

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

Touil Abdelkader

Khicha Mohammed Salah

**Thème :**

## **Simulation des lampes à décharge électrique**

Soutenu publiquement

Le : 05/06 /2017

Devant le jury :

M<sup>r</sup>: Maghni Bilal

MCB

Président

UKM Ouargla

M<sup>r</sup>AyadAhmed NourEl islam

MCB

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M<sup>r</sup>Taibi Djamel

MAA

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire 2016/2017

# Remerciements

■ *Tout la gratitude et le merci à dieu le tout puissant qui a fait que ce travail soit mené et terminé.*

 *En achevant ce modeste travail nous tenons à remercier chaleureusement notre rapporteur chargé du suivi de notre travail,*

*Monsieur Ayad Ahmed Nour El islam*

*Pour ses encouragements à effectuer cette étude, ses conseils précieux, son sérieux et sa Disponibilité.*

 *Nous remercions monsieur Maghni Bilal maître de conférence classe B à l'Université Kasdi Merbah Ouargla, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Nous adressons, aussi nos remerciements à monsieur Taibi Djamel Maître assistant classe A de l'Université Kasdi Merbah Ouargla d'avoir accepté d'examiner notre mémoire .*

# Dédicaces

*C'est avec joie que je dédie le fruit mon travail a celle qui ma toujours soutenue dans mon travail, ma mère que j'aime beaucoup. Sans oublier mon chère père qui a mis a ma on disposition tous ce dans j'avais besoin.*

*Je dédie également ce mémoire à ma grande mère*

*A mes frères et sœurs*

*A tous mes amies d'Ouargla et El Oued*

*T. Abdelkader*



# Dédicaces

*C'est avec joie que je dédie le fruit mon travail a celle qui ma toujours soutenue dans mon travail, ma mère que j'aime beaucoup. Sans oublier mon chère père qui a mis a ma on disposition tous ce dans j'avais besoin.*

*Je dédie également ce mémoire à*

*A mes frères et sœurs*

*A tous mes amies d'Ouargla et El Oued*

*K, Mohammed Salah*



# Nomenclatures et Abréviations

## Nomenclatures

G	La conductivité de la lampe
$g_M$	Vecteur de la conductivité simulée de lampe
$g_{min}$	La conductivité minimale
i	Le courant d'arc électrique
$L_{ball}$	Inductance du ballast
$L_j$	(j = a, b, c) l'inductances des électrodes
$L_s$	L'inductances du côté source
$R_{ball}$	Résistance du ballast
THD A	Déformation harmonique totale dans le courant %
THD V	Déformation harmonique totale dans la tension %
$u_a$	La tension d'arc
S	Section
T	Température
t	Time
$u_{lamp}$	V (vecteur) de la tension de lampe
$I_n$	Le courant harmonique du rang n

## Abréviations

AC	Courant alternatif
FL	Fluorescente Lampe
HF	Haute Fréquence
Hg	Mercure
HID	Haute Intensité Décharge lampe

HPL	Lampe à Haute pression
HPML	Lampe à mercure Haute Pressure
HPSL	Lampe de sodium a Haute pression
MHL	Lampe Metal Halogène
Na	Sodium
Ne	Neon
UV	Ultraviolet
V-I	tension-courant
Xe	Xénon
Ha	Halogène
IRC	Indice de rendu de couleur

# Sommaire

REMERCEMENT .....	
Dédicace.....	
Nomenclatures et Abréviations .....	I
Sommaire .....	III
Liste des Figures .....	VI
Liste des Tableaux .....	VIII
Introduction Générale .....	IX

## CHAPITRE I : Les lampes à décharge électrique

I-1 Introduction .....	1
I-2 La décharge électrique .....	1
I-3 Les décharges électriques dans les gaz .....	1
I-3-1 Description macroscopique .....	1
I-3-2 Classification des décharges électriques .....	3
I-4 Les applications de la décharge à arc électrique .....	4
I-4-1 Fours à arc .....	4
II-4-2 Le soudage à l'arc .....	4
I-5 La lampe à décharge .....	5
I-6 Constitution d'une lampe à décharge .....	6
I-6-1 La cathode .....	6
I-6-2 L'anode .....	6
I-6-3 La colonne positive .....	7
I-7 Principe de fonctionnement d'une lampe à décharge .....	7
I-8 Les différents types des lampes à décharge électrique.....	8
I-8-1 Les lampes fluorescentes .....	8

I-8-2 Les lampes à vapeur de mercure (VM) .....	9
I-8-3 Les lampes aux halogénures métalliques (HM) .....	9
I-8-4 Les lampes à vapeur de sodium(VS).....	10
I-9 Bilan d'énergie dans les lampes à décharge.....	11
I-10 Alimentation des lampes à décharge.....	12
I-10-1 Ballasts électromagnétiques .....	12
I-10-2 Ballasts électroniques.....	13
I-11 Domaines d'emploi, avantages et inconvénient:.....	16
I-12 Conclusion .....	16

## **CHAPITRE II : Modélisation des lampes à décharge électrique**

II-1 Introduction: .....	17
II-2 Modélisation de la lampe à décharge.....	17
II-2-1Modèle « G » d'une lampe à décharge .....	18
II-2-1-1 Modèle de la conductivité d'une lampe à décharge.....	18
II-2-1-2 Solution analytique de l'équation du modèle « G ».....	20
II-2-1-3 Identification des paramètres du modèle « G »: .....	21
II-2-1-4 Solution du problème optimal.....	21
II- 2-2 Détermination et implémentation du modèle numérique .....	22
II-2-2-1 Modèle de la lampe.....	22
II- 2-3 Modèle d'une lampe à décharge avec un ballast.....	22
II-2-3-1Modèle d'une lampe à décharges .....	24
II-2-3-2 Modèle d'un ballast magnétique .....	25
II-2-3-3 Modèle d'une alimentation d'énergie .....	26
II-3 Conclusion .....	26



# Liste des Figures

## CHAPITRE I

Figure I-1: Décharge dans un gaz .....	2
Figure I-2: Caractéristique « courant-tension » des décharges électriques .....	3
Figure I-3: Fours à arc électrique.....	4
Figure I-4: Effet du courant sur l'arc .....	5
Figure I-5: Des lampes à décharge .....	5
Figure I-6: Constitution d'une lampe à décharge. ....	6
Figure I-7: Schéma synoptique du phénomène du rayonnement électromagnétique.....	7
Figure I-8: Coupe schématique d'une lampe fluorescente tubulaire classique .....	8
Figure I-9: Lampe à vapeur de mercure (VM) .....	9
Figure I-10: Lampe à halogène métallique(HM).....	9
Figure I-11: Lampe à vapeur de sodium à haute pression .....	10
Figure I-12: Bilan d'énergie dans les lampes à décharge .....	11
Figure I-13: Bilan énergétique dans une lampe à décharge mercure haute pression 400W ....	11
Figure I-14: Mécanisme d'allumage avec un ballast ferromagnétique.....	12
Figure I-15: Schéma Synoptique d'une alimentation par ballast électronique.....	13
Figure I-16: Schéma électrique de principe d'un ballast électronique. ....	15

## CHAPITRE II

Figure II-1: Modèle du canal de décharge .....	18
Figure II-2: Structure du procédé d'identification des paramètres.....	21
Figure II-3: Circuit électrique d'une lampe alimentée par le ballast magnétique .....	23
Figure II-4: Modèle de simulation d'un circuit avec lampe à décharge .....	24
Figure II-5: La conductivité de la lampe à décharge. ....	25
Figure II-6: Modèle d'un ballast magnétique .....	26

### CHAPITRE III

Figure III-1: La tension des lampes à décharge (MHL150W-HP(VM)400W-(SHP)400W-FL58W).....	28
Figure III-2: Le courant des lampes à décharge (MHL150W-HP(VM)400W-(SHP)400W-FL58W).....	29
Figure III-3: La conductivité de la lampe à décharge (MHL150W-HP(VM) 400W-SHP400W-FL58) .....	31
Figure III-4: Modification de circuit électrique pour le changement de la fréquence de la source d'alimentation. ....	32
Figure III-5: Caractéristique de tension de la lampe MH pour une fréquence de (50Hz-100Hz-400Hz-1KHz).....	33
Figure III-6: Caractéristique de courant de la lampe MH pour une fréquence de (50Hz-100Hz-400Hz-1KHz).....	34
Figure III-7: Conductivité de la lampe MHL pour (50Hz-100Hz-400Hz-1KHz .....	36
Figure III-8: Analyse spectrale des harmoniques de tension .....	38
Figure III-9: Analyse spectrale des harmoniques de courant .....	39
Figure III-10: Analyse spectrale des harmoniques de tension (HM 150W).....	40
Figure III-11: Analyse spectrale des harmoniques de courant (HM 150W).....	41

## Liste de Tableaux

TableauI-1: Domaines d'emploi, avantages et inconvénient:.....16

## INTRODUCTION GENERALE

La qualité d'énergie est un facteur très important du côté sécurité et continuité de service des réseaux électriques et équipements et l'économie des pays industrialisés. Les charges non linéaires dans l'industrie spécialement les lampes à arcs créent des problèmes électriques et des perturbations harmoniques dans les réseaux électriques, à cause de la nature non linéaire. Les décharges électriques ont aujourd'hui de nombreuses applications industrielles de la décharge électrique comme : le soudage, le traitement de surface et des eaux et les lampes d'éclairage publique, les fours à arc électrique ... etc [1]. L'utilisation des lampes à décharges est très vaste : l'éclairage d'urgence et publique, l'éclairage automobile, l'éclairage domicile et industriel [2]. Nous nous intéressons dans notre étude aux lampes à décharges électriques destinés a l'éclairage publique.

La lampe à incandescence a été la première source lumineuse artificielle inventée en 1879 par Joseph Swan et améliorée par Thomas Edison [3]. Au début du 20<sup>e</sup> siècle, la lampe à décharge « basse pression » a été développée grâce à sa meilleure efficacité lumineuse et à sa longue durée de vie [4,5].

Le premier chapitre sera consacrer a la présentation aux aspects fondamentaux et le principe de fonctionnement des lampes à décharge, ainsi que les différentes types des lampes a décharges électriques leurs composition et le type de gaz à utiliser. Les ballasts magnétiques et électroniques utilisés pour l'alimentation des lampes et leurs constitutions.

Dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons à l'étude du modèle de la conductivité polynomiale des différentes lampes à décharge électrique déjà existant pour le développer et simuler plusieurs lampes on variant les coefficients trouver expérimentalement pour chaque type de lampes alimentés à travers un ballast .

Le dernier chapitre, nous simulons la tension et le courant et la conductivité de chaque types des lampes à arc électrique. Pour voir l'influence du changement de la fréquence sur la tension et courant et la conductivité de la lampe MHL nous allons alimenter les lampes à travers des sources a des fréquences variables de 50 Hz a 1KHz.

Ainsi qu'une analyse spectrale des résultats obtenus est faites afin de voir les lampes les plus polluantes et savoir le taux de distorsion harmonique pour chaque lampe et les rangs harmoniques existant. Ceci nous permettra d'obtenir, d'abord un aperçu sur la répartition harmonique.



# **CHAPITRE I**

## **Les lampes à décharge électrique**

## **I-1 Introduction**

Le champ d'application des décharges électriques est très vaste, ne cesse de s'étendre pour investir des domaines aussi variés que ceux de la médecine, les écrans à plasma. Pour les applications traditionnelles telles qu'en métallurgie, en production de rayonnement ou en électrotechnique avec les techniques d'extinction de l'arc, des progrès sont toujours enregistrés aussi bien sur le plan de la maîtrise technologique.

Parmi toutes ces applications celle des décharges luminescentes ne reste pas en marge de ces progrès. En effet la lampe à décharge n'est plus utilisée uniquement pour éclairer, mais pour bien d'autres applications telles que la stérilisation, le bronzage, la photochimie, la polymérisation, les arts graphiques, etc [6].

## **I-2 La décharge électrique**

Une décharge électrique se produit lorsqu'un milieu de nature initialement isolante, est exposé à un champ électrique très élevé capable d'ioniser la matière et produire ainsi des porteurs électriques libres capables d'acheminer un courant comme la foudre. Initialement, un faible nombre d'électrons libres, dits « électrons germes » qui existent dans le milieu, subissent l'action du champ électrique, se déplacent alors en s'accéléralant et peuvent provoquer des collisions avec les atomes [7].

## **I-3 Les décharges électriques dans les gaz**

### **I-3-1 Description macroscopique**

Considérons un gaz à une pression  $P$  compris, entre deux électrodes métalliques planes, parallèles et séparées par une distance  $d$ . Une tension  $V$  est appliquée entre les deux électrodes (Figure I-1). Les gaz étant de bons isolants, aucun courant ne traverse le gaz. Mais si la tension dépasse une valeur critique  $V_d$  dite tension disruptive, il y a claquage du diélectrique. On observe alors spontanément, une émission lumineuse avec mesure d'une intensité dans le circuit. Tant que la source ne limite pas le courant, le gaz reste conducteur; une « *décharge électrique autonome* » a lieu [8].

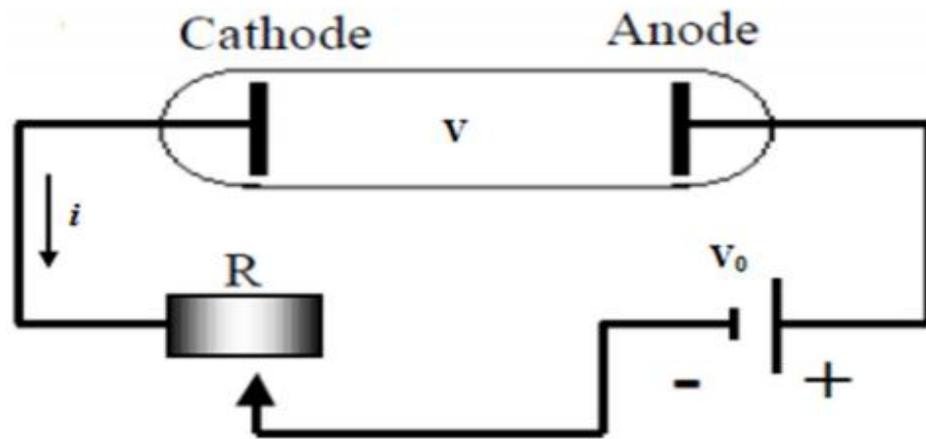


Figure I-1: Décharge dans un gaz [8].

Le phénomène observé s'interprète comme la traversée du gaz par des électrons accélérés par le champ électrique, provenant initialement de la cathode (électrode négative) et qui par un phénomène d'avalanche se multiplient en produisant une ionisation partielle du gaz. Soumises à un champ électrique et donc à la force de Coulomb, les particules chargées vont entrer en collision avec les espèces chimiques environnantes [9].

On distingue alors les phénomènes ionisants :

- > *Excitation* : lorsqu'un atome a acquis suffisamment d'énergie pour qu'un des électrons passe à un niveau (orbital) d'énergie plus élevé. L'atome passe alors de son état *fondamental* à un état *excité*.
- > *Ionisation* : dans ce cas, l'énergie absorbée par l'atome lors de la collision est suffisante pour qu'un de ses électrons soit arraché de l'attraction du noyau. L'électron est alors soit attaché à un autre atome (attachement), soit il s'éloigne à l'infini.

Puis les phénomènes dé-ionisants :

- > *Recombinaison* : la recombinaison est le phénomène d'attachement de particules lorsqu'un ion positif rencontre un électron ou lorsque deux ions de signes contraires se rencontrent.
- > *Détachement* : c'est le phénomène qui se produit lorsqu'un ion perd son électron supplémentaire.

### I-3-2 Classification des décharges électriques

Les décharges électriques autonomes générées par une tension continue sont de plusieurs types. La figure I-2, montre les différentes étapes d'évolution d'une décharge électrique, depuis l'ionisation du milieu jusqu'à l'établissement de l'arc électrique [6].

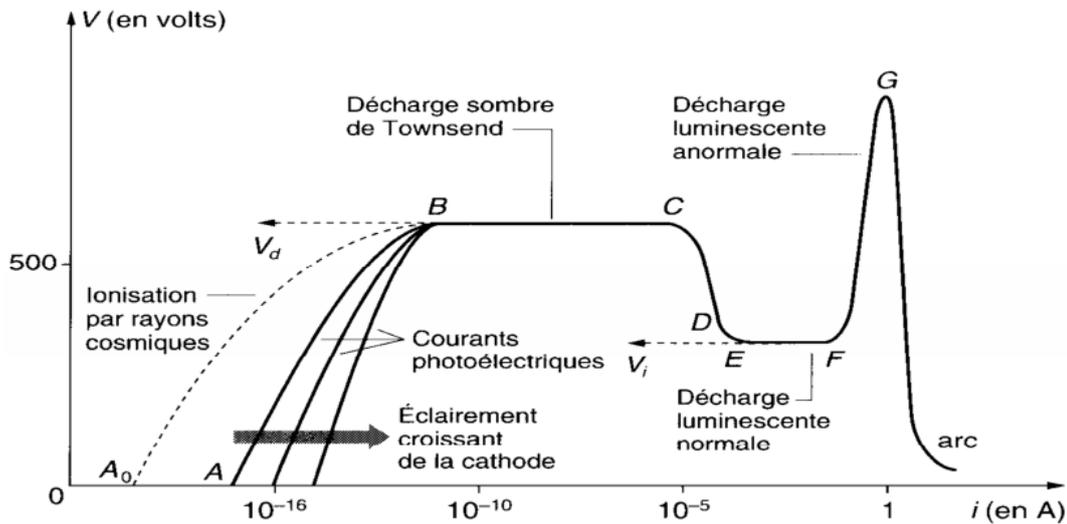


Figure I-2: Caractéristique « courant-tension » des décharges électriques [6].

Une classification qui tient compte de la pression et du courant parcourant la décharge [10]

#### > La décharge à faible pression

Dans des tubes appropriés et pour une pression de l'ordre de 1000 Pa et un faible courant (inférieur au dixième d'ampère), on observe une colonne, neutre, uniforme, lumineuse, diffuse, constituée d'un plasma faiblement ionisé occupant le volume total du tube, sauf au voisinage des électrodes. On parle alors de décharge lumineuse (*glow discharge*). Ce type de décharge se rencontre par exemple dans les tubes Néon ou les lampes à vapeur de sodium.

#### > La décharge d'arc

Pour une pression plus importante proche de la pression atmosphérique et une intensité de l'ordre de l'ampère, on obtient rapidement une décharge d'arc ou arc électrique (*arc discharge*), qui est produite en général à partir d'une tension modérée d'une dizaine de volts. L'arc se présente comme un filament incandescent qui dégage une forte puissance thermique. Il est couramment utilisé dans divers domaines de l'industrie : Métallurgie, Soudure et découpe à l'arc, Eclairage, Chimie, Chauffage..

## I-4 Les applications de la décharge à arc électrique

### I-4-1 Fours à arc

Les premiers fours à arc, utilisés pour la fusion de l'acier, les fours à arc à courant alternatif sont caractérisés par un arc est non linéaire, dissymétrique et instable, variable en fonction du temps. Dans le four à arc à courant alternatif triphasé, les arcs se développent entre chacune des trois électrodes en graphite et le métal. Le métal fond par attaque directe des arcs qui creusent des puits dans la charge métallique solide. Puis les arcs travaillent sur un bain liquide dont le volume augmente au cours de la fusion. (voir la figure I-3) [11].

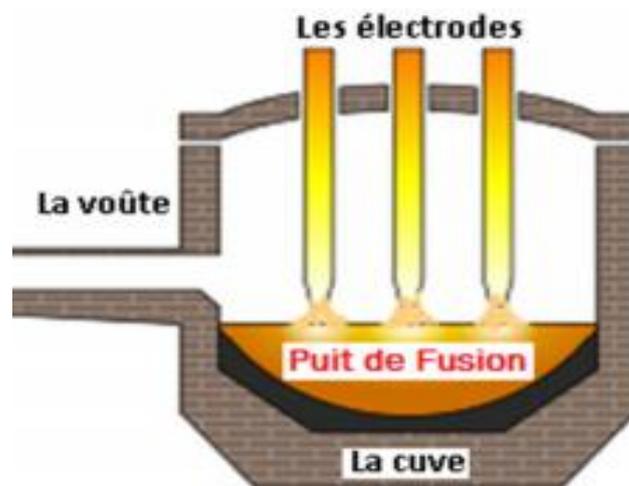


Figure I-3: fours à arc électrique[12].

### II-4-2 Le soudage à l'arc

Dans un milieu gazeux, entre deux électrodes (une anode reliée au pôle positif d'une source de courant et une cathode connectée au pôle négatif), il est possible de produire un arc électrique sous l'effet de la différence de potentiel, des électrons jaillissent de la cathode et sont attirés vers l'anode. Ces électrons s'accélèrent sous l'action du champ, et ionisent les atomes du gaz environnant, le rendant ainsi conducteur. En écartant l'électrode de quelques millimètres, le processus s'entretient en créant une réaction en chaîne et crée un arc continu (voir le figure I-4) [12].

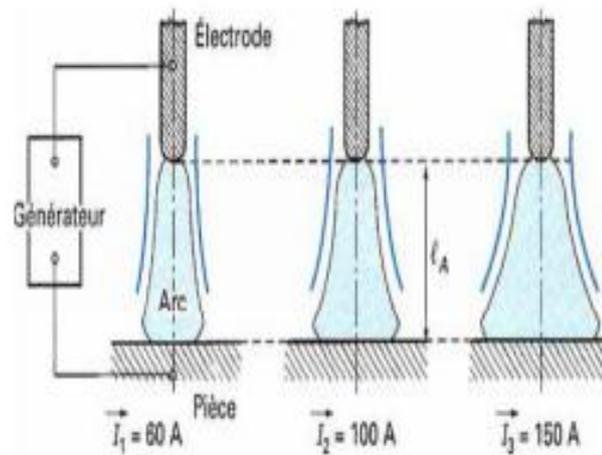


Figure I-4: Effet du courant sur l'arc [12].

### I-5 La lampe à décharge

Une lampe à décharge est une lampe électrique constituée d'un tube ou d'une ampoule en verre rempli de gaz ou de vapeur métallique, sous haute ou basse pression, au travers duquel on fait passer un courant électrique. Soumises à une forte différence de potentiel appliquée entre les électrodes situées de chaque côté de la lampe, les molécules sont ionisées, ce qui provoque la formation d'un arc électrique, c'est-à-dire la circulation d'un flux d'électrons de la cathode vers l'anode. Lors des collisions entre ces électrons et les atomes du gaz, les électrons sont chassés de leur orbite, changent de couche et y reviennent en émettant un photon, dont la longueur d'onde (sa couleur) dépend de la nature du gaz (voir la figure I-5) [13].



Figure I-5: des lampes à décharge [14].

## I-6 Constitution d'une lampe à décharge

D'une façon générale, la lampe à décharge est composée :

- D'un tube à arc de quelques centimètres de longueur en quartz ou en céramique, enfermé dans une ampoule extérieure en verre.
- Un gaz tampon (Argon), des traces de vapeur de mercure pour l'amorçage de la décharge, des vapeurs métalliques de travail (mercure, sodium et ou autres vapeurs métalliques) .
- Deux ou trois électrodes, la troisième électrode est axillaire et quand elle existe, elle sert au préchauffage de la lampe en vue de faciliter son amorçage.
- Un enduit fluorescent à base de Phosphore, recouvre l'intérieur de l'ampoule externe, de façon à produire la lumière de couleur voulue.

La décharge d'arc est caractérisée, suivant l'axe de la longueur, par trois zones distinctes qui sont respectivement : zone cathodique, colonne positive et zone anodique. La colonne positive constitue la partie active de la décharge où produite la quasi-totalité de la lumière émise. La figure I-6 montre le schéma de la lampe ainsi que les images du tube et de la décharge.

### I-6-1 La cathode

La cathode émet des électrons ; L'émission est alors concentrée en un point unique chaud, ou spot. La chute de tension nécessaire à ce fonctionnement est de l'ordre de la dizaine de volts.

### I-6-2 L'anode

Elle doit collecter les électrons

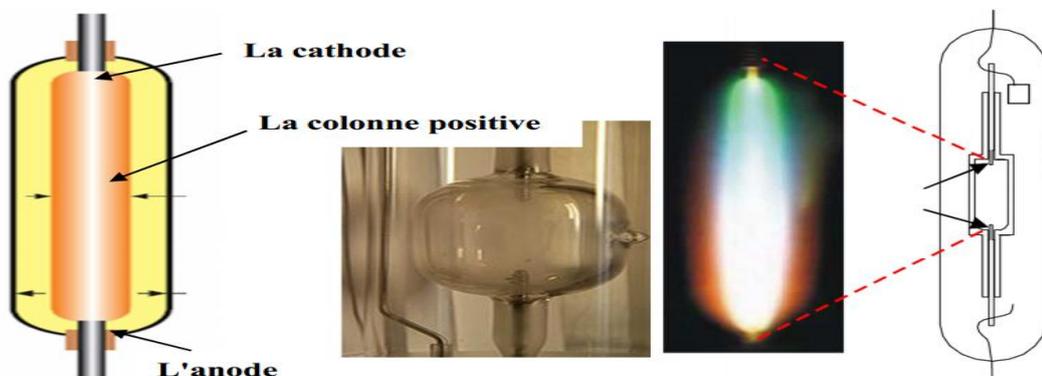


Figure I-6: Constitution d'une lampe à décharge [15].

### I-6-3 La colonne positive

Elle occupe la majeure partie du volume de la lampe. Macroscopiquement, la charge du nuage de particules y est nulle et donc le champ électrique y est constant. C'est par l'intermédiaire de celui-ci que la majeure partie de la puissance fournie par le générateur est transférée aux particules puis transformée pour partir en rayonnement. Les électrons du fait de leur faible inertie jouent un rôle prépondérant dans ce transfert [15].

### I-7 Principe de fonctionnement d'une lampe à décharge

C'est une décharge d'un courant électrique dans une atmosphère gazeuse dans une enceinte tubulaire transparente en verre. Elle est munie de deux électrodes et remplie d'un mélange de gaz rare et de vapeurs métalliques à pression adéquate. Le rayonnement résulte de l'excitation des atomes par chocs électroniques et dépend des potentiels d'ionisation et d'excitation des gaz rares et des vapeurs métalliques.

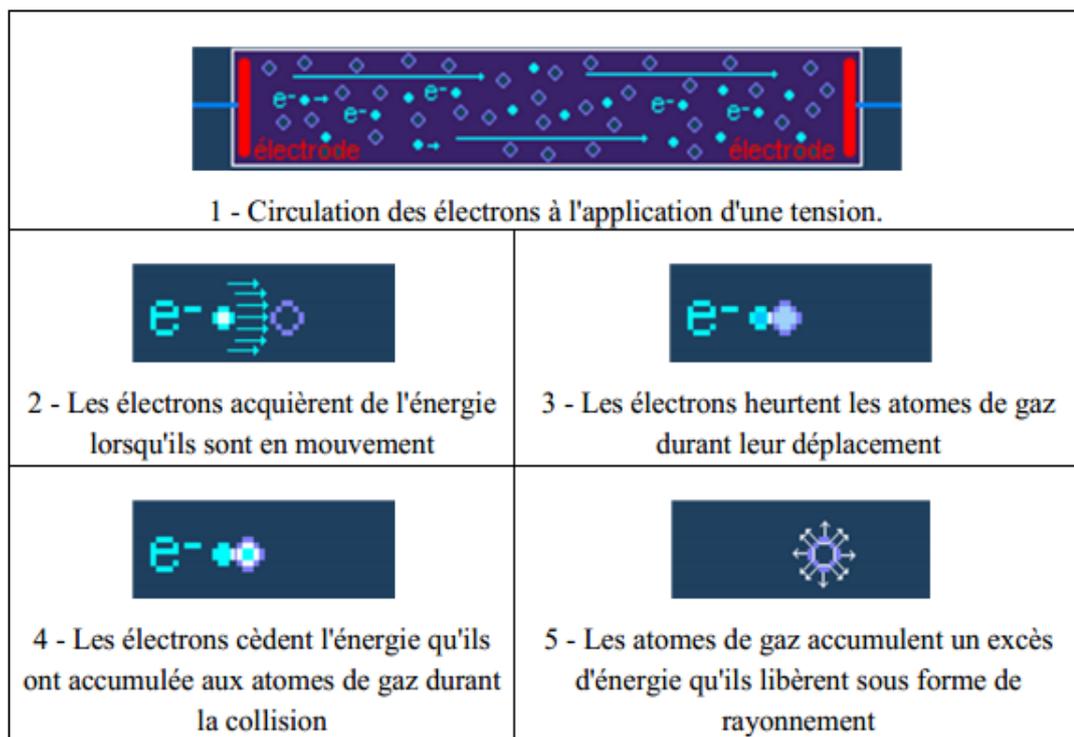


Figure I-7: Schéma synoptique du phénomène du rayonnement électromagnétique [15].

La figure I-7 représente une production du rayonnement électromagnétique. Les molécules du gaz métallique s'ionisent car elles sont soumises à la différence de potentiel. Les électrons libérés, sont attirés par l'électrode positive - nommée Anode - et les ions positifs par l'autre, nommée Cathode.

Un énorme flux d'électrons traverse l'ampoule produisant de nombreuses collisions entre les électrons circulants et ceux présents dans le mélange gazeux de la lampe.

Dans ce milieu chaotique de collisions entre particules qu'est le plasma, un certain nombre d'électrons quittent leur orbite, changent de couche et y reviennent en émettant un photon. Cette émission de rayonnement électromagnétique n'est que la conséquence d'une transition avec libération d'énergie, conformément à la loi de Planck :  $\Delta E = h\nu$  [15].

### I-8 Les différents types des lampes à décharge électrique:

Les lampes à décharge se répartissent en deux grandes familles :

- ✓ Lampes à décharge à basse pression
  - lampes fluorescentes
  - lampes à vapeur de sodium basse pression (SBP)
- ✓ Lampes à décharge à haute pression
  - lampes à vapeur de mercure (VM)
  - lampes aux halogénures métalliques (HM)
  - lampes à vapeur de sodium haute pression (SHP)

#### I-8-1 Les lampes fluorescentes (LF)

Une lampe fluorescente est une lampe à décharge électrique à « vapeur de mercure à basse pression », elle contient un mélange de gaz argon et de vapeur de mercure à basse pression. (Figure I-8) [16].

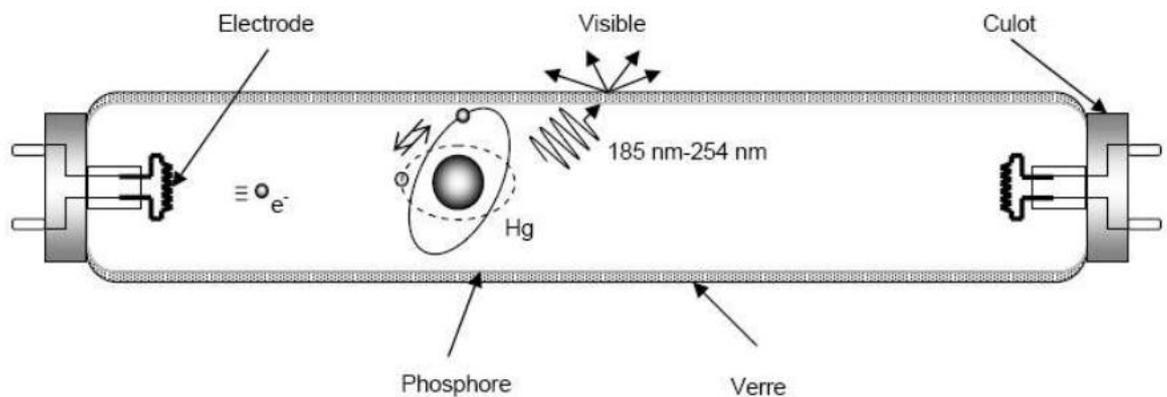


Figure I-8 : Coupe schématique d'une lampe fluorescente tubulaire classique [17].

### I-8-2 Les lampes à vapeur de mercure (VM)

A la base des lampes à décharge à haute intensité -DHI-

Sa particularité constitutive réside dans la vapeur métallique et du mercure d'où elle tire son appellation « VM » ou « Hg/HP ». Elle émet de la lumière blanche, elle a une efficacité lumineuse limitée. La mise au rebut des lampes à vapeur de mercure exige des techniques spéciales d'élimination à cause du mercure présent dans la lampe (La gestion des déchets). Les lampes VM sont les moins efficaces de toutes les lampes DHI (voir la figure I-9) [18].

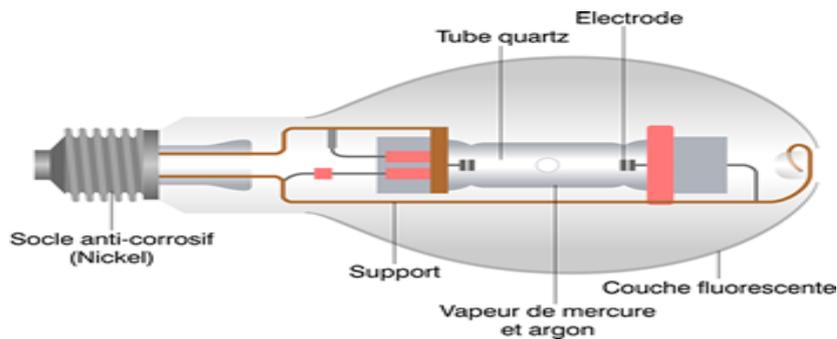


Figure I-9: lampe à vapeur de mercure (VM) [14].

### I-8-3 Les lampes aux halogénures métalliques (HM)

Les lampes aux halogénures métalliques, ces performances sont améliorées à cause de l'addition de composés halogènes (iodures). La principale différence est que le tube à arc contient des sels métalliques (de scandium et de sodium) en plus de la vapeur de mercure et du gaz argon. Ceux-ci entraînent un cycle de régénération qui permet d'obtenir des quantités et qualités de lumière supérieures à ce que produirait le mercure seul. voir la figure I-10 [12].

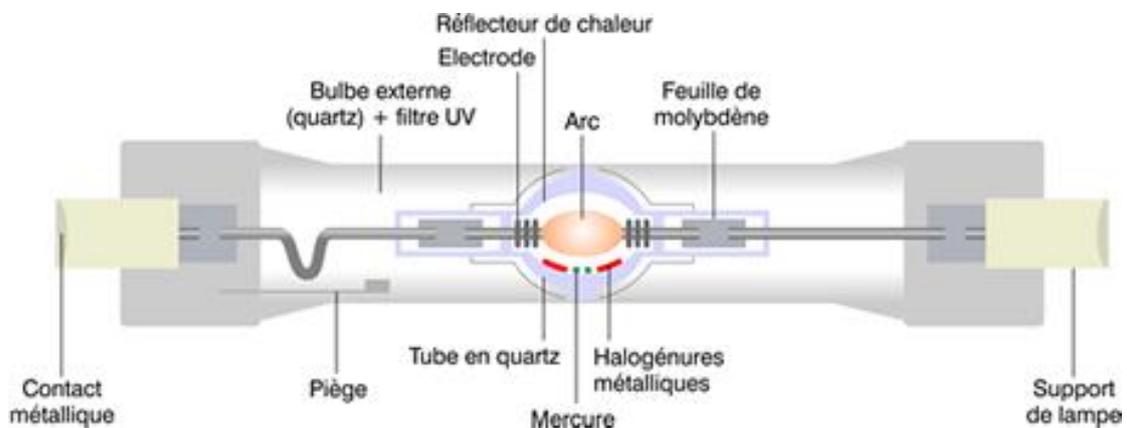


Figure I-10: lampe à halogène métallique(HM) [14].

#### I-8-4 Les lampes à vapeur de sodium(VS)

Les lampes à vapeur de sodium présentent une efficacité lumineuse extrêmement élevée, le maximum étant atteint avec le sodium basse pression (près de 200 lm/W) avec un rayonnement jaune. En accroissant la pression de vapeur, on obtient une très nette amélioration du rendu de couleur, mais au détriment de l'efficacité lumineuse.

- **Lampes à vapeur de sodium à haute pression**

Les lampes à vapeur de sodium à haute pression (VSHP) sont des lampes DHI produisant de la lumière lorsqu'une décharge électrique ionise en la traversant, une vapeur de sodium.

Les lampes VSHP utilisent d'autres composés chimiques comme le mercure pour des raisons pratiques ; cependant, seul le sodium (Na) est responsable de l'émission lumineuse. Le gaz d'amorçage (xénon) et le mercure (Hg) ne servent qu'à permettre à la lampe de démarrer, et à fixer les bonnes propriétés électriques de l'arc.

Le tube à arc est fait en céramique qui peut supporter des hautes températures (1300°C) et résister aux effets corrosifs du sodium chaud. Elle contient d'autres couleurs que l'orange. L'indice de rendu de couleur (IRC) reste médiocre du fait que la teinte prédominante reste un jaune-orange relativement saturé (voir la figure I-11).

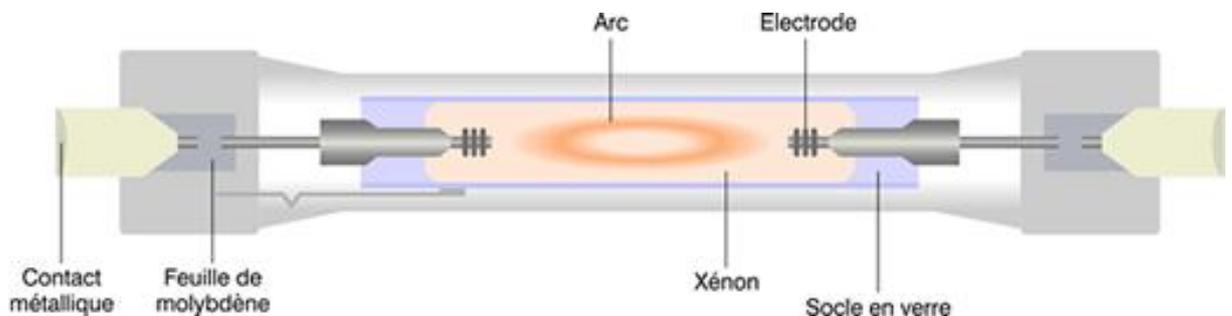


Figure I-11: Lampe à vapeur de sodium à haute pression [14].

- **Lampes à vapeur de sodium à basse pression**

Les lampes à vapeur de sodium à basse pression (VSBP) sont les seules lampes DHI qui fonctionnent à basse pression et dans lesquelles l'arc est entretenu par la vapeur de sodium ionisée. Le tube à décharge est rempli d'un mélange néon argon.

Les lampes VSBP se rapprochent davantage des lampes fluorescentes que des lampes DHI, la décharge électrique se produit à basse pression et à faible intensité, la lampe a une forme linéaire. À la mise sous tension, le courant est transporté par le gaz d'amorçage (néon et argon) et produit une lueur rouge. À mesure que la lampe s'échauffe, le sodium se vaporise et la décharge commence à montrer la couleur *jaune* caractéristique d'une lampe VSBP. Les lampes VSBP conviennent dans toutes les applications où le rendu de couleur n'est pas un facteur important [18].

### I-9 Bilan d'énergie dans les lampes à décharge:

Sur la figure I-13 est illustré le bilan d'énergie dans les lampes à décharge haute pression au mercure, respectivement. Comme on peut le constater, il n'y a qu'une partie de la puissance électrique fournie aux lampes qui est transformée en lumière visible.

La puissance électrique injectée dans la lampe et la puissance rayonnée dans le visible, est partagée entre les pertes par radiation émises dans le domaine des UV et IR et la dissipation de chaleur due [19]:

- Au chauffage par conduction des parois de brûleur.
- Aux pertes par effet joule aux électrodes.
- Aux phénomènes de conduction et convection dans la décharge.

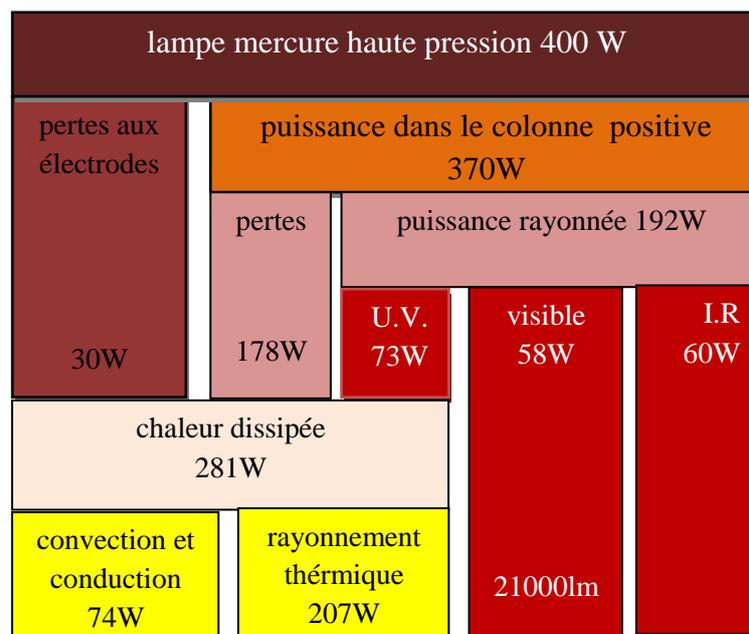


Figure I-13: Bilan énergétique dans une lampe à décharge mercure haute pression 400W [20].

## I-10 Alimentation des lampes à décharge:

Un autre point important dans les lampes à décharge, c'est leur alimentation. La tension doit être suffisamment élevée aux bornes des électrodes de la lampe.

### I-10-1 Ballasts électromagnétiques:

Les systèmes d'alimentation ferromagnétiques sont composés d'une inductance et d'un starter (bilame). La lampe étant éteinte, la tension du réseau est suffisamment importante pour établir une décharge dans le starter. Le bilame étant chauffé par la décharge, sa partie mobile va se déformer et entrer en contact avec sa partie fixe. Dès lors, un courant parcourt les deux électrodes du tube qui sont donc chauffées par effet joule. En même temps, une fois la partie mobile du bilame en contact avec la partie fixe, la décharge s'éteint et le bilame se refroidit.[12].

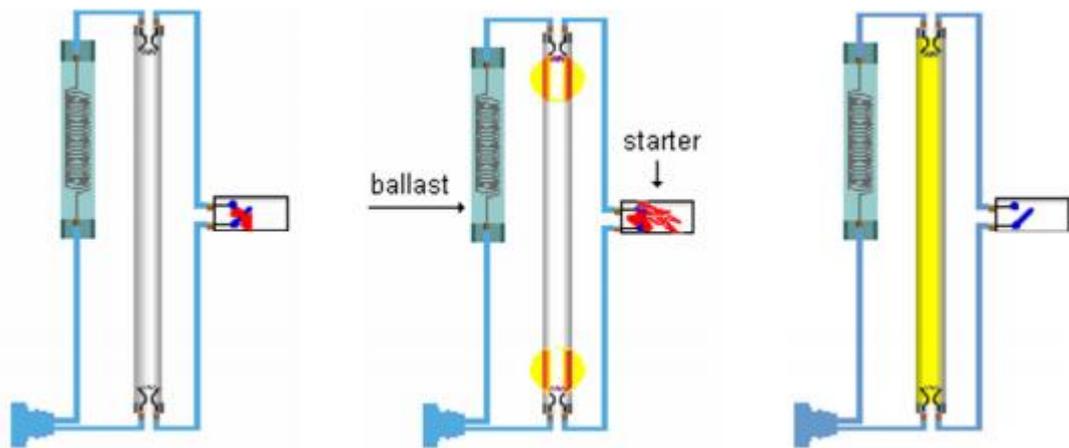


Figure I-14: Mécanisme d'allumage avec un ballast ferromagnétique[12].

A partir d'un refroidissement suffisant, la partie mobile revient vers sa position initiale et coupe ce circuit de nature inductive en induisant une surtension. Cette surtension est directement appliquée aux bornes du tube, et la décharge s'amorce alors, si les électrodes sont suffisamment chaudes. Si ce n'est pas le cas, le cycle qui vient d'être décrit recommence jusqu'à ce que la décharge s'amorce. Une fois amorcée, l'inductance limite le courant dans la décharge à son niveau nominal. Ceci est illustré par la figure I-14.

L'inconvénient des ballasts ferromagnétique est qu'ils déphasent le courant par rapport à la tension, dégradant ainsi le facteur de puissance. Afin de compenser cet effet, un

condensateur en parallèle sur le réseau relève le facteur de puissance global du luminaire [17].

Les principaux avantages du ballast ferromagnétique sont sa simplicité d'utilisation et son coût relativement bas. Toutefois, sa sensibilité à l'effet « flicker », la difficulté de variation de la lumière et sa faible efficacité énergétique, représentent des éléments en sa défaveur [21].

-Le **starter** est un dispositif est destiné aux lampes fluorescentes. La fonction du starter est double : assurer le préchauffage des électrodes du tube, puis générer une surtension pour l'amorçage du tube [12].

### I-10-2 Ballasts électroniques:

Les ballasts électroniques sont utilisés en remplacement des ballasts magnétiques pour l'alimentation des tubes fluorescents, des lampes fluo-compactes et des lampes à décharge. Ils assurent également la fonction de « starter » et ne nécessitent pas de condensateur de compensation.

Le principe du ballast électronique consiste à alimenter l'arc de la lampe par un dispositif électronique générant une tension alternative de forme rectangulaire et à fréquence élevée. La figure I-15 montre le synoptique d'une alimentation par ballast électronique [8,16].

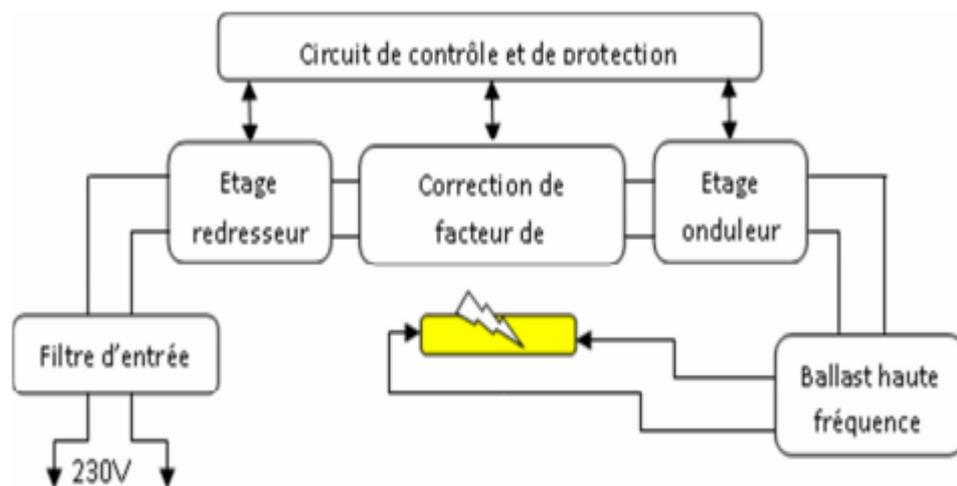


Figure I-15 : Schéma Synoptique d'une alimentation par ballast électronique [8].

L'intérêt de ce type de dispositif réside dans le fait qu'il permet d'alimenter la lampe à fréquence relativement élevée (quelques dizaines de KHz) par rapport à la fréquence industrielle (50 Hz). En effet, à de pareilles fréquences, la température centrale du plasma ne

présente plus de gradient entre les deux alternances d'une période (passage par zéro du courant) [21].

L'utilisation de hautes fréquences présente des avantages :

-L'efficacité lumineuse des lampes est améliorée compte tenu de la disparition de la chute de tension anodique et le scintillement (flicker) est inexistant.

-La taille des ballasts est réduite (composants électroniques).

-Les pertes énergétiques sont plus faibles.

-La tension d'arc est presque sinusoïdale et les formes d'ondes sont moins déformées.

-Une économie d'énergie de 5 à 10 %

-Une augmentation de la durée de vie de la lampe.

-Par ailleurs, le rendement d'un ballast électronique peut dépasser 93

- Le facteur de puissance est élevé ( $> 0,9$ ) [16].

Mais il existe des inconvénients comme :

-La nature complexe

-Impose un investissement initial élevé.

-ces luminaires produisent des champs électromagnétiques qui pourraient perturber la santé et l'environnement.

-Elles génèrent d'importants rayonnements radioélectriques (gêne pour les équipements de radiocommunication) [21].

Un ballast électronique comprend essentiellement un étage redresseur (avec éventuellement une correction du facteur de puissance -Power Factor Correction, PFC-), un condensateur de filtrage de la tension redressée, et un étage onduleur en demi pont. Son alimentation est également possible en courant continu [16].

Le schéma de principe d'un ballast électronique pour l'alimentation des lampes à décharge est montré dans la figure I-16

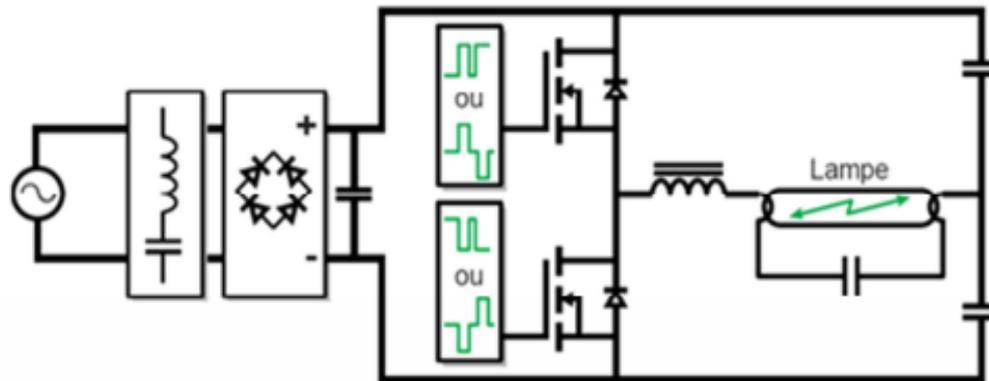


Figure I-16 : Schéma électrique de principe d'un ballast électronique [16].

### I-11 Domaines d'emploi, avantages et inconvénient [12].

Technologie	Utilisation	Avantages	Inconvénients
Tube Fluorescent	- Magasins, bureaux, ateliers - Extérieurs	- Eff Lum. élevée - IRC moyen	- Puissance lumineuse unitaire Faible - Sensible aux températures extrêmes
Vapeur de mercure HP	- Ateliers, halls, hangars - Cours d'usines	- Bonne Eff. Lum. - IRC acceptable - Faible encombrement - Durée de vie élevée	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Sodium haute pression -	- Extérieurs - Halls grandes dimensions	- Très bonne efficacité lumineuse	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Sodium basse pression	- Eclairage de sécurité Extérieurs	- Bonne visibilité par temps de brouillard - Exploitation économique	- Tps d'allumage long - IRC médiocre
Halogénure Métallique	- Grands espaces - Halls de grande Hauteur	- Bonne Eff. Lum. - Bon IRC	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes

**I-12 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté le phénomène de la décharge électrique et les types des décharges électriques dans les gaz et une définition et constitution de la lampe à décharge, son principe de fonctionnement les différents types des lampes à décharge. Le chapitre suivant sera consacré à la modélisation des lampes à décharges.



# **CHAPITRE II**

## ***Modélisation des lampes à décharge électrique***

## II-1 Introduction:

Parmi l'ensemble des applications à décharge d'arc, les lampes à décharge utilisées en éclairage, aussi bien domestique que public, ne sont pas moins polluantes, du réseau de distribution. La lampe à décharge est une charge non linéaire, il existe plusieurs modèles existant, répondant chacun, à des objectifs préalablement définis. Parmi ceux-ci, le modèle dit « polynomiale », basé sur la description à l'état stable, de la conductivité équivalente de la lampe à décharge. Le modèle de la lampe associée à son ballast ainsi obtenu, nous procéderons à une simulation de l'ensemble sous Matlab Simulink [22].

## II-2 Modélisation de la lampe à décharge:

Le modèle mathématique est utilisé pour une meilleure compréhension d'un système physique réel. Ainsi, la description d'un système est réalisée par un certain nombre d'équations mathématiques [23].

Les deux groupes principaux de modèles précités, se basent également sur les caractéristiques non-linéaires tension-courant  $v(i)$  et sur la conductivité (résistance) équivalente de la lampe à décharge.

Il existe plusieurs modèles des lampes à décharge répondant à des objectifs bien définis. Parmi ces modèles, le modèle polynomial dit « Modèle G », proposé par G. Zissis et d'autres auteurs, il est basé sur la description à l'état stable, de la conductivité équivalente de la lampe à décharge. La conductivité électrique  $G(t)$  de la lampe est décrite par l'équation généralisée [II-1] suivante :

$$\frac{dG(t)}{dt} = a_f i^f + \sum_{k=1}^n b_k G^k, \text{ avec } f = 2 \quad [\text{II} - 1]$$

Les coefficients ( $a_f$ ,  $b_k$ ), sont définis à partir des essais expérimentaux tension/courant ou à partir de l'évaluation des caractéristiques physiques[12].

### II-2-1 Modèle « $G$ » d'une lampe à décharge:

Dans plusieurs travaux de Stambouli, Zissis utilise le modèles  $G$  de la conductivité d'une lampe à décharge par une équation différentielle du premier ordre

$$\frac{dG}{dt} = a_2 i^2 - \sum_{k=1}^n b_k G^k \quad [\text{II} - 2]$$

#### II-2-1-1 Modèle de la conductivité d'une lampe à décharge:

Les résultats de travaux, d'une première approche du calcul de la conductivité de la lampe à décharge, avaient été présentés par l'équipe de recherche « sources intenses de photons » du laboratoire CPAT de l'Université Paul Sabatier de Toulouse [12].

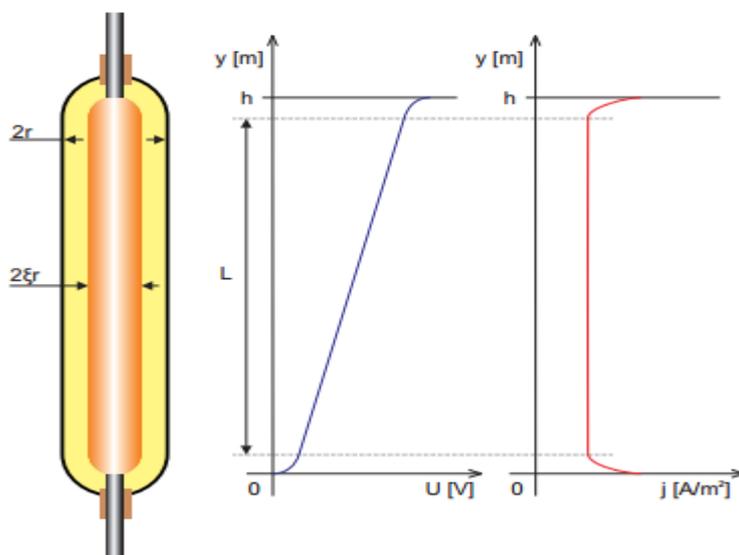


Figure II-1: Modèle du canal de décharge [22].

La figure II-1 représente le modèle schématique du canal de la décharge, avec mode d'alimentation à courant continu. Cette figure représente également la répartition du champ et de la tension électriques, le long de la colonne active.

On suppose que le flux thermique est constant dans la zone froide de température  $T_p$ . La conductivité électrique de la décharge peut être calculée à partir de l'équation [II-3] :

$$I = \frac{U}{R} = GU \quad [\text{II} - 3]$$

Où,  $I$  et  $U$  sont respectivement le courant et la tension aux bornes de la décharge,  $R$  est sa résistance et  $G_s$  la conductance électrique. En considérant, que  $g_s$  est la conductivité le long de la colonne positive de la décharge, il est possible d'écrire :

$$I = g_s E \quad [\text{II} - 4]$$

Où,  $E$  est le champ électrique et  $g_s$  la conductivité qui est égal:

$$g_s = \sigma(T_c) S \quad [\text{II} - 5]$$

Le terme  $\sigma(T_c)$  représente la conductibilité électrique à travers la section transversale  $S$  de la zone chaude

$$S = \pi \varepsilon^2 r^2 \quad [\text{II} - 6]$$

L'équation [II-4] devient alors

$$I = \sigma(T_c) \pi \varepsilon^2 r^2 E \quad [\text{II} - 7]$$

La conductivité électrique de la décharge a pu être définie sous certaines conditions et simplifications par :

$$G = \frac{I}{U_l} \quad [\text{II} - 8]$$

Où,  $I$  est le courant à travers le plasma et où  $U_l$  représentant la chute de tension, peut être décrite par une équation d'approximation telle que :

$$Ul = \Delta U_{electrodes} + hE \approx LE \quad [\text{II} - 9]$$

Avec respectivement  $h$ , la longueur totale de la décharge et  $L$  sa longueur homogène, comme indiqué sur la figure II-1.

Le rapport entre les deux longueurs nous permet d'écrire:

$$\begin{aligned} \frac{L}{h} &= \frac{LE}{hE} = \frac{U_l}{hE} = \frac{1}{h} \frac{U_l}{E} = \frac{1}{h} \frac{1}{\frac{E}{I}} = \frac{1}{h} \frac{1}{\frac{1}{g_s}} \\ &= \frac{1}{h} \frac{g_s}{G} \end{aligned} \quad [\text{II} - 10]$$

Ce qui nous donne la nouvelle expression de la conductance électrique de la décharge:

$$G = \frac{g_s}{L} = \frac{\sigma(Tc)\pi\varepsilon^2r^2}{L} \quad [II - 11]$$

A partir d'une meilleure connaissance de la physique des plasmas, permettant de déterminer le terme  $\sigma(Tc)$  et de le substituer dans l'équation précédente, nous obtenons en mode d'alimentation à courant continu et en régime de fonctionnement stationnaire, l'expression suivante :

$$\frac{dG}{dt} = a_2 I^2 - [b_1 G + b_2 G^2], \quad [II - 12]$$

Où le courant  $i(t)=i=I=cste$  et les constantes  $\frac{1}{a_2}$ ,  $b_2$ ,  $b_1$  représentent respectivement:

- L'énergie en [J].fournie au plasma,
- Un nombre corrélatif ente les pertes thermiques et les collisions élastiques en [Hz],
- Les pertes de rayonnement  $\left[\frac{V^2}{A^2s}\right]$

L'équation [II-12] peut être étendue à l'équation de la forme polynomiale généralisée [II-1], si ce n'est la problématique de représentation physique des coefficients  $b_k$ , pour  $k > 2$ .

Elle s'écrit alors :

$$\frac{dG}{dt} = a_2 I^2 - \sum_{k=1}^n b_k G^k \quad [II - 13]$$

### II-2-1-2 Solution analytique de l'équation du modèle « G »:

En considérant seulement le rang  $k = 2$  pour le coefficient  $b_k$ , dans l'équation [II-13], nous obtenons :

$$\frac{dG}{dt} = a_2 I^2 - b_2 G^2 - b_1 G \quad [\text{II} - 14]$$

Cette forme d'équation non linéaire est semblable à l'équation de *Ricatti's* où, a, b, c sont des fonctions de la variable  $x$

$$\frac{dG}{dt} = a(x)y^2 + b(x)y + c(x) \quad [\text{II} - 15]$$

L'équation de *Ricatti's* n'ayant pas de solution analytique, l'équation du modèle simplifiée du modèle « G » n'en présente pas également. Ceci impose donc la solution numérique[12].

### II -2-1-3 Identification des paramètres du modèle « G »:

Dans notre cas, en prenant en considération le problème optimum, la structure du procédé d'identification représentée ci-après sur la figure II-2, a été choisi comme algorithme d'identification.

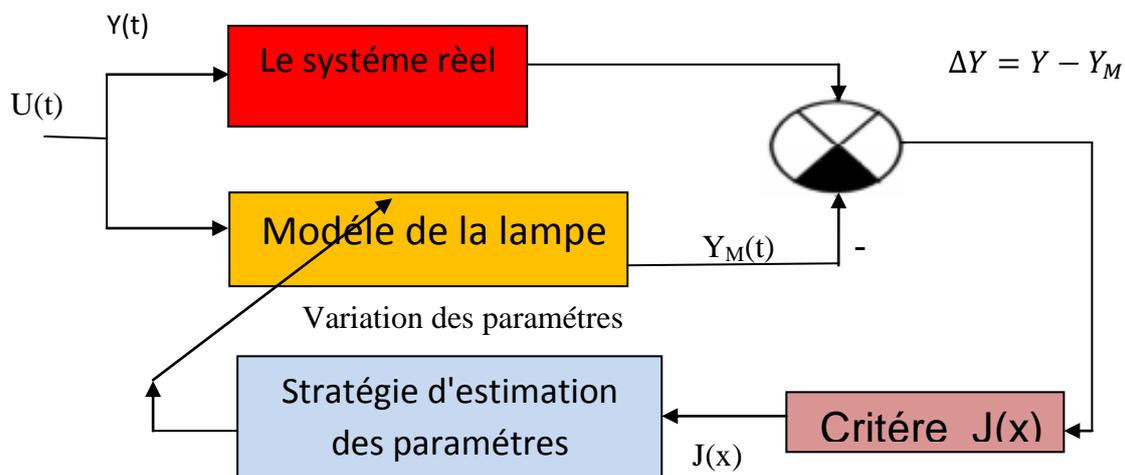


Figure II-2: Structure du procédé d'identification des paramètres [22].

Les algorithmes les plus utilisés, pour le traitement des signaux non-linéaires, font appel à des méthodes d'itération. L'estimation des paramètres joue un rôle important dans la convergence et la stabilité de la méthode de la thèse de Dr Jan Koprnický [12].

### II 2-1-4 Solution du problème optimal :

$$\min(J(x)) \quad [\text{II-16}]$$

Où,  $J(X)$  est une fonction du vecteur  $X$  représentant les variables (paramètres) du circuit. Dans ce cas-ci le critère quadratique est employé :

$$J(x) = \int_0^T [y(t) - y_M(t)]^2 \approx \sum_{i=1}^N [y_i - y_{Mi}]^2 \quad [\text{II} - 17]$$

Où,  $y(t)$  est la sortie du système réel ;  $y_M(t)$  est la sortie continue du modèle ;  $y_i$  et  $y_{Mi}$ , les valeurs sous forme discrète des deux sorties et  $N$  est le nombre de l'échantillon de mesure [22].

### II . 2-2 Détermination et implémentation du modèle numérique:

Le modèle mathématique, d'une lampe à décharge avec son circuit, est représenté par des équations différentielles et algébriques. Pour la résolution de ces équations, il est possible d'employer MATLAB sous l'outil Simulink, pour la simulation du circuit électrique[12].

#### II 2-2-1 Modèle de la lampe:

Le système réel de la lampe qui est caractérisé en général par la tension  $u_{lamp}(t)$  et le courant  $i_{lamp}(t)$ . Puis ils sont sauvegardés sous formes de vecteurs discrets ( $u_{lamp}$  et  $i_{lamp}$ ). Les deux modèles qui décrivent la conductivité équivalente de lampe sont:

- Le Modèle de Zissis [22].

$$\frac{dG}{dt} = a_2 i^2 - \sum_{k=1}^n b_k G^k \quad [\text{II} - 18]$$

- Le Modèle de Antón

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dG(t)}{dt} = A \frac{i^2(t)}{G(t)} - BG(t) - Ce^{DG(t)} \\ \frac{dG(t)}{dt} = A \frac{i^2(t)}{G(t)} - BG(t) - CG^2(t) \end{array} \right. \quad [\text{II} - 19]$$

L'introduction d'une modification sur le terme de courant telle que  $i(t) = (i(t) + a_1)$  permet de définir complètement l'identification des structures du modèle. Ainsi, en se limitant au rang trois ( $N = 3$ ) du polynôme en  $G$ , on obtient les expressions des trois

équations, représentant le modèle de la conductivité électrique, suivantes :

- Équation polynôme (II-20)

$$\frac{dG(t)}{dt} = a_2(i(t) + a_1)^2 - [b_3G^3(t) + b_2G^2(t) + b_1G(t) + b_0] \quad [\text{II} - 20]$$

Les coefficients  $a_i$  et  $b_i$  des équations, représentent les paramètres ordonnés respectifs pour les termes du courant et ceux de la conductivité[12].

### II-2-3 Modèle d'une lampe à décharge avec un ballast:

Le diagramme de simulation (Figure II-3) représente le circuit électrique d'une lampe à décharge en liaison avec le ballast magnétique comme décrit l'équation suivante :

$$u(t) = R_{ball}i(t) + L_{ball} \frac{di(t)}{dt} + u_{lamp}(t) \quad [\text{II} - 21]$$

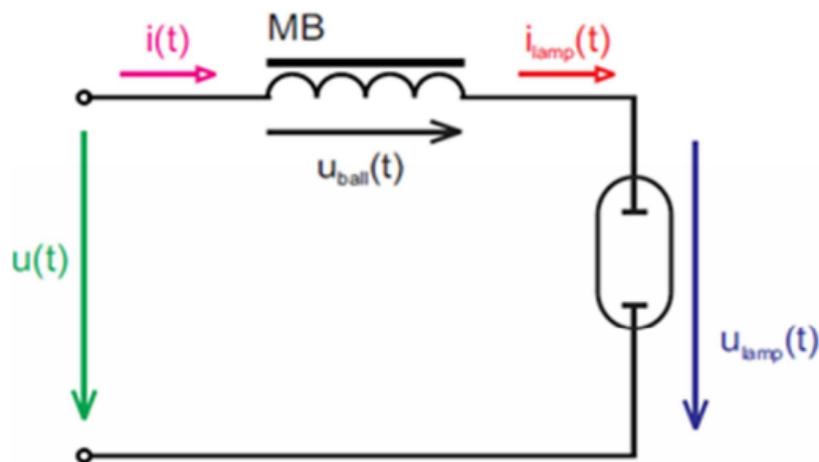


Figure II-3: Circuit électrique d'une lampe alimentée par le ballast magnétique [22].

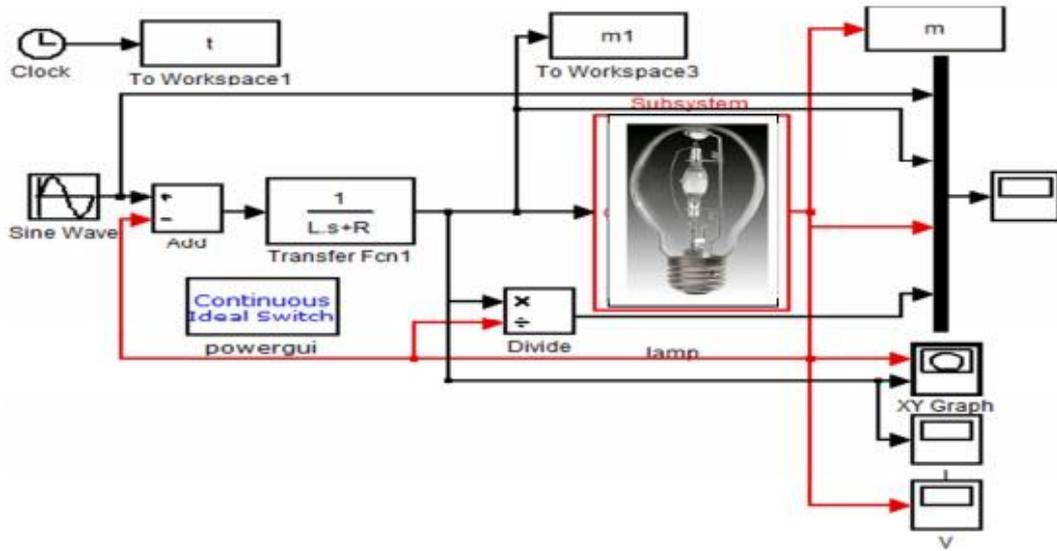


Figure II-4: Modèle de simulation d'un circuit avec lampe à décharge [12].

### II-2-3-1 Modèle d'une lampe à décharge:

Le schéma de simulation donné par (la figure II-5) est le modèle universel de lampe.

$$u_{lamp}(t) = \frac{i_{lamp}(t)}{G(t)} \quad [\text{II} - 22]$$

La conductivité en fonction du temps est donnée par le modèle polynomiale de l'équation II-23

$$\frac{dG(t)}{dt} = a^2(i(t) + a_1)^2 - [b_3G^3(t) + b_2G^2(t) + b_1G(t) + b_0] \quad [\text{II} - 23]$$

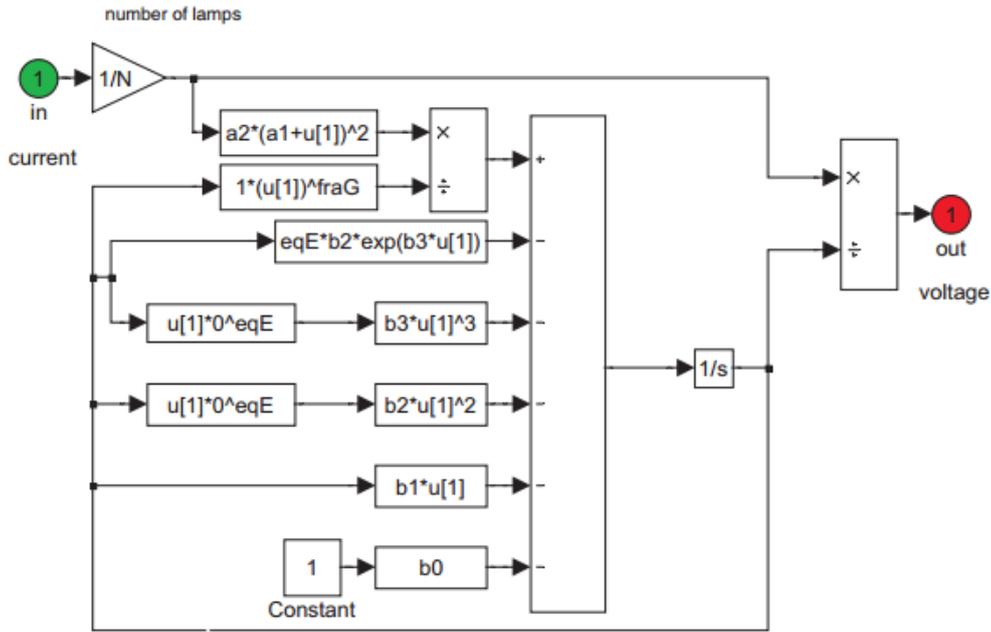


Figure II-5: la conductivité de la lampe à décharge [22].

La valeur initiale de l'intégrateur dans le bloc de sortie est égale à  $10^{-3}$  (G (t = 0) = 1mS.).

Les paramètres sont donnés dans le modèle sous la forme de vecteur comme suit :  
 [N a<sub>2</sub> a<sub>1</sub> b<sub>3</sub> b<sub>2</sub> b<sub>1</sub> b<sub>0</sub> ].

**II-2-3-2 Modèle d'un ballast magnétique:**

Le ballast est représenté par la résistance idéale *R* et l'inductance *L*. L'impédance de la bobine avec moins de perte ferromagnétique est donnée par :

$$Z_{ball} = R_{ball} + jX_{ball} \tag{II - 24}$$

D'où la réactance de ballast  $X_{ball}$  est définie comme suit :

$$X_{ball} = \omega L_{ball} \tag{II - 25}$$

La réactance de ballast dépend de l'inductance  $L_{ball}$  de ballast et de la fréquence angulaire (vitesse)  $\omega$  qui peut être défini par l'intermédiaire de la période *T* de la tension d'alimentation ou son fréquence *f* :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \tag{II - 26}$$

La méthode basée sur des puissances a été appliquée pour évaluer des paramètres de ballast. L'équation [II-27] a été employée pour obtenir la chute de tension sur le ballast :

$$u_{ball} = u - u_{lamp} \quad [II - 27]$$

Le ballast magnétique est décrit par le modèle linéaire simple, avec deux paramètres  $R_{ball}$  et  $L_{ball}$  [22].

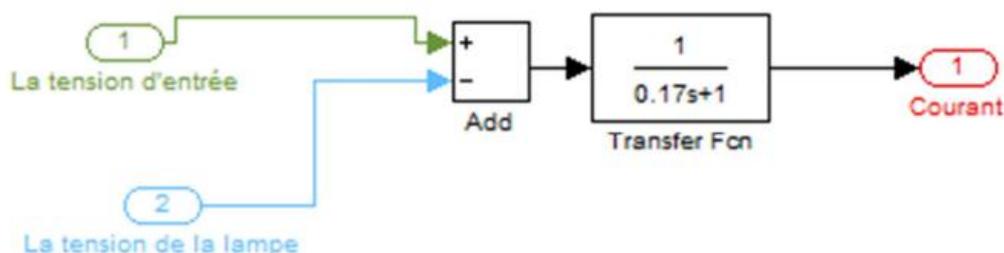


Figure II-6: Modèle d'un ballast magnétique [12].

### II-2-3-3 Modèle d'une alimentation d'énergie:

La source de puissance a été simulée en tant que source idéale de signal de sinusoïdal

$$u(t) = \sqrt{2}u_{rms}\sin(t) \quad [II-28]$$

$U_{rms}$  est la valeur efficace (RMS) de la tension d'alimentation [22].

### II-3 Conclusion:

La modélisation des lampes à décharge n'est pas une tâche simple, principalement en raison du fait que la décharge est un phénomène complexe qui comporte des caractéristiques électriques, chimiques, thermiques et optiques. Dans le chapitre suivant nous allons exploiter le modèle G de la conductivité électrique pour simuler plusieurs types des lampes à décharge électrique.



# **CHAPITRE III**

## **Simulation des lampes à décharge**

**III-1 Introduction:**

La lampe à décharge représente une charge non linéaire se caractérise par une impédance variable, donc la lampe est un élément perturbateur du réseau électrique base tension. En effet sa conductivité équivalente n'est pas constante. Le but de la simulation est d'observer les caractéristiques (la tension, le courant et la conductivité.) des différentes lampes à décharge et leurs comportements après avoir pris des coefficients déterminés expérimentalement d'un modèle polynomiale de la thèse de Koprnicky voir l'annexe A [22].

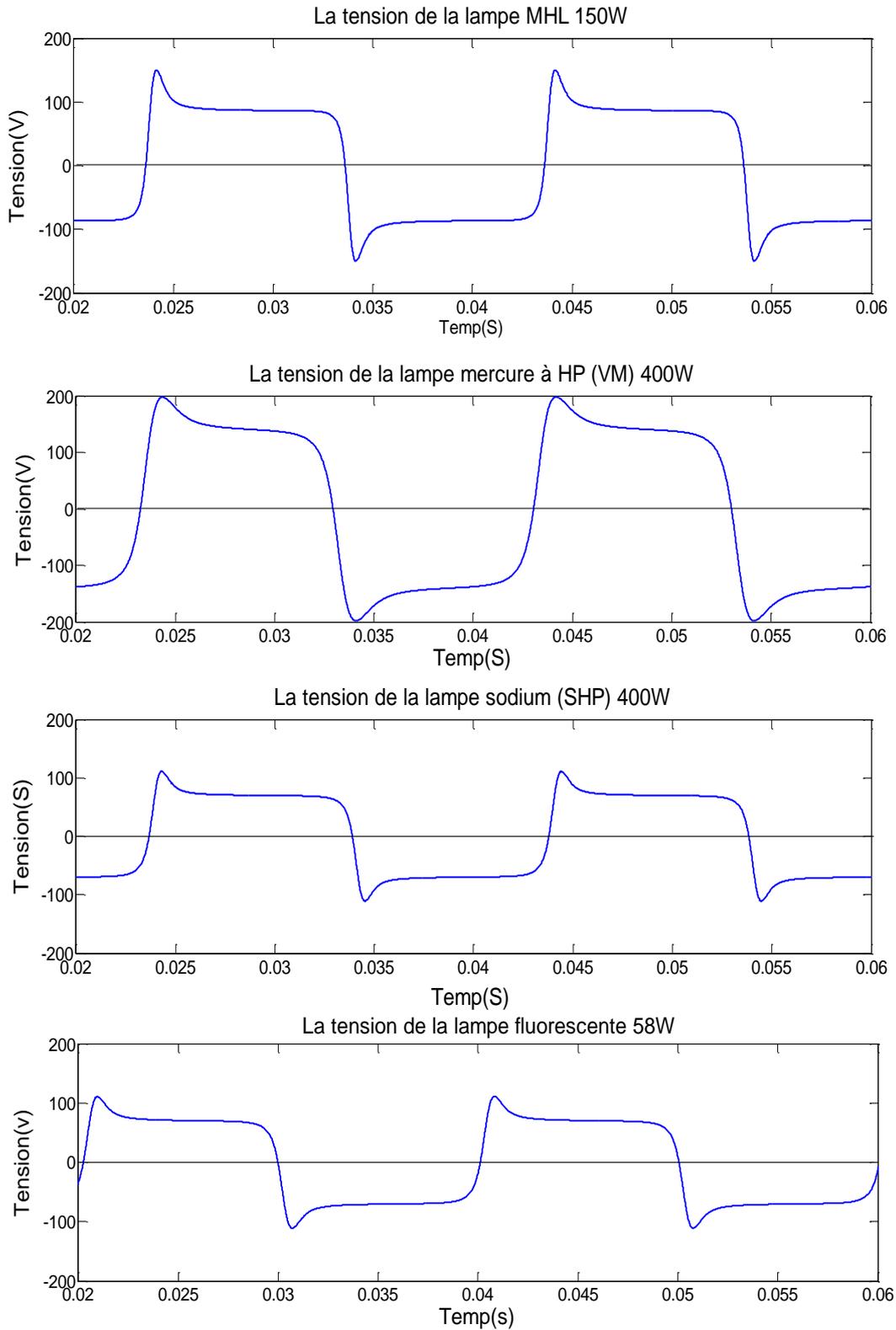
**III- 2 Résultats de simulation des lampes à décharge:****III-2-1 Les caractéristiques des lampes à décharge:**

Figure III-1 : La tension des lampes à décharge (MHL150W-HP(VM)400W-(SHP)400W-FL58W).

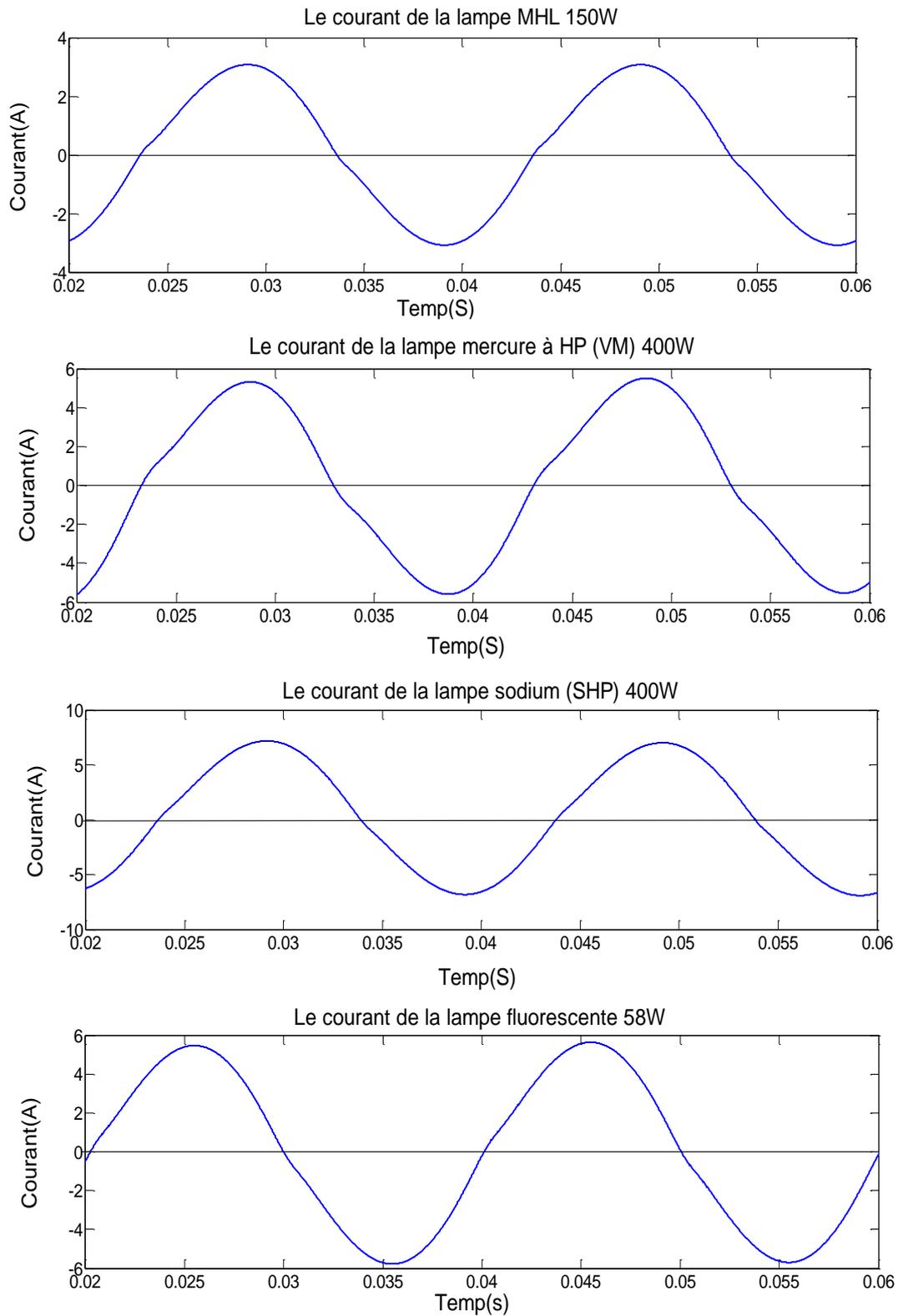


Figure III-2: Le courant des lampes à décharge (MHL150W-HP(VM)400W-(SHP)400W-FL58W)

L'alimentation des lampes à décharge par un ballast magnétique assure la surtension d'amorçage et la stabilisation du courant de décharge qui tend naturellement vers des valeurs élevées.

La figure III-2 présente une déformation de la forme du courant, qui n'est pas parfaitement sinusoïdale. Cette déformation du courant est liée d'une part à la forme en créneau de la tension (surtension) aux bornes de la lampe et d'autre part à la non-linéarité de l'inductance constituant le ballast (hystérésis) voir la figure III-1. Cette surtension est nécessaire pour amorcer d'arc dans le gaz de la colonne positive.

L'arc s'allume et s'éteint alternativement au début de chaque demi-période du passage du courant à zéro. Ceci s'explique par la recombinaison des paires électron-ion lorsque le courant passe par zéro.

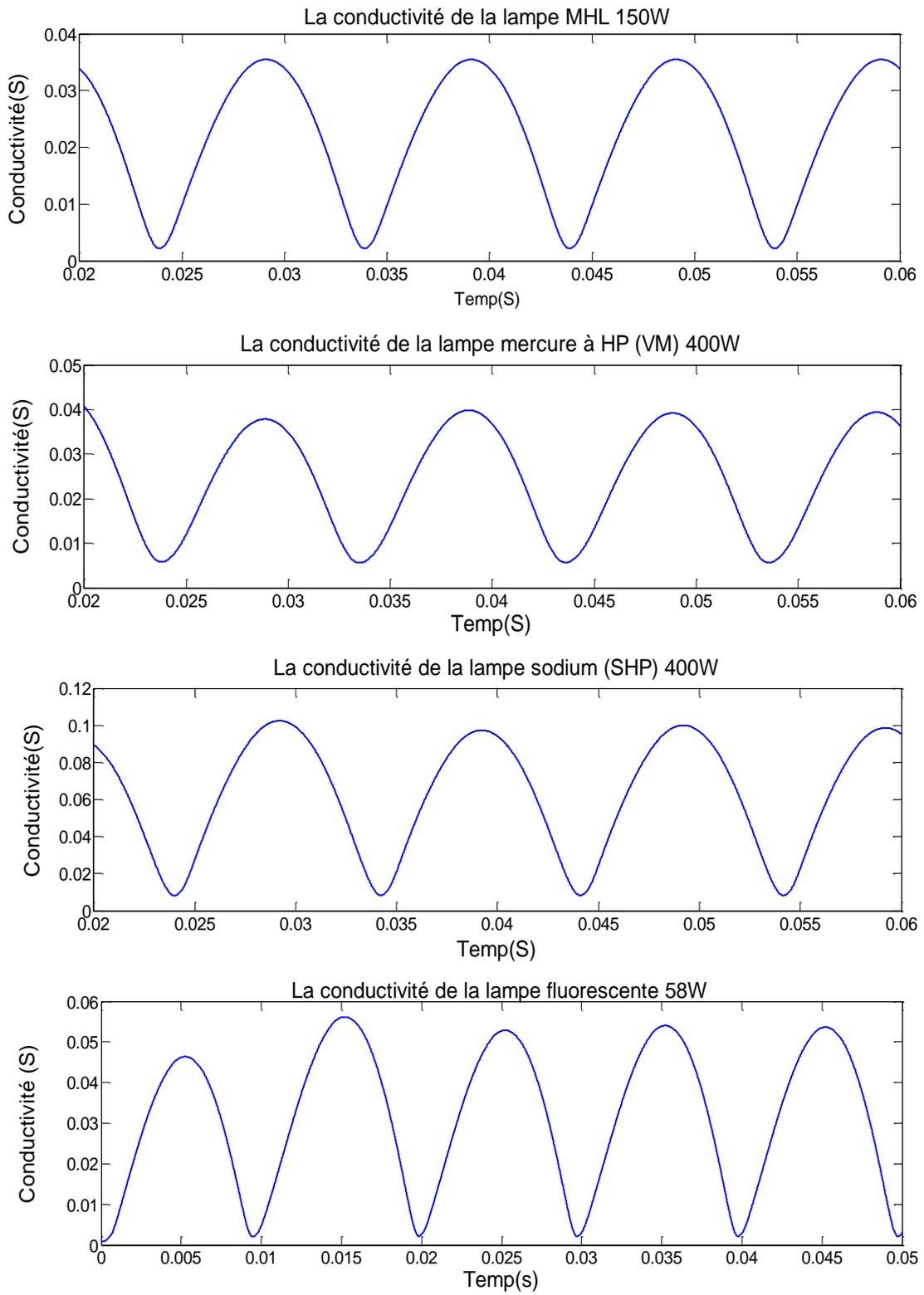


Figure III-3: La conductivité des les lampes à décharge (MHL150W-HP(VM) 400W-SHP400W-FL58)

La variation de la conductivité est expliquée par l'état d'amorçage et celui de l'extinction d'arc, elle varie périodiquement suivant l'évolution de la tension et du courant. Physiquement, elle est liée à l'état et la température du plasma ainsi que la recombinaison des paires électron-ion.

La conductivité varie d'une lampe à une autre, de  $10^{-1}$  à  $3 \cdot 10^{-2}$  Siemens à cause des paramètres du ballast et de la lampe [12].

### III-2-2 Influence de la fréquence d'alimentation sur les caractéristiques de la lampe

Pour étudier l'importance du changement de la fréquence sur le comportement électrique de la lampe nous varierons la fréquence de la source d'alimentation de 50 jusqu'à 1KHZ pour la lampe MH.

L'amorçage de la lampe pendant la phase transitoire se fait par un ballast magnétique et un starter afin de créer l'état plasma dans le tube à arc représenté dans la figure III.4-A. Après l'allumage de la lampe, nous alimentons la lampe avec un ballast résistif, à travers l'ouverture de S1 et S2 observez la figure III.4-B. Le rôle de ballast résistif consiste à éliminer l'influence de la bobine sur la lampe [22].

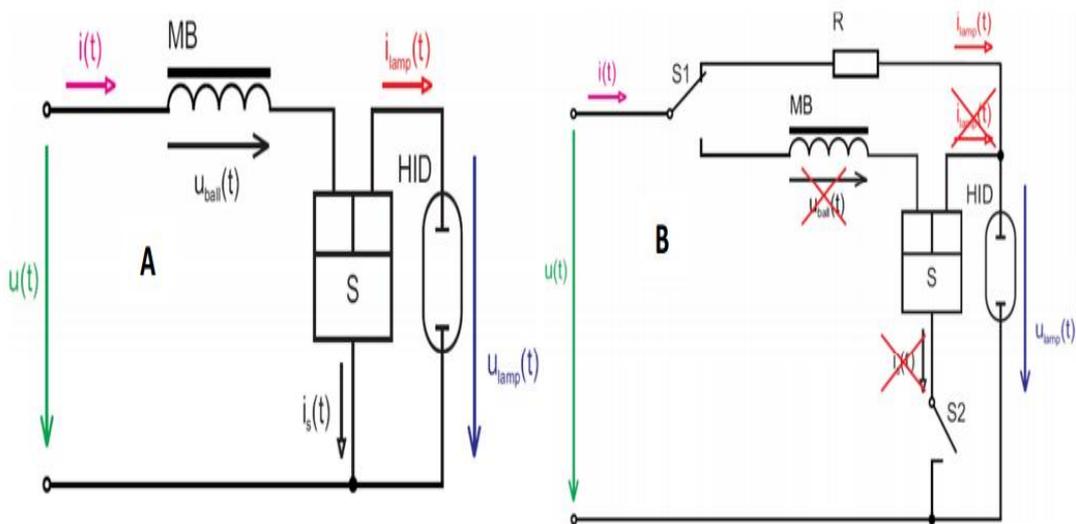


Figure III-4: Modification de circuit électrique pour le changement de la fréquence de la source d'alimentation[12].

### III-2-2-1 Les caractéristiques de la lampe MH de 150W pour des différentes fréquences

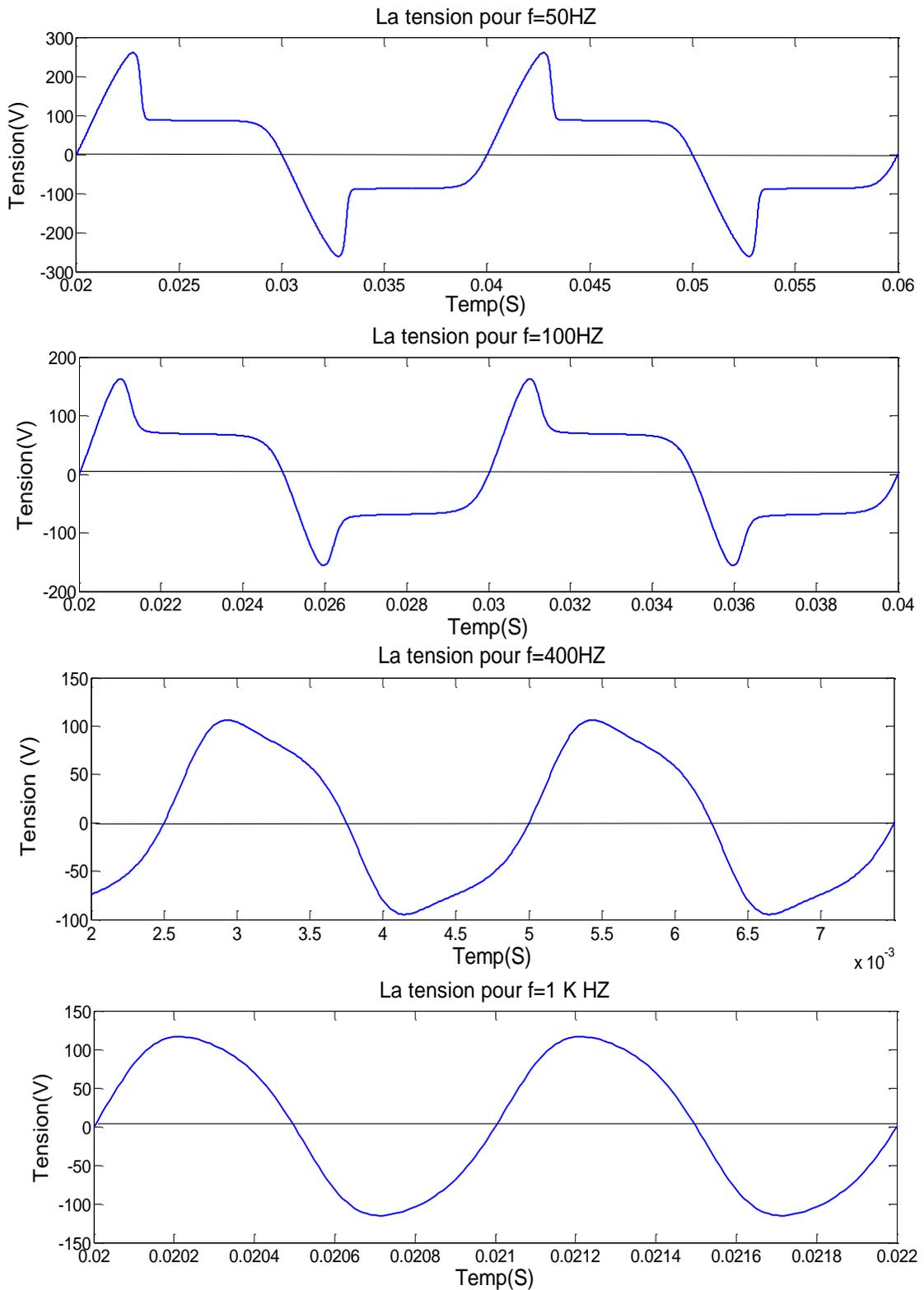


Figure III-5: La tension de la lampe MH pour une fréquence de (50Hz-100Hz-400Hz-1KHz)

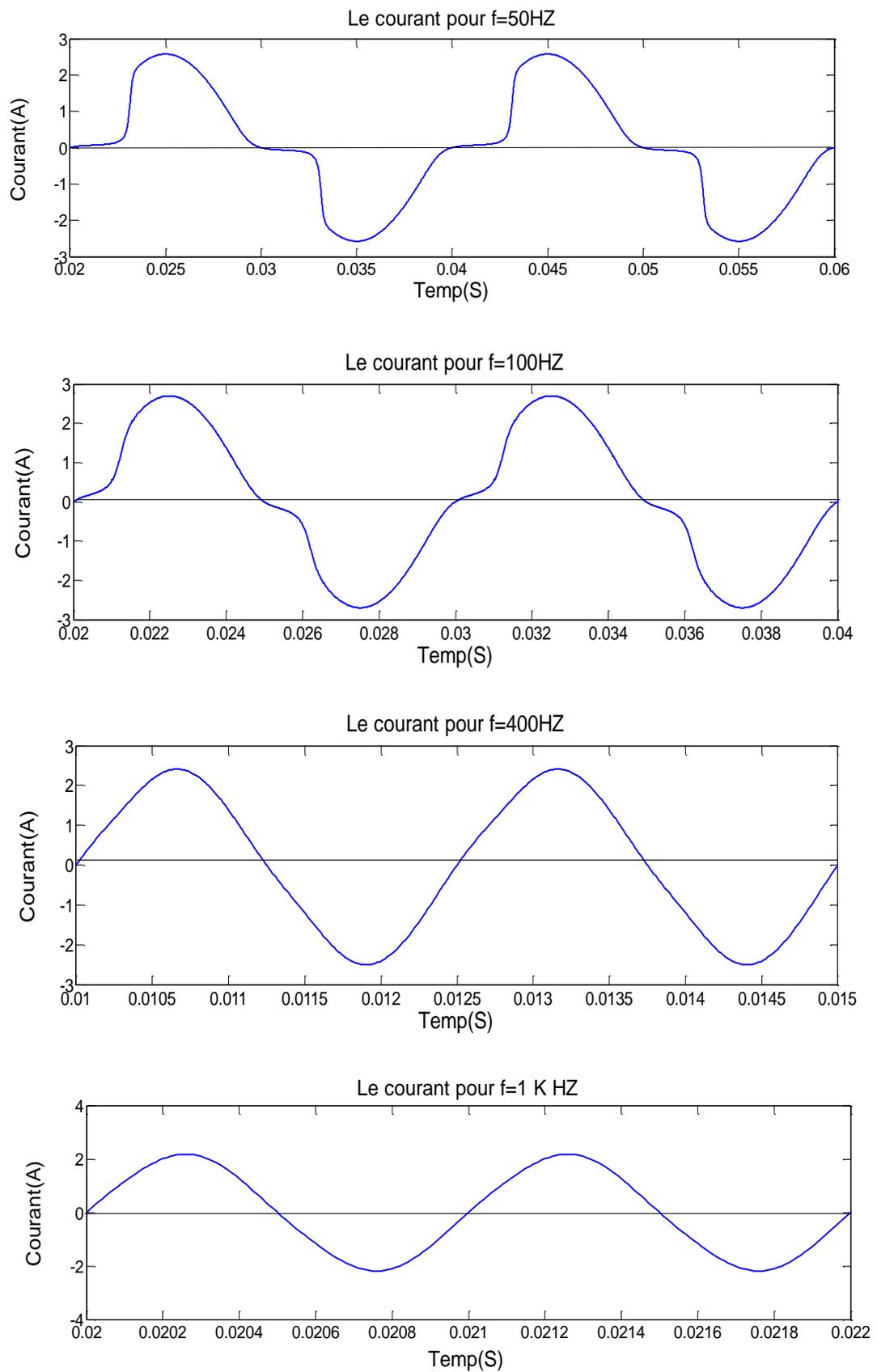


Figure III-6: Le courant de la lampe MH pour une fréquence de (50Hz-100Hz-400Hz-1KHz)

La variation de la fréquence de la source d'alimentation de  $f=50$  jusqu'à 1KHZ montre l'influence de la fréquence de l'alimentation sur les propriétés électriques des lampes (tension et du courant d'arc).

La forme d'onde de la tension d'arc à basse fréquence est très déformée avec une grande amplitude de la tension d'amorçage. Cela est expliqué à la nature non linéaire de la lampe, et le rôle important qu'elle joue l'inductance pour l'amorçage de l'arc aussi sur la création de la surtension aux bornes des électrodes.

Pour des fréquences élevées, la forme de la tension d'arc est améliorée, car sa variation rapide ne permet pas aux particules du gaz à dis-ioniser et de garder l'état plasma de la colonne positive. La figures III- 5 représentent la tension relative à une alimentation en 50 Hz et une alimentation de 1KHz.

L'augmentation de la fréquence de la source permet de rendre la forme du courant d'arc (la figures III- 6) proche de la sinusoïde est de réduire la déformation de ce signal. Grâce à la variation rapide de la tension d'alimentation qui maintient l'état de plasma excité et la nécessité d'une faible amplitude de la tension d'amorçage.

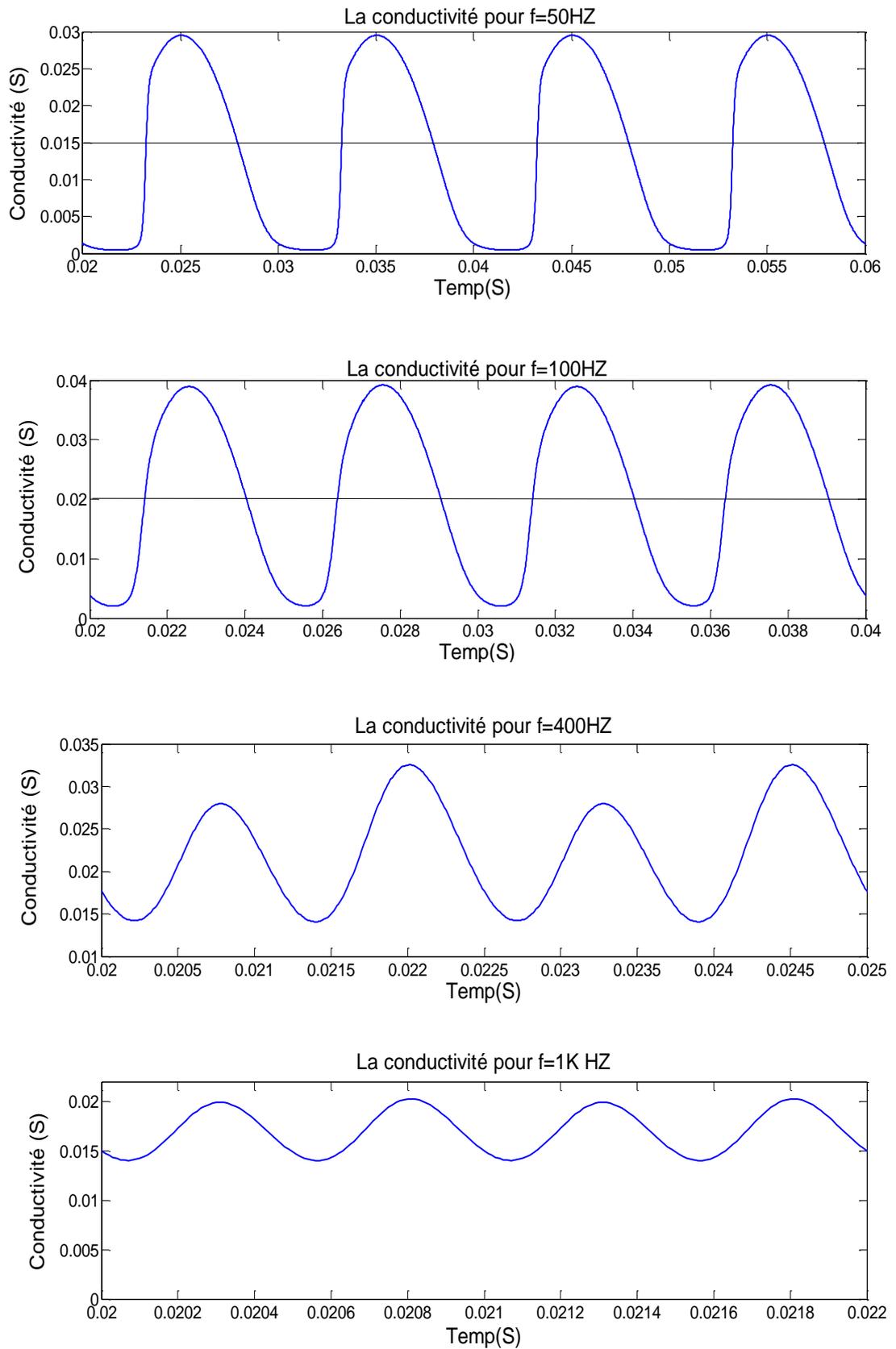


Figure III-7: La conductivité de la lampe MHL pour (50Hz-100Hz-400Hz-1KHz).

La conductivité pour  $f = 50\text{Hz}$ , elle a une variation rapide pendant l'amorçage à cause des formes d'ondes de la tension et du courant déformés.

La conductivité de la lampe à des fréquences supérieures de  $f \geq 50\text{Hz}$  deviendra presque constante, petite, et limitée dans une zone étroite à de l'utilisation d'une grande fréquence[12].

### III-3 Analyse spectrale

L'évaluation de la qualité d'énergie fournie aux clients, nous devons faire une analyse harmonique du courant et de la tension des lampes à arc électriques utilisées dans les réseaux de distribution. Les niveaux maximaux de courants harmoniques sont souvent exprimés en pourcentage, autrement dit le THD, du niveau fondamental. THD (Taux de Distortion des Harmoniques)= la somme quadratique des harmoniques à partir du rang 2, divisée par la fondamentale. La fondamentale étant l'harmonique de rang 1 [23].

Dans le cadre de la décomposition en série de Fourier d'un signal périodique, un courant électrique déformé, est composé en un signal sinusoïdal à la fréquence du réseau et la somme (en général infinie) de signaux sinusoïdaux, de fréquence 2,3,4,5, ..n fois la fréquence du réseau. (n : est le rang de la composante harmonique).

Pour la description des non-linéarités qui caractérisent les lampes à décharge nous employons le THD, défini comme suit :

$$THD(\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{U_1} \quad THD I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_1^2}}{I_1} \quad [\text{III} - 1]$$

$I_{rms}$  : c'est la valeur efficace de courant .

$I_1$  : la valeur efficace du premier harmonique de courant

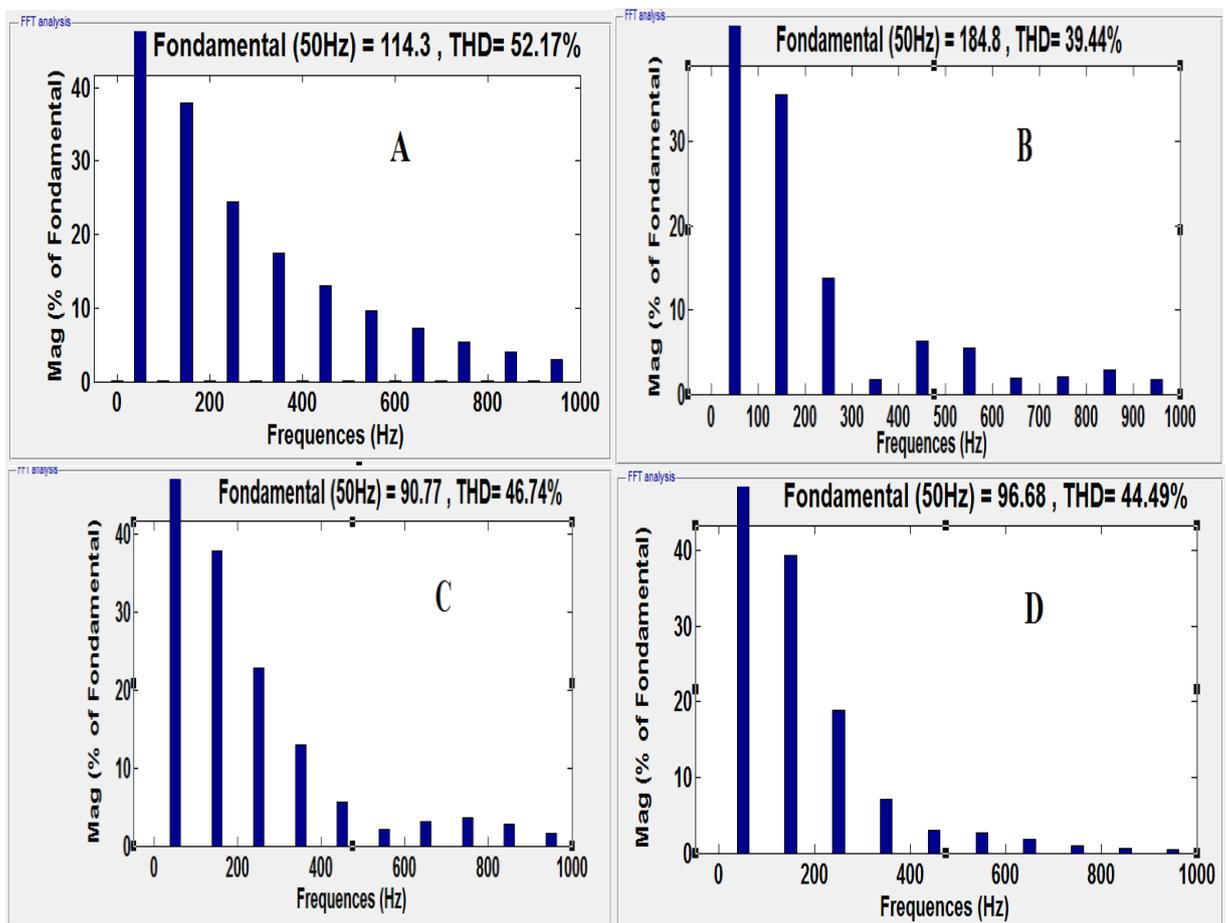
Dans notre travail, tout ce calcul sera fait par le « Powergui », ce bloc se trouve à la bibliothèque principale Power System Blockset. Il est installé dans le modèle à étudier du circuit électrique, il permet de mesurer les courants, les tensions et leurs phases initiales sur n'importe quelle portion du circuit électrique. Il permet aussi d'étudier les caractéristiques des processus transitoires dans les circuits électriques.

### III-3-2 Analyse spectrale des lampes à décharge:

#### III-3-2-1 Analyse harmoniques de la tension d'arc:

Ces tensions harmoniques sont représentées par des taux importants dans tous les types de lampe qui ont été étudié. Le taux d'harmonique 3 peut même dépasser 35 % pour notre cas, la présence des harmoniques d'ordre impaire (de rang 5, 7, 11, 13, etc ) est clair.

L'onde de tension harmonique : elle a pour origine les surtensions des décharges à arcs électriques dans les gaz qui ont une caractéristique non linéaire (dissymétrie). La valeur de THD est élevée pour la tension de ces lampes, ce qui explique le niveau de déformation et la nature complexe de la décharge dans les gaz qui peut dépasser 50%, voir la figure III-8. [12]



A: Halogénures Métallique 150W , B: Mercure HP 400 W, C: Sodium HP à 400 W, D:Fluorescente à 58W

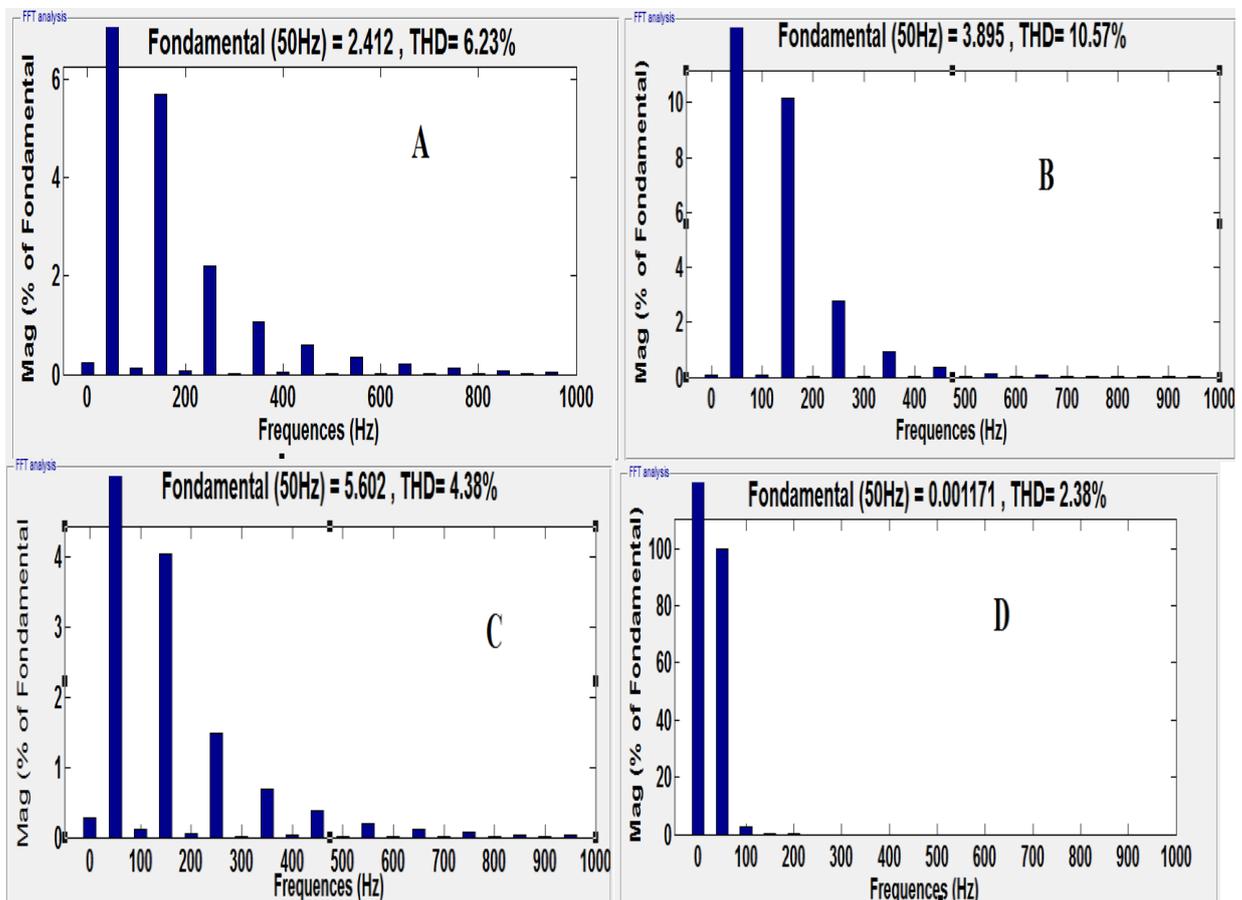
Figure III-8: Analyse spectrale des harmoniques de tension.

### III-3-2-2 Analyse harmoniques du courant d'arc

Les harmoniques observés sont de rang 5, 7, 11, 13, etc. d'une manière générale, de rang  $h = 6k + 1$ , avec  $k = 1, 2, \dots$  ; sont de rangs impairs. Ces harmoniques sont avec des taux importants. L'amplitude d'harmonique 3 peut dépasser 10 % pour la lampe mercure à haute pression, l'harmonique d'ordre 5 est présent encore avec un taux de 2 %.

Ces harmoniques impairs, de courants harmoniques, leur amplitude est d'autant plus élevée que leur rang harmonique est plus bas. Avec des THD important de 10 % qui reflète la présence des harmoniques.

Les harmoniques pairs, de rang  $n = 2k$  existent pour certaine lampe, ainsi que les sous-harmoniques de fréquences inférieures à 50 Hz (rang  $< 1$ ). Aussi il existe [13].



,A: Halogénures Métallique 150W , B: Mercure HP 400 W, C: Sodium HP à 400 W

D: Fluorescente à 58W

Figure III-9 : Analyse spectrale des harmoniques de courant

La comparaison entre les résultats de la figure III-9 montre que les mesures de la lampe en mercure sont les plus polluantes par rapport aux autres. Contrairement les lampes fluorescentes sont les moins polluantes, cela est expliqué par la nature du gaz de chaque lampe et la pression ainsi que la puissance de chaque lampe.

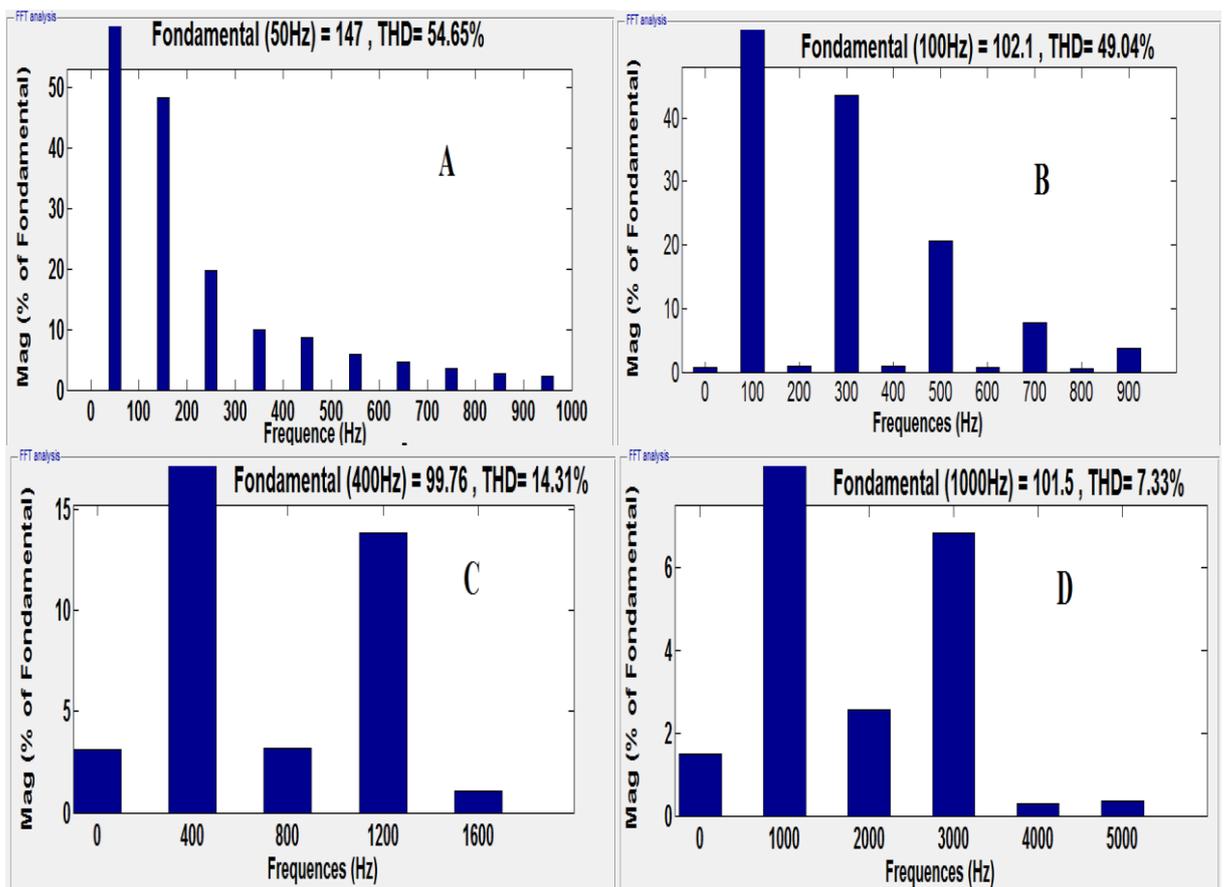
### III-3-3 variation de la fréquence des lampes

#### III-3-3-1 La lampe HML 150W avec le ballast résistif pour $f=50, 100, 400, 1\text{KHz}$

##### III-3-3-1-1 Analyse harmoniques de la tension d'arc

Quand les lampes sont alimentées à travers d'un ballast magnétique à 50 Hz. La phase de réamorçage se traduit par une surtension apparaissant au début de chaque demi-période.

La deuxième application nous allons utiliser un ballast résistif, pour voir l'influence d'élimination de l'inductance, voir la figure III-10

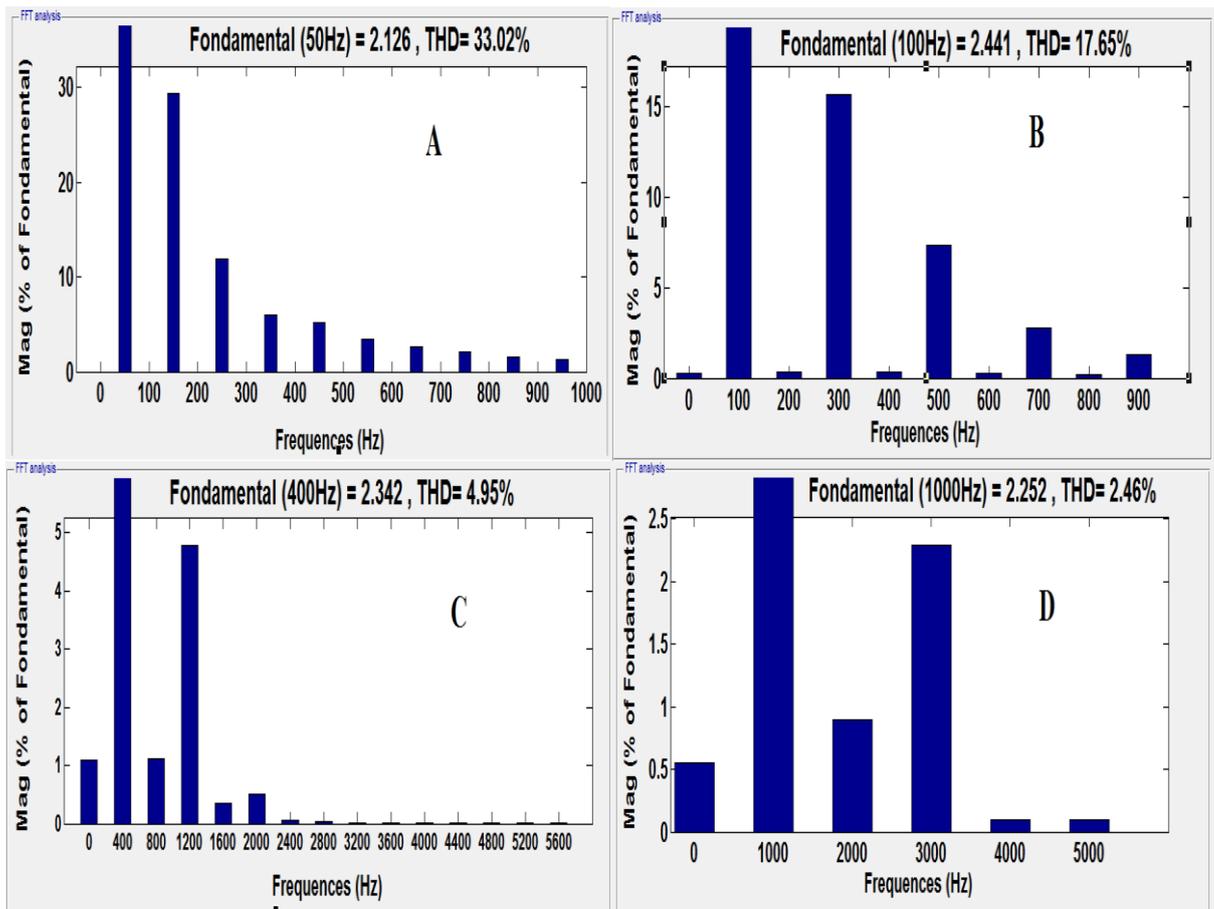


A:50Hz B:100Hz C:400Hz D:1Khz

Figure III.10 : Analyse spectrale des harmoniques de tension (HM 150W).

D'après les résultats de simulation de la figure III-10 on remarque l'influence de la fréquence par la comparaison entre les THD des différentes fréquences. Lorsque la fréquence augmente nous pouvons remarquer la diminution des amplitudes des harmoniques du rang impairs par exemple le rang trois atteint 7 % pour la fréquence 1KHz et les autres rangs impairs sont tous disparus pour cette fréquence. Le THD varie entre 50 % pour la basse fréquence et 7,33 pour  $f=1\text{KHz}$ .

### III-3-3-1-2 Analyse harmoniques du courant d'arc



A:50Hz B:100Hz C:400Hz D:1Khz

Figure III.11 : Analyse spectrale des harmoniques de courant (HM 150W).

D'après la figure III-11, l'augmentation de la fréquence, nous remarquons une atténuation très importante des taux d'harmoniques impairs, par exemple le rang trois a diminué jusqu'à 3% pour  $f=1\text{KHz}$ , qui explique l'influence de la fréquence sur la forme et le phénomène d'ionisation. Le THD sera réduit à une valeur de l'ordre de 2.46% .

**III-4 Conclusion**

-Dans ce chapitre nous avons simulé les caractéristiques tension/courant d'arc et la conductivité équivalente  $G$  de la lampe.

-Nous avons démontré la validité de ce modèle à forme polynomiale qui est utilisable pour le régime permanent, stable de la lampe.

-Nous avons montré l'influence de la fréquence de la source d'alimentation sur les caractéristiques de la lampe ( $V/I$ ) "non linéaire".

En fonction de ses caractéristiques nous avons expliqué et démontré la non linéarité de ces lampes et leurs générations d'harmoniques dans le réseau électrique, ainsi que dans le conducteur de neutre.

# Conclusion Générale

Parmi les aspects principaux à considérer dans la qualité d'énergie électrique: la déformation harmonique de la tension, la forme d'onde du courant consommé et son impact sur le système électrique. Les fabricants d'appareillage électrique deviennent très intéressés au sujet de la compatibilité électromagnétique, de l'émission, et du niveau d'immunité aux harmoniques.

Nous avons modélisé les lampes à décharge et montré les caractéristiques tension/courant d'arc ainsi que la conductivité équivalente  $G$  de la lampe. Nous avons démontré la validité de ce modèle à forme polynomiale qui est utilisable pour le régime permanent, stable de la lampe.

Dans ce travail nous avons appréhendé le fonctionnement des lampes à décharge, à des fréquences autres que celle du réseau. Les résultats de simulation obtenus montrent la linéarité de la caractéristique courant tension pour des fréquences élevées.

D'après les résultats de simulation des lampes à décharge on a trouvé une génération importante des harmoniques dans le réseau électrique. Parmi les solutions adapter pour compenser ces perturbations en fait appel à des structures de filtrage et/ou à des ballasts électroniques faisant fonctionner la lampe à des fréquences élevées permettant de corrigé la non linéarité intrinsèque à l'arc électrique.

Nous avons constaté que la différence de la variation du spectre d'harmonique du courant pour les lampes à décharge, est causée par le type de gaz et leur pression et même la puissance de la lampe.

Cette non linéarité des lampes et leurs générations d'harmoniques dans le réseau électrique, détériore et causera une coupure dans le conducteur de neutre. Même une circulation des courants harmoniques très important dans le neutre de genre perturbation conduite dans les câbles électriques.

Au futur nous espérons faire une réalisation expérimentale pour mesurer les caractéristiques des lampes à décharge électrique et de faire une étude dans l'axe de la compatibilité électromagnétiques et trouver des solutions pour les harmoniques.

## Annexe -A-

Model type polynomial	f Hz	a2	a1	b 3	b2	b1	b0	$R_{ball}(\Omega)$	$L_{ball}$
MHL halogénures métalliques de 150W	50	54	0	0	$3.87 \cdot 10^5$	710	0	7	0.35H
MHL 150W	50	54	0	0	$3.87 \cdot 10^5$	710	0	113.7	9mH
MHL 150W	100	55.8	-0.007	0	242195	939	0	115.1	7mH
MHL 150W	400	21.4	-0.142	0	165194	-1164	0	119.3	4mH
MHL 150W	1K	24.5	-0.025	0	670809	-8301	0	122.3	3mH
fluorescente 58W	50	67	0	0	$6.3 \cdot 10^5$	$10^3$	$0.27 \cdot 10^{-4}$	37	970m H
fluorescente 36W f	50	67	0	0	$6.3 \cdot 10^5$	$10^3$	$0.27 \cdot 10^{-4}$	54	1.380 H
fluorescente 18W	50	67	0	0	$6.3 \cdot 10^5$	$10^3$	$0.27 \cdot 10^{-4}$	234	1.560 H
vapeur de mercure à haute pression (VM) 400W	50	5.4	0	0	104230	85	0	1.0	170m H
sodium à Haute Pression 400W	50	21	0	0	100171	299	0	4	160m H

# Bibliographie

- [1] Annemie Bogaerts, Erik Neytsa, Renaat Gijbels, Joost van der Mullen, "Gas discharge plasmas and their applications", *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, Volume 57, Issue 4, 5 April 2002, Pages 609658.
- [2] Mohamad H. Rashid, «Power Electronic Handbook », Academy press edition, Florida, USA, 2001, page 507529.
- [3] M.A. Cayless, B.Sc, A.R.C.S., Ph.D., F.Inst.P., M.C.I.B.S., "Future developments in lamps", *IEEPROC*, Vol. 127, Pt. A, No. 3, APRIL 1980.
- [4] Hooker, J.D.; "The low-pressure sodium lamp", *Plasma Science*, 1997. *IEEE Conference Record - Abstracts*, 1997 *IEEE International Conference on 19-22 May 1997*, Page(s):289.
- [5] J.A.J.M. van Vliet, ir, and J.J. de Groot, Dr. ir., « High-pressure sodium discharge lamps» , *IEE PROC*, Vol. 128, Pt. A, No. 6, September 1981.
- [6] Thèse ZIANE « Contribution à l'étude du comportement dynamique du couple décharge- réseau application à la lampe à décharge mercure haute pression » Université Djillali Liabes Sidi Bel Abbes décembre 2007.
- [7] Labo CHHUN " Modes d'alimentation et de commande des lampes sodium haute pression en vue d'éviter les résonances acoustiques" Université de Toulouse vendredi 07 mai 2010
- [8] S. Vacquie, « L'arc électrique et ses applications » livre tomes 1 &2, éditions du CNRS 1985.
- [9] Alexandre Labergue « Etude de décharges électriques dans l'air pour le développement d'actionneurs plasmas - Application au contrôle de décollements d'écoulements » Thèse de doctorat l'Université de Poitiers Soutenue le 25 novembre 2005
- [10] M. SALANNE Jean-Philippe« Contrôle du point de fonctionnement des décharges électriques par l'intermédiaire de leur alimentation. » docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse Thèse 18/11/2005
- [11] C. Collombet J.M. Lupin J. Schonek Cahier technique n° 152 « Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués, et leur traitement » 1999 Schneider Electric. <http://www.schneider-electric.com>

- [12] Ayad Ahmed Nour El Islam « Etude et analyse des interférences électromagnétiques dans les procédés à décharges électriques » mémoire de magister Université Djillali Liabes De Sidi-Bel-Abbès Algérie 2011.
- [13] "Lampe électrique" [https://fr.wikipedia.org/wiki/Lampe\\_%C3%A9lectrique#Lampes\\_.C3.A0\\_d.C3.A9charge](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lampe_%C3%A9lectrique#Lampes_.C3.A0_d.C3.A9charge)
- [14] lampe à décharge <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id>
- [15] Ziadi Hadj Khalfati Zouaoui « Modélisation expérimentale des variables caractéristiques d'une lampe « HID » à vapeur de sodium » Projet de Fin d'Etudes 2008/2009
- [16] J. Schonek ,M. Vernay Cahier technique n° 205 « L'alimentation des circuits d'éclairage » Schneider Electric CT 205(e) édition avril 2002
- [17] David Buso « Influence des modes d'alimentation et de gestion des réseaux d'éclairage sur la performance et la fiabilité des sources de lumière » docteur de l'université paul sabatier these Soutenue le 16 Décembre 2004
- [18] « Guide de référence de L'éclairage » CEA Technologies Inc., Ressources naturelles Canada, le ministère de l'Énergie de l'Ontario, Energy @ Work, [www.energy-efficiency.com](http://www.energy-efficiency.com)
- [19] Arezki TOUMI "Étude des résonances acoustiques dans une lampe à décharge haute pression à enveloppe céramique" Université de Toulouse 04 Avril 2012
- [20] A. G. Jack and M. Koedam. Energy balances for some high pressure gas discharge lamps. Jour. Illum. Eng. Soc., 3 :323–329, 1974.
- [21] Veronique Foin, « Evolution du courant dans les lampes à décharge » ,Passion électrotechnique dimanche, 20 juin 2010, <http://electrotech.grosbidule.com/>
- [22] Jan KOPRNICKY « Electric Conductivity Model of Discharge Lamps » l'Université Toulouse III - Paul Sabatier (France) et l'Université Technique de Liberec (Rep. tchéque) Soutenu le 14 février 2008
- [23] Cours online « Décomposition en série de Fourier FFT » [http://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie\\_de\\_Fourier](http://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie_de_Fourier)

### Résumé

Le travail présenté est consacré à la simulation d'un procédé à décharge électrique. La simulation des lampes à décharges est basée sur un modèle mathématique de la conductivité de l'arc électrique. Cette conductivité est caractérisée par une forme complexe polynomiale. Le modèle développé nous a permis de visualiser les courbes caractéristiques de la décharge électrique pour les différentes lampes simulées et de caractériser les rangs harmoniques de chaque lampe et leurs THD. Pour voir la pollution électromagnétique générée dans le réseau électrique.

**Mots clés:** décharge électrique, lampe à décharge, pollution harmonique, conductivité Matlab Simulink

### Abstract

The work presented is devoted to the simulation of an electric discharge process. The simulation of discharge lamps is based on a mathematical model of the conductivity of the electric arc. This conductivity is characterized by a polynomial complex form. The model developed allowed us to visualize the characteristic curves of the electric discharge for the different lamps simulated and to characterize the harmonic rows of each lamp and their THD. To see the electromagnetic pollution generated in the electrical network.

**key words:** electric discharge, discharge lamps, conductivity, harmonic pollution, Matlab Simulink.

### ملخص

ويخصص هذا العمل إلى محاكاة عملية التفريغ الكهربائي. وتستند محاكاة مصابيح التفريغ على نموذج رياضي من الناقلية من القوس الكهربائي. هذه الناقلية تتميز بشكل متعدد الحدود معقد. وقد سمح النموذج المطور لنا بتصور المنحنيات المميزة للتفريغ الكهربائي لمختلف المصابيح التي قمنا بمحاكاتها وتمييز درجات التذبذب و THD لكل مصباح. لعرض التلوث الكهرومغناطيسي الذي تولد في الشبكة الكهربائية.

**الكلمات المفتاحية:** مصابيح التفريغ، التفريغ الكهربائي، الناقلية، التلوث الكهرومغناطيسي Matlab Simulink