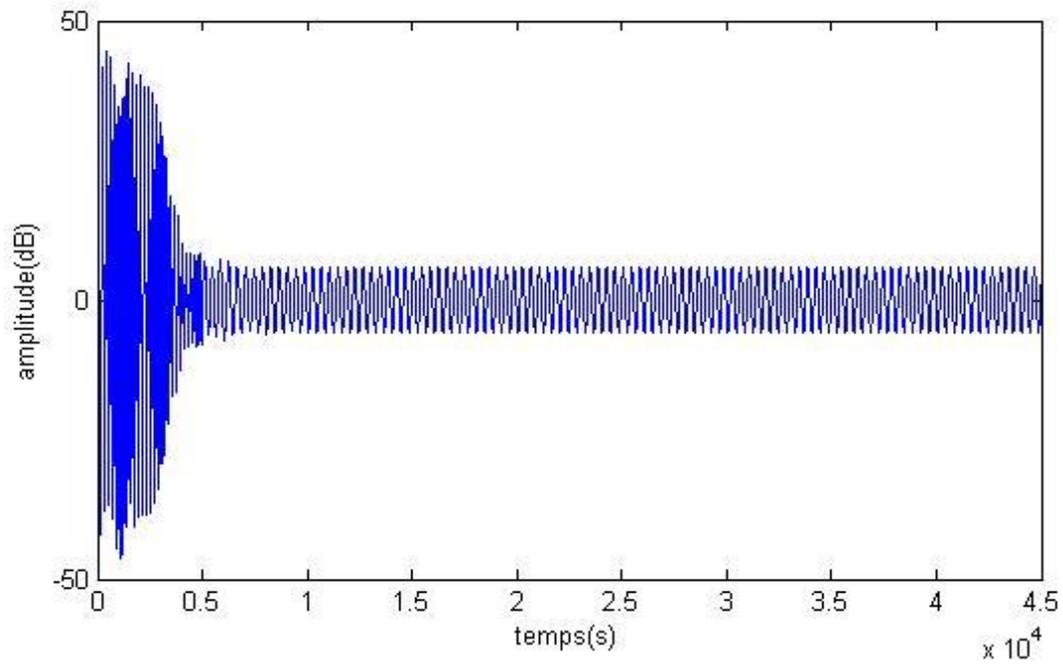


Fig1 : courbe du courant statorique

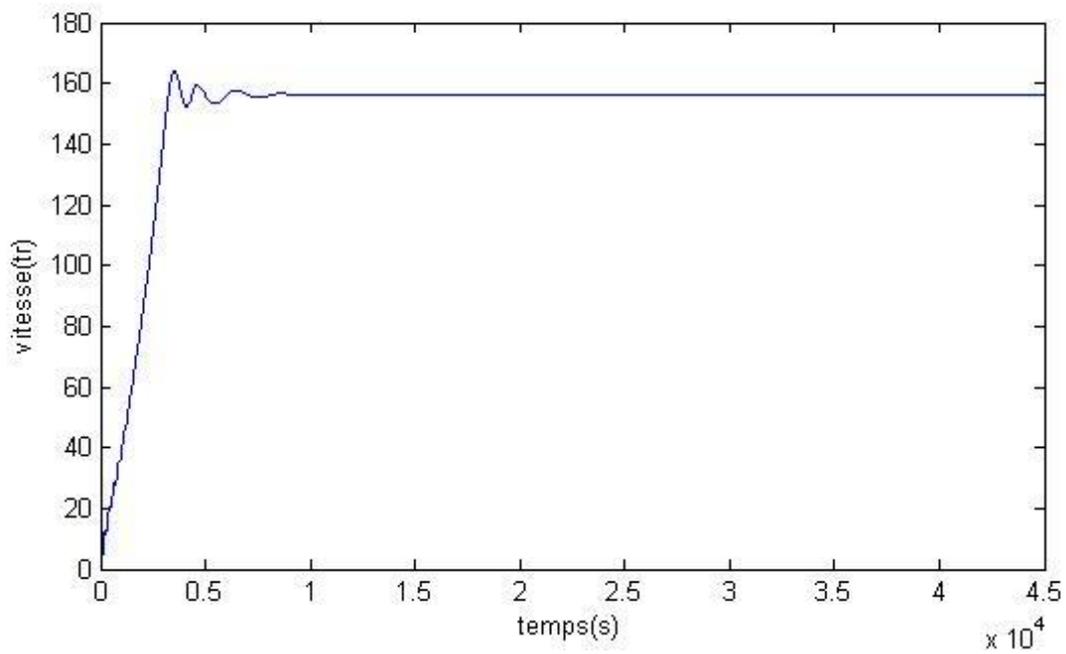


Fig2 : courbe de la vitesse

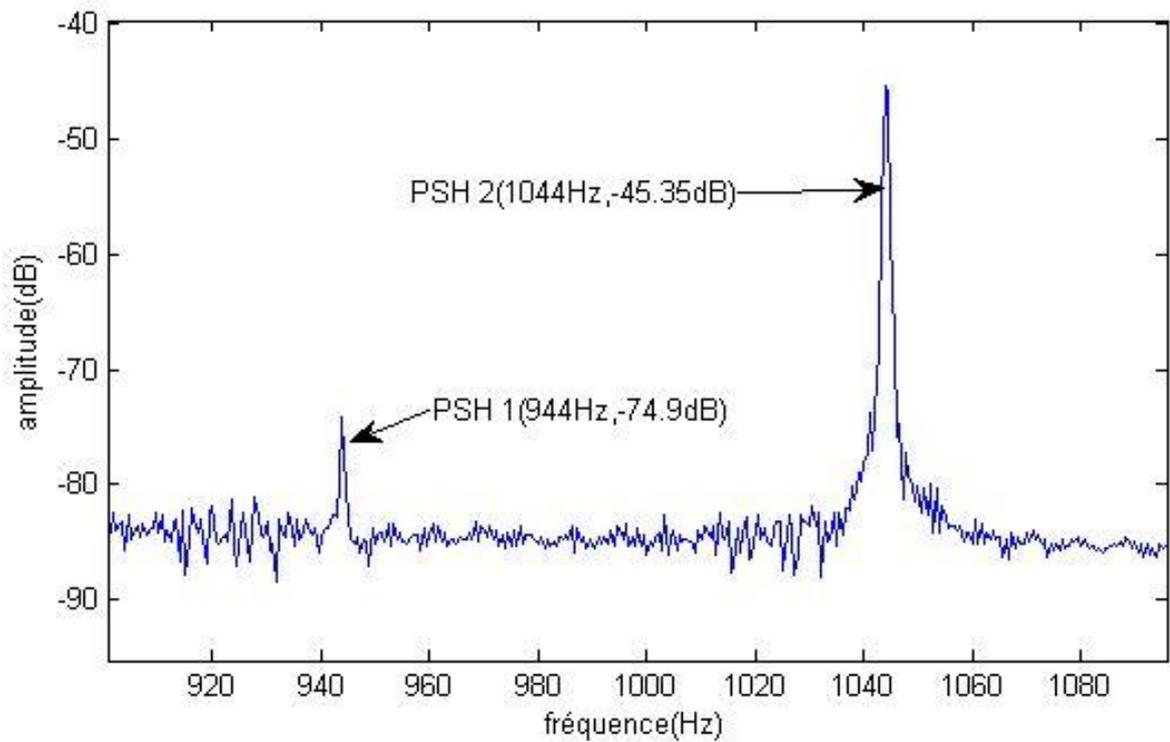
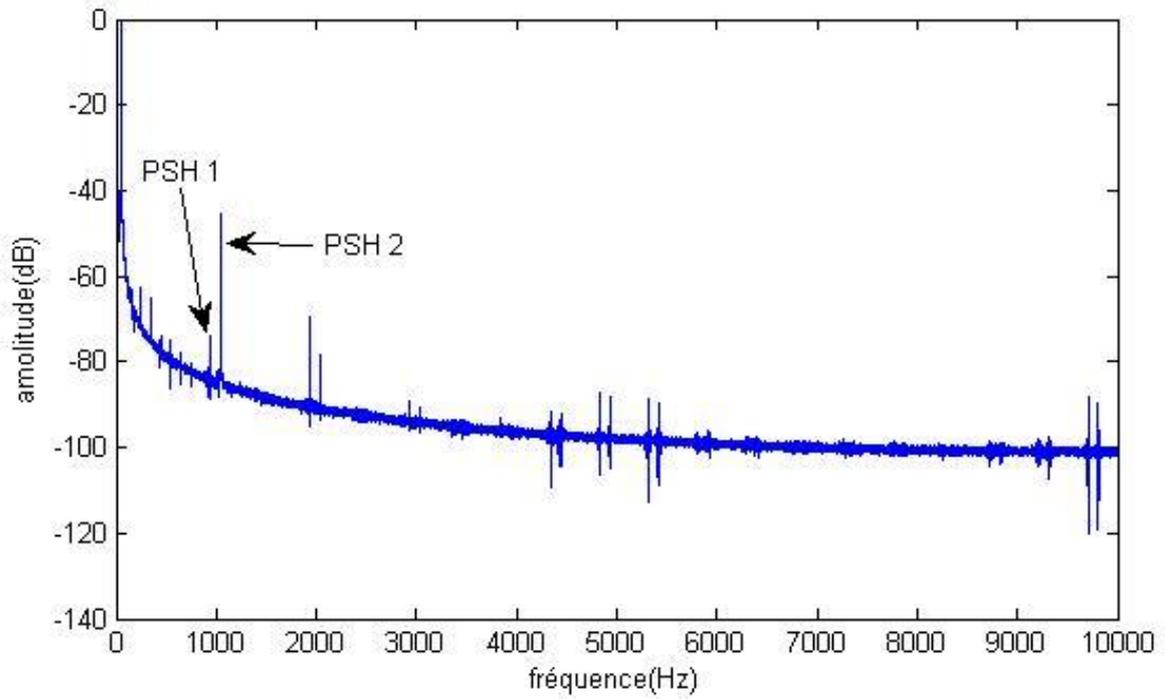


Fig3 : spectre du courant statorique de l'excentricité statique

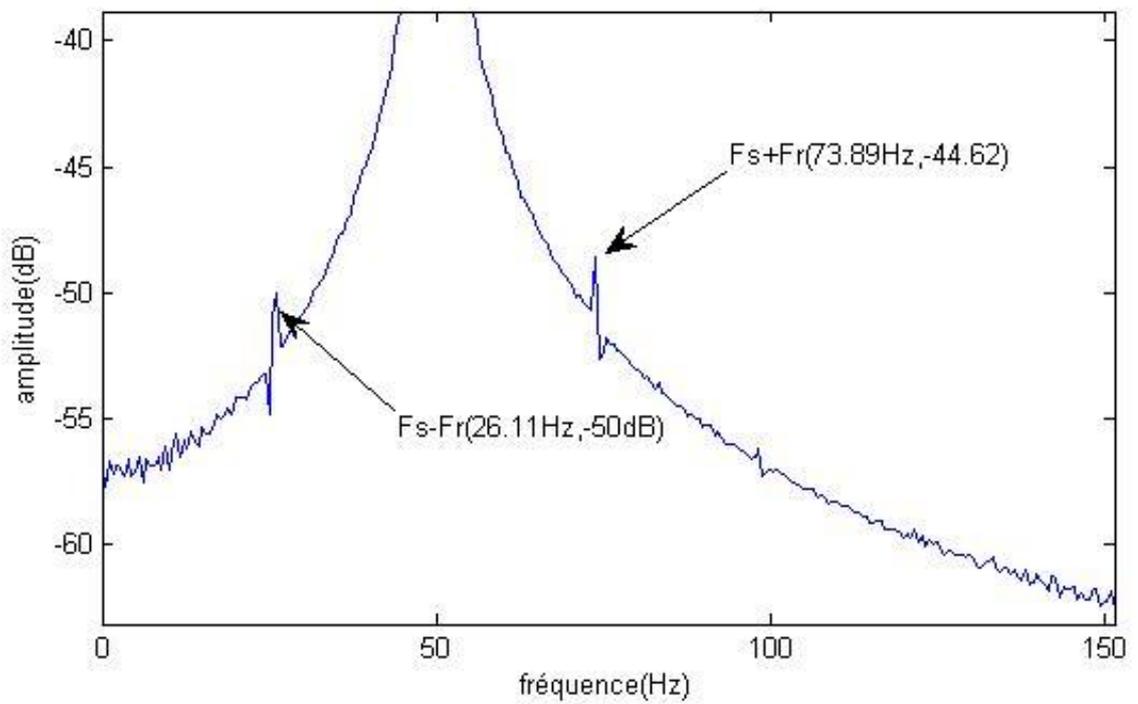
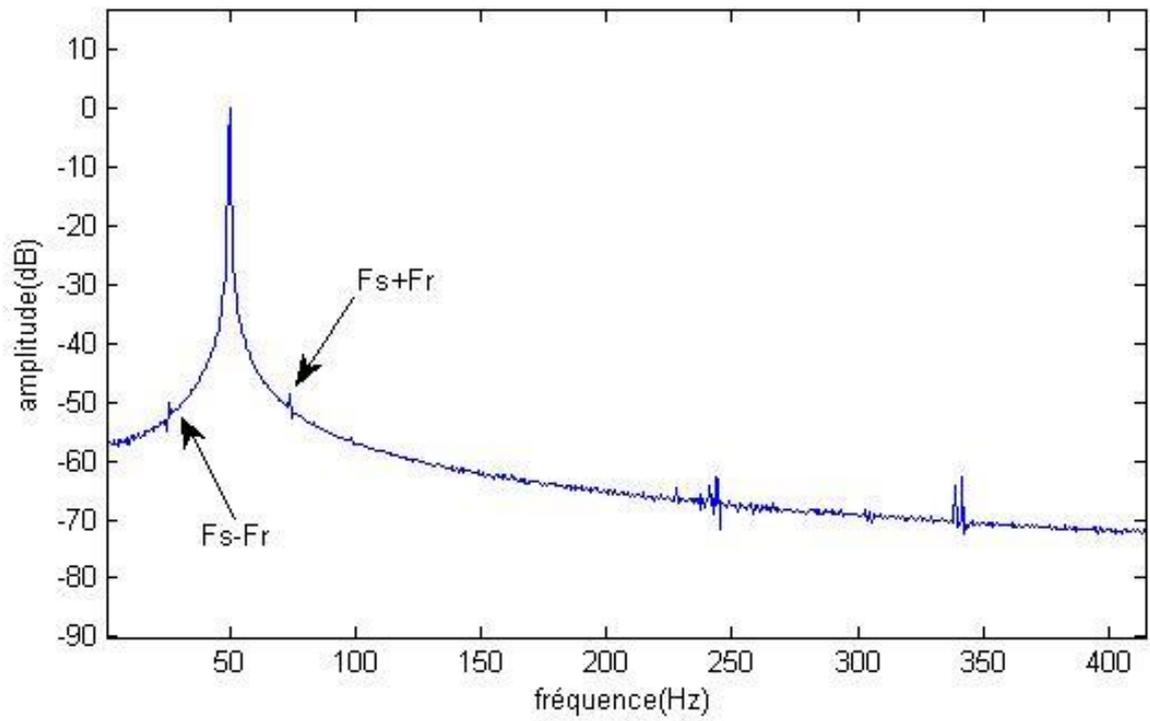


Fig4 : spectre du courant statorique de l'excentricité mixte

# **BIBLIOGRAPHIE**

## **BIBLIOGRAPHIE:**

[1] : **Djebala ,N.ouellaa ,N.hamzaoui et S.Guenfoud** , « Application de la transformée en ondelettes discrète dans la d'étection des défauts de roulements'' ,laboratoire de mécanique et structures UNIVERSITE DE GUELMA.B.P.DE GUELMA ,BP.401 FEULMA,2007

[2] : **SAHRAOUI Mohamed** «Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones »Thèse de doctorat, Doctorat en Science En Electrotechnique Université Mohamed Khider Biskra, soutenue 2010.

[3] : **GHOOGAL Adel** «Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée : Modèle Dédié à la Détection des Défauts» Thèse de Magister, magister en électrotechnique Université Mohamed Khider Biskra, soutenue2005

[4] : **BELHAMDI Saad** « Prise en Compte D'un Défaut Rotorique Dans la Commande d'un Moteur Asynchrone »Thèse de Magister, Université Mohamed Khider Biskra, Soutenue 2005

[5] : **ABED Aicha** «Contribution à l'étude et Au Diagnostic de la Machine Asynchrone », Thèse de Doctorat Université Henri, Nancy Soutenue Publiquement le 28 mars 2002

[6] : **HUBERT Razik** « Le Contenu Spectral Du Courant Absorbé Par La Machine Asynchrone En Cas de Défaillance »Faculté des sciences, Nancy, CEDEX , juin 2002.