



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : **Génie des procédés**

Spécialité : *Génie chimie*

Par: MOSBAH Hadjer

Thème

**SIMULATION DE LA CINÉTIQUE CHIMIQUE D'UN
PLASMA FROID A BASE DE GAZ RARE ;
APPLICATION AUX LAMPES A DECHARGE**

Soutenu publiquement le : 10/05/2018

Devant le jury :

Abdelhakim LAKHDARI	MAA	Univ. Ghardaïa	Président
Mohammed AZZAOU	MAA	Univ. Ghardaïa	Examinateur
Khaira BOUAMER	MAA	Univ. Ghardaïa	Examinateur
Abderrahmen BELLAOUAR	MCA	Univ. Ghardaïa	Encadrant
Khadidja KHODJA	MRA	URAER - Ghardaïa	Co-Encadrant

Année universitaire 2017/2018

Dédicace

A :

Ma très chère mère

Mes très chers frères et sœurs.

Mes professeurs.

À toute ma famille.

Et tous mes amis

*Un spécial dédicace à ma chère professeur : KHODJA
Khadidja*

MOSBAH Hadjer

Remerciements

Je remercie tout d'abord **ALLAH** le tout puissant qui m'a guidé sur le bon chemin et m'a donné la force pour pouvoir dépasser toutes les difficultés.

Mes grands remerciements à ma chère mère qui a sacrifié sa vie pour mon éducation et mon instruction ainsi mes frères et sœurs pour leur affection inégalable et leur soutien. Sans leurs encouragements, je n'aurais pu mener à bien ce travail

Ce travail a été effectué au sein de l'Unité de Recherche Appliquées en Energies Renouvelables de Ghardaïa (**U.R.A.E.R**), ainsi je remercie le directeur **Dr. Djelloul DJAFER** de m'avoir accepté au sein de l'unité.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements au **Dr. Abderrahmane BELLAOUAR** et **Dr. Khadidja KHODJA** pour ses encadrements, mais aussi pour les précieux conseils, leur soutien et leur optimisme à tout crin. Mes remerciements leurs sont surtout adressés pour le suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire de master avec la compétence que chacun de nous leur reconnaît.

Mes sincères remerciements s'adressent à monsieur le président du jury : **Abdelhakim LAKHDARI** de l'Université de Ghardaïa, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je tiens également à remercier, **Mr Mohammed AZZAOU** et **Mme Khaira BOUAMER** de l'Université de Ghardaïa qui ont accepté de juger ce travail, ainsi que de leur honorable présence.

Je remercie aussi ma chère amie **BICHI Amina**

MOSBAH Hadjer

Table des matières

Résumé	i
Table des matières	ii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Liste des abréviations	viii
Introduction générale	ix

CHAPITRE I

Généralités sur le plasma et les décharges électriques

Introduction.....	01
I.1. Le plasma	01
I.1.1. Définition	01
I.1.2. Catégories de plasma	03
I.1.3. Types de plasma	03
I.1.3.1. Plasmas naturels.....	03
I.1.3.2. Plasmas de Laboratoire	05
I.1.4. Formation du plasma	07
I.1.5. Paramètres physiques des plasmas	08
I.1.6. Domaines d'application industrielle du plasma	10
I.1.7. Phénomène dans le plasma	11
I.1.7.1. Les décharges électriques	11
I.1.7.2. Mécanismes de formation et processus physiques des décharges électriques.....	13
I.1.7.3. Structure spatiale de la décharge	14
I.1.7.4. Le claquage dans le gaz	15
Conclusion.....	16

CHAPITRE II

Cinétique chimique dans la lampe à excimère pour Décharge barrière diélectrique

Introduction.....	17
II.1.Les DBD.....	17
II.1.1.Définition	17
II.1.2.Applications	18
II.2.Lampes à excimères (excilampe).....	20
II.2.1.Définitions.....	20
II.2.2.Applications	21
II.2.3.L'excimère	23
II.2.4.Formation du l'excimère	23
II.2.5.Niveau atomique et moléculaire du Xénon et du Néon	24
II.2.6.Cinétique et émission du mélange Ne/Xe	24
II.2.6.1. Émissions du mélange Ne/Xe	24
II.2.6.2 Émission VUV : espèces considérées	25
Conclusion	26

CHAPITRE III

Modélisation de la cinétique chimique pour lampe à excimères

Introduction	27
III.1. Modèle de calcul	27
III.1.1. Modèle zéro-dimensionnel du plasma (0-D)	27
III.1.2. Description de la lampe à excimère et du circuit électrique équivalent	27
III.1.3. L'équation de Boltzmann	28
III.1.4. Modèle de la cinétique chimique du mélange Ne/Xe	29
III.2. Résultats et discussion	32
III.2.1 Caractéristiques électriques	33
III.2.1. Caractéristiques cinétiques	34
III.2.3. Etude paramétrique	37
III.2.3.1. Effet de la densité initiale des électrons.....	37
Conclusion	38
Conclusion générale.....	x
Références bibliographiques.....	xi

Liste des tableaux

Tableau II.1	Réactions présentes dans le Xe pour la production de l'UV à 173 nm.....23
Tableau III.1	Processus de réactions élémentaires dans une décharge Ne/Xe pour lampe à excimère.....31
Tableau III.2	Condition de fonctionnement de la lampe à excimères.....32

Liste des figures

Figure (I.1): Evolution de l'état de la matière avec l'énergie.....	02
Figure (I.2): Schéma de différence entre gaz neutre et plasma	03
Figure(I.3) : Diagramme des plasmas dans l'espace	11
Figure(I.4) : Le vent solaire est un flux de plasma	04
Figure (I.5) : Magnétosphère d'une planète plongée dans le vent solaire	04
Figure(I.6) : Les aurores polaires.....	05
Figure(I.7) : Les éclaires	05
Figure(I.8) : Principe de la lampe fluorescente	06
Figure(I.9) : Lampes fluorescentes.....	06
Figure (I.10): Ecrans plasma	07
Figure(I.11) : Tokamak	07
Figure(I.12) : Circuit d'alimentation d'un tube à décharge.....	08
Figure (I.13) : Microélectronique	10
Figure (I.14) : Stérilisateur à Plasma.(Pour instruments médicales).....	11
Figure(I.15) : Décharge encourageant continu	12
Figure,(I.16) : Décharge sans électrodes	13
Figure(I.17) : Avalanche électronique.....	14
Figure (I.18) : Structure d'une macro-décharge à basse pression générée entre deux plans parallèles, et fonctionnant en régime luminescent normal	15
Figure (II.1) Quelques configurations de la décharge à barrières diélectriques.....	18
Figure (II. 2) : Coupe transversale d'un écran à plasma à géométrie matricielle. La décharge s'effectue entre une électrode ligne et une électrode colonne. La largeur d'une cellule est comprise entre 125 μm pour un écran 19 pouces et 310 μm pour un écran 24 pouces.....	20
Figure (II.3) : Principe de la lampe excimère.....	21
Figure (II.4) : Domaine d'émission des différents excimères et exciplexes.....	22
Figure (II.5) : Diagramme d'énergie potentiel du xénon.	24
Figure (III.1) : (a) Schéma de la lampe à excimère, (b) Schéma du circuit électrique équivalent à la lampe à excimère.	28
Figure III.2 : Variation temporelle des tensions	33
Figure III.3 : Variation temporelle du courant de la décharge.....	34

Figure III.4 : Variation temporelle de la densité des particules chargées	35
Figure III.5 : Variation temporelle de la densité des atomes excités	35
Figure III.6 : Variation temporelle de la densité des molécules excimères	36
Figure III.7 : Variation temporelle de la densité des photons	36
Figure III.8 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la densité initiale des électrons	37
Figure III.9 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la distance gap du gaz	38

Liste des abréviations

Abréviation	Nom complet
DBD	Décharge barrière Diélectrique
Ne	Néon
Xe	Xénon
Ar	Argon
O ₃	Ozone
Si	Silicium
Ge	Germanium
SiO ₂	Dioxyde de silicium
MgO	Oxyde de Magnésium
UV	Ultraviolet
VUV	Ultraviolet du vide
XUV	Ultraviolet extrême aux rayons X
UVC	Ultraviolet C
UVB	Ultraviolet B
UVA	Ultraviolet A
PAP	Panneaux à plasma
RVB	Rouge/Vert/Bleu

INTRODUCTION GENERALE

La technologie des plasmas est basée sur les simples principes de physique. La matière change d'état quand on lui fournit de l'énergie: elle passe de l'état solide vers l'état liquide puis du l'état liquide vers l'état gazeux. Si plus d'énergie est fournie à un gaz, il devient ionisé et passe à l'état de plasma riche en énergie, le quatrième état de la matière est créé.

Le plasma a été découvert par Irving Langmuir en 1928 et il n'est pas rare; en fait, plus de 99% de la matière visible dans l'univers est à l'état de plasma. Il peut être vu sous formes naturelles sur la terre comme la foudre, la lumière polaire dans l'Arctique et l'Antarctique, au cours d'une éclipse solaire où le plasma peut être observé comme un cercle lumineux de lumière appelé couronne autour du soleil.

A l'échelle de laboratoire le plasma est créé par décharge électrique et possède plusieurs applications dans le domaine de l'industrie tels que l'automobile, le transport, la fabrication électronique, l'emballage, sciences de la vie, les textiles et sous forme de nouvelles énergies.

L'objectif de ce travail est d'étudier les caractéristiques électriques et la cinétique chimique d'une décharge à barrière d'électrique (DBD) pour une lampe à excimère dans le mélange gazeux ; en utilisant un modèle homogène pour la colonne positive.

Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités sur le plasma, puis sur les phénomènes qui apparaissent dans un gaz lors de l'application d'un champ électrique.

Ce sont les lampes à excimères et les décharges à barrières diélectriques qui sont présentées dans le deuxième chapitre, en commençant par des généralités sur les lampes et en terminant par une description de la DBD et de la cinétique chimique.

Au dernier chapitre nous exposons les résultats du calcul des tensions et du courant de la décharge. Nous avons aussi déterminé le profil de la densité de plusieurs particules : chargées, atomes excités, molécule d'excimères et les photons. L'effet des paramètres de la densité initiale des électrons et de la distance gap du gaz sur la densité des électrons et des excimères est étudié.

Introduction

Le terme de “plasma” a été introduit en physique en 1928 par le physicien américain. Langmuir pour désigner, dans les tubes à décharge, certaines régions équipotentielles contenant un gaz ionisé électriquement neutre. Par la suite, ce mot a été utilisé, surtout en astrophysique, pour désigner un état dilué de la matière, analogue à un gaz, mais constitué de particules chargées, électrons et ions positifs, en proportions telles que le milieu soit globalement neutre. Le plus simple des plasmas est celui d’hydrogène, formé d’électrons et de protons libres en concentrations égales. Ainsi définis, les plasmas se confondent donc avec le quatrième état de la matière, faisant suite, dans l’échelle des températures, aux trois états classiques, solide, liquide et gaz, les propriétés spéciales des plasmas sont dues au long rayon d’action de la force entre particules (force coulombienne): un électron ou un ion du plasma interagit à chaque instant avec beaucoup d’autres. On peut même décrire de nombreuses propriétés des plasmas (effets collectifs) en considérant ceux-ci comme des mélanges de deux fluides continus d’électricité positive. Par suite de leur faible densité, les plasmas conservent cependant certaines propriétés des gaz (grande compressibilité, énergie interne et pression proportionnelles à la température absolue,... etc.).

La transition entre les gaz neutres et les plasmas complètement ionisés est assurée par les gaz partiellement ionisés. Par abus de langage, on donne également souvent à ceux-ci le nom de plasma dans la mesure où ils sont électriquement neutres. En fait, les propriétés mécaniques (écoulements, ondes acoustiques,.. etc.) des gaz faiblement ionisés sont analogues à celles des gaz neutres, tandis que leurs propriétés électromagnétiques (conductivité électrique, indice de réfraction, par exemple) en diffèrent par suite de la présence d’électrons libres en leur sein [1]

I.1. Le plasma :

I.1.1- Définition d’un plasma:

Le plasma est l’état de la matière le plus répandu dans l’univers. Il entre dans la composition des étoiles, des ionosphères et des magnétosphères, ainsi que dans la composition des décharges électriques naturelles (foudre) ou créées par l’homme (lasers, lampes, arcs, etc...).

On peut dire que le plasma est une collection de particules chargées, localisées dans l’espace, avec la densité des charges positives à peu près égale à la densité des charges négatives. Les charges positives sont généralement des ions, atomique ou moléculaire d’où on a enlevé un ou plusieurs électrons.

Les charges négatives sont généralement des électrons, mais dans certains milieux, on peut rencontrer des espèces électronégatives [2]

Si nous prenons un élément de la matière à son état solide et nous commençons à le chauffer, nous retrouverons son évolution comme le montre le schéma de la figure I.1. Cet élément passe graduellement par son état liquide, ensuite à l'état gazeux, puis au plasma. Pour cette raison le plasma est appelé souvent « le quatrième état de la matière » [3].

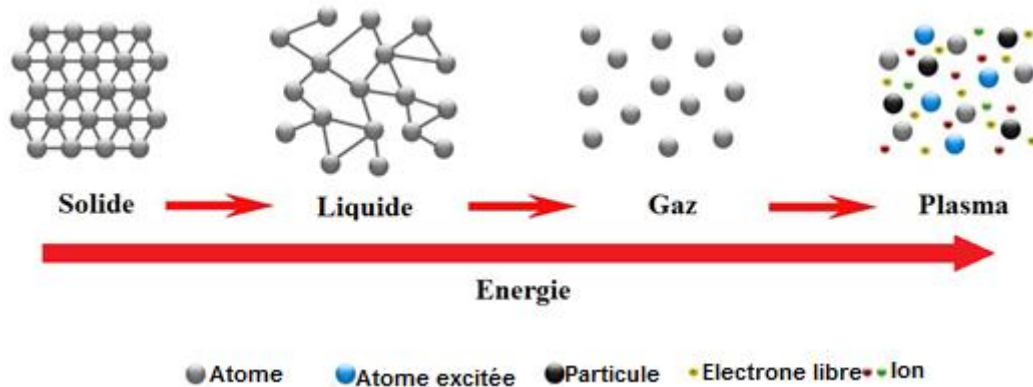


Figure (I.1): Evolution de l'état de la matière avec l'énergie

A la différence des transitions de phase brusque : solide – liquide, liquide – gaz, le passage à l'état ionisé est une transformation continue, de sorte que le degré d'ionisation n_i/n_0 , c'est à dire le rapport de la densité ionique n_i à la densité des atomes neutres n_0 constitue une fonction lisse de la température. Même dans la flamme d'une bougie il y a un petit nombre d'électrons, mais cette flamme ne peut pas être considérée comme un véritable plasma.

Il s'ensuit donc que la définition du plasma doit s'accompagner encore d'une caractéristique quantitative qui indiquerait à partir de quelle densité des particules chargées le gaz ionisé peut être considéré comme un plasma [4].

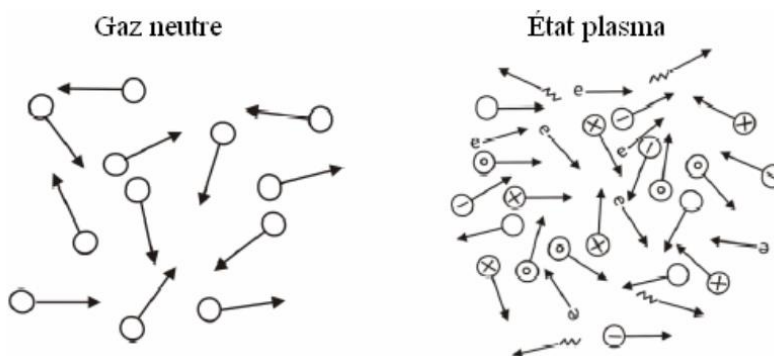


Figure (I.2): Schéma de différence entre gaz neutre et plasma [5]

I.1.2 Catégories de plasma :

- Les plasmas chauds (dit aussi plasma de fusion) où la température dépasse 10^6 K, il peut être complètement ionisé. Les plasmas de fusion sont l'objet du pari ambitieux des scientifiques de réaliser un réacteur nucléaire (tokamak) utilisant l'énergie de fusion entre des noyaux légers de deutérium et de tritium. La température de ces plasmas se chiffre en millions de degrés [6].

- Les plasmas froids sont des milieux faiblement ionisés dont lesquelles la température des particules ne dépasse pas quelque dizaines de milliers de degrés kelvin. Dans les plasmas froids, et $T_e \approx T_n \approx T_i$ hors d'équilibre où les électrons ont des températures beaucoup plus élevées que celles des particules lourdes, $T_e \gg T_n T_i$. A cause de leur grande mobilité, les électrons sont accélérés dans le champs électrique et acquièrent une énergie cinétique importante, alors que les particules lourdes gardent une température ambiante. Les électrons peuvent céder une partie de leur énergie cinétique aux particules lourdes par l'intermédiaire des collisions élastiques [3].
- Les "plasmas thermiques" (arc électrique): on distingue les plasmas thermiques où toutes les espèces de particules (électrons, ions, atomes et molécules) ont des températures voisines, Les électrons, les ions et les neutres ont une température voisine de 10000 à 30000 ° K. Le gaz est presque totalement ionisé (Equilibre thermique)[7].

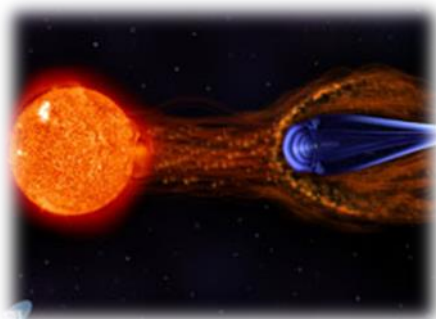
1.1.3 Types de plasma :

1.1.3.1 Plasmas naturels :

Les plasmas sont toute fois très répandus à travers l'univers, représentant près de 99% de la matière visible : étoiles, nébuleuses, quasars. Très peu répandu sur Terre, puisque très peu propice à la vie, on observe cependant des manifestations maîtrisées de plasma dans des objets de la vie quotidienne : téléviseurs, tubes à néon, boules ionisantes qui eurent un grand succès décoratif dans les années 90 [8].

❖ Le vent Solaire :

Le soleil produit en permanence un vent solaire. Ce flux permanent de particules ionisées éjectées dans l'espace varie en vitesse et en température au cours du temps en fonction de l'activité solaire [9]



Figure(1.4) : Le vent solaire est un flux de plasma [9]

❖ La Magnétosphère :

La magnétosphère est l'interface entre le milieu interplanétaire et la haute atmosphère terrestre. C'est une vaste région évoluant sous le contrôle du champ magnétique terrestre. La

magnétosphère est remplie d'un plasma sans collision, continuellement hors équilibre thermodynamique, turbulent, instable, qui subit des reconfigurations globales quasi-quotidiennes. La magnétosphère a une seule manifestation visuelle, mais de grande qualité esthétique : les aurores polaires. [10]

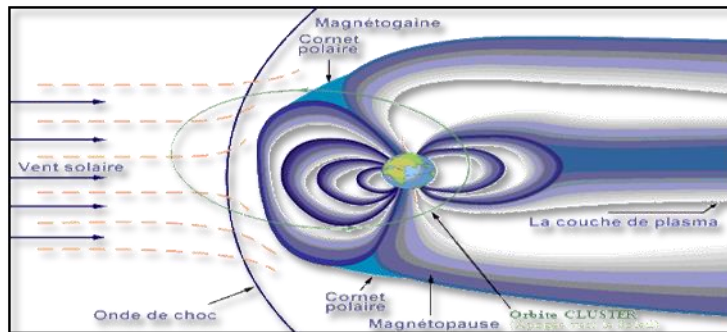


Figure (I.5) : Magnétosphère d'une planète plongée dans le vent solaire [10]

❖ Les aurores polaires :

La reconfiguration de la magnétosphère, décrite précédemment, se traduit par l'apparition des aurores polaires, le plasma solaire arrive dans l'atmosphère terrestre à très grande vitesse. Les particules de ce plasma (électrons et protons) entrent en collision avec les atomes et les molécules neutres que recèle notre ionosphère, provoquant l'excitation et éventuelles l'ionisation de ces derniers [11]



Figure(I.6) : Les aurores polaires [12]

❖ Les éclaires :

On appelle éclair, le phénomène lumineux naturel accompagné de coups de tonnerre, qui se produit au cours des orages.

Lorsque de l'électricité statique accumulée dans le ciel se décharge brusquement, les gaz de l'atmosphère sont chauffés et ionisés. Il y a formation d'un plasma et émission soudaine de lumière sous la forme d'éclairs[13]



Figure(I.7) : Les éclaires. [13]

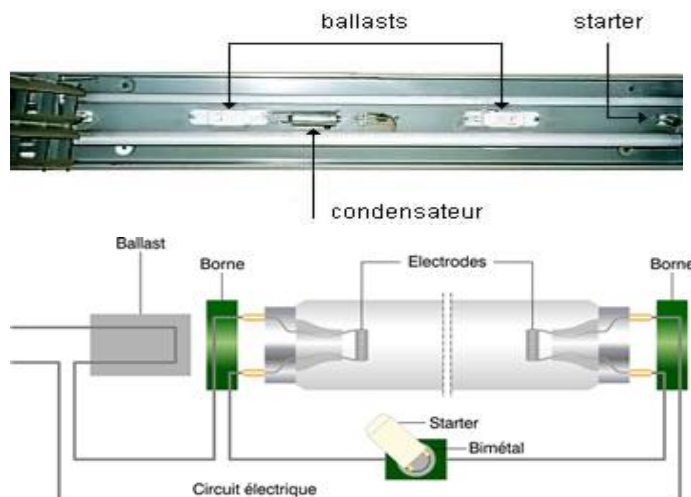
I.1.3.2 Plasmas de Laboratoire :

❖ Lampes fluorescentes :

Les lampes fluorescentes font partie des lampes à décharge. Elles fonctionnent par décharge d'un courant électrique dans une atmosphère gazeuse. Les lampes fluorescentes utilisent de la vapeur de mercure sous basse pression.

Lorsqu'on met le tube sous tension, des électrons sont émis par les deux électrodes de tungstène. Lors de leur trajet au travers du tube, ils entrent en collision avec les atomes de mercure. Il en résulte une libération d'énergie sous forme de rayonnement ultraviolet invisible. Ce rayonnement est absorbé par la couche fluorescente présente sur la face interne du tube et converti en rayonnement visible.

La composition chimique de la couche fluorescente placée à l'intérieur du tube influence la couleur de la lumière émise et l'indice de rendu des couleurs de la lampe [14]



Figure(I.8) : Principe de la lampe fluorescente. [14]



Figure(I.9) : Lampes fluorescentes [15]

❖ Ecrans plasmas :

Un écran plasma est un écran plat dont l'allumage des pixels est réalisé par l'excitation électrique d'un gaz (Argon ou Xénon). Il est constitué d'un ensemble de pixels emprisonnés entre deux substrats en verre. Chaque pixel est composé de 3 cellules gazeuses chacune recouvertes des 3 couleurs primaires (Rouge/Vert/Bleu soit RVB). Chaque cellule dispose de deux électrodes connectées. L'application d'un signal électrique entre ces deux électrodes provoque une décharge électrique dans le gaz entraînant l'émission d'une lumière ultraviolette qui sera convertie en lumière visible grâce aux luminophores (rouge, verte ou bleue). [16]



Figure (I.10): Ecrans plasma [17]

❖ Tokamak :

Un tokamak est en fait un transformateur dans lequel le secondaire est un anneau de plasma traversé par un courant électrique très important, quelques millions d'Ampères, et maintenu en lévitation dans une chambre à vide torique par un champ magnétique toroïdal très intense, supérieur à 4 teslas[18]

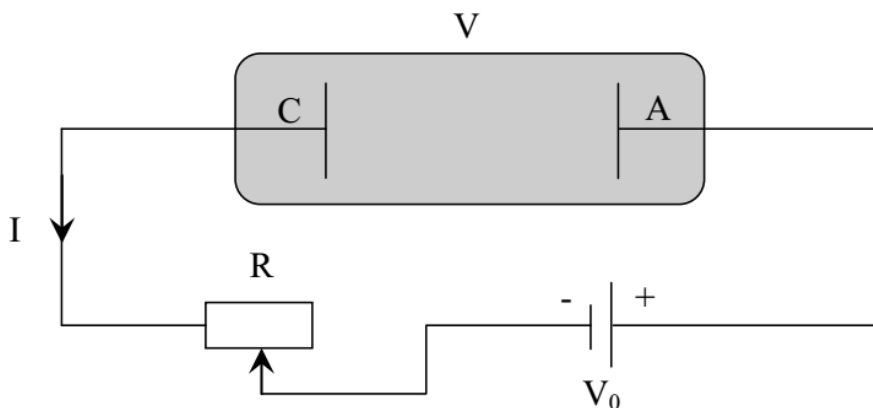


Figure (I.11) : Tokamak [18]

1.1.4. Formation du plasma:

Description macroscopique :

Considérons un gaz à une pression P compris entre deux électrodes métalliques planes parallèles séparées par une distance d . Une tension V est appliquée entre les deux électrodes. Les gaz étant de bons isolants, aucun courant ne le traverse. Des instruments perfectionnés peuvent détecter un courant de l'ordre de 10^{-15} A dûs aux charges générées par les rayons cosmiques ou la radioactivité. Mais si la tension dépasse une valeur critique V_d dite tension disruptive, il y a claquage : on mesure brutalement une intensité dans le circuit et on observe une émission lumineuse. Tant que la source ne limite pas le courant, le gaz reste conducteur; une décharge électrique autonome a lieu. La valeur de la tension disruptive est donnée par la courbe de Paschen qui est une fonction du produit de l'épaisseur d par la pression P et dépend de la composition du gaz. 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 multiplie en produisant une ionisation partielle du gaz [19].



Figure(I.12) : Circuit d'alimentation d'un tube à décharge [19].

1.1.5. Paramètres physiques fondamentales dans les plasmas :

Les milieux plasmas n'ont pas les mêmes caractéristiques et peuvent être ainsi classifiés en fonction de certains paramètres précis. Ces paramètres sont essentiellement :

➤ *Densité électronique :*

La densité électronique n_e , est le nombre d'électrons libres par unités de volume (cm^{-3}).

➤ *Taux d'ionisation :*

Le taux d'ionisations τ_i représente le rapport du nombre d'électrons libre n_e sur le nombre de particules totales $n_e + N$, où N est le nombre de particules neutres par unité de volume. Le taux d'ionisation est alors donné par :

$$\tau_i = \frac{n_e}{n_e + N} \quad (I.1)$$

On utilise également le rapport n_e / N qui traduit l'importance des collisions entre particules chargées par rapport aux collisions entre particules chargées et neutres.

➤ *Température électronique :*

T_e , est la température électronique qui correspond à la température absolue en Kelvin (K) des électrons. On utilise aussi parfois l'énergie électronique kT_e (en électronvolt eV) avec k la constante de Boltzmann, sachant que $1 eV = 11600 K$.

➤ *Libre parcours moyen :*

Le libre parcours moyen λ correspond à la distance moyenne parcourue par une particule chargée entre deux collisions. Il dépend de la vitesse des particules, ainsi que de la probabilité de collision.

➤ *Longueur de Debye :*

Dans un plasma, une particule chargée va attirer autour d'elle des charges de signe opposées qui vont écranter son potentiel. La sphère de particules de signe opposées qui se forme autour de la particule chargée est appelée sphère de Debye et son rayon est appelé longueur de Debye.

La longueur de Debye λ_D définit la longueur à partir de laquelle le champ électrique Coulombien issue d'une particule chargée est neutralisé par un ensemble de particules de signe opposées dans le volume environnant. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\lambda_D = \left(\frac{2\varepsilon_0 k T_e}{n_e q_e^2} \right)^{1/2} \quad (I.2)$$

Avec ϵ_0 la permittivité du vide ($8,84 \times 10^{-12} \text{ F/m}$) et q la charge élémentaire d'un électron ($1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) [20]

1.1.5.6. Fréquence plasma :

Le comportement collectif des plasmas se manifeste lorsqu'on écarte le plasma de l'équilibre. Cette réponse se fait à la fréquence plasma électronique :

$$\omega_e = \sqrt{\frac{n_e q_e^2}{\epsilon_0 m_e}} \quad (1.3)$$

Avec n_e densité électronique et m_e masse de l'électron [1].

1.1.6. Domaines d'applications industrielles du plasma :

❖ *Mécanique*

Couches dures, couches anti-usure, couches anti-frottement.

❖ *Métallurgique*

Films protecteurs, anticorrosion, métallisation sur isolant, passivation, oxydation, nitruration.

❖ *Décoration*

Préparation de la surface en vue de son traitement.

❖ *Optique*

Dépôt antireflet, couches protectrices, couches à conduction électrique contrôlée.

❖ *Textile*

Ennoblement de tissu, nettoyage, fonctionnalisation de surface, greffage.

❖ *Microélectronique*

Fabrication de circuits intégrés (succession d'étapes gravure/dépôt/dopage/encapsulation)
Elaboration de motifs de très faible dimensionnalité, de facteur de forme élevé (rapport hauteur/largeur).



Figure (1.13) : Circuit Microélectronique[21]

❖ *Micro technologies*

Elaboration de micro-dispositifs et microsystèmes: micro-capteurs, micro-actionneurs, micro pompes, grâce aux techniques utilisées en microélectronique.

❖ *Sources lumineuses*

Analyse quantitative, Ecran plat à plasma (micro-décharge de cellules de panneaux à plasma).

❖ *Détoxication*

Dépollution des gaz.

❖ *Stérilisation*

Stérilisation à température ambiante d'instruments, d'emballages. [22]



Figure (I.14) : Stérilisateur à Plasma.(Pour instruments médicales)[23]

I.1.7. Phénomènes dans le plasma :

I.1.7.1 Les décharges électriques :

a). historique :

L'étude scientifique des décharges électriques a commencé au XVIII^e siècle par l'observation expérimentale d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des éclairs des orages. Ensuite l'invention de piles suffisamment puissantes a permis à V.V. Petrov de produire le premier arc électrique en 1803 dans l'air. Humphrey Davy en fit ensuite l'étude. Mais ce fut Michael Faraday qui, entre 1831 et 1835, découvrit et commença l'étude des décharges luminescentes en utilisant des tubes contenant des gaz à une pression de l'ordre de 100 Pa sous 1000 V. Par la suite, à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle, la physique des décharges électriques dans les gaz a permis à la physique atomique de faire ses premiers progrès avec les travaux de William Crooke et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge. Vers 1900, un élève de Thomson, Townsend, réalisa la première modélisation d'une décharge, correspondant au cas de la décharge luminescente en champ uniforme. Langmuir travailla aussi sur les décharges et introduisit le concept de plasma. Au cours du XX^{ème} siècle on passa à l'exploration des décharges en fonction de la fréquence, tandis que la modélisation progressait en raison du développement d'applications de plus en plus nombreuses des décharges. Le mot « plasma » apparaît lui même dans les années 1920, sous la plume de l'Américain I. Langmuir, qui étudie la décharge dans les gaz. [24].

b). Définition :

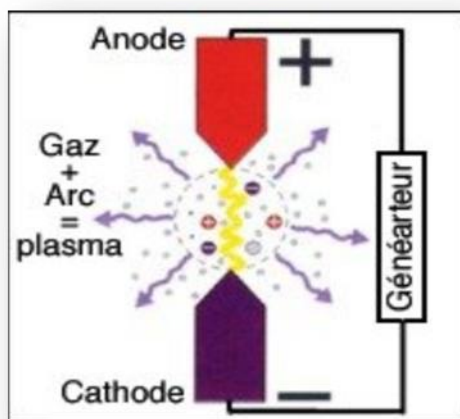
On sait que les gaz sont généralement des bons isolants néanmoins, sous certaines conditions, il est possible de les faire traverser par un courant de particules chargées, on dit alors que le gaz est le siège d'une décharge. On entend alors par décharge électrique l'ensemble des phénomènes qui accompagnent le passage d'un courant électrique dans un milieu gazeux. Les premières études sur les décharges effectuées par le physicien Britannique Michael Faraday.

Le gaz que nous désirons ioniser, est injecté dans une enceinte confinée sous vide partiel ou à pression atmosphérique. Le plasma est ensuite généré par l'action d'une décharge électrique dans le gaz, qui a pour rôle de transférer de l'énergie à ce gaz pour l'exciter et l'ioniser. En effet, du fait de leur faible masse, les électrons libres récupèrent l'essentiel de cette énergie et provoquent, par collisions avec les particules lourdes du gaz, leur excitation et ionisation et donc l'entretien du plasma. Une décharge, c'est une conversion rapide de l'énergie électrique en énergie cinétique, puis en énergie d'excitation et d'ionisation des atomes et des molécules [25].

c). Méthodes d'obtention :

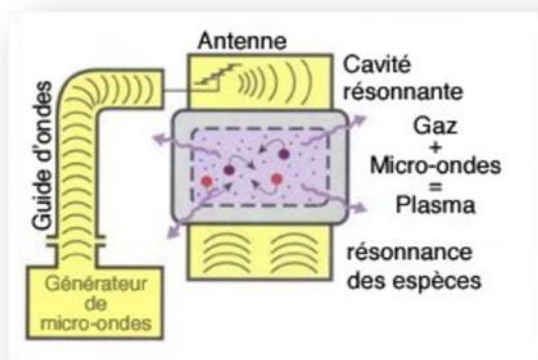
La décharge électrique s'obtient de diverses manières :

Soit par un système avec électrodes sous un champ électrique important. Il s'agit des décharges en courant continu (décharges lumineuses et décharges couronnes).



Figure(I.15) : Décharge encourant continu [19]

Soit par un système sans électrodes sous un champ électromagnétique variable de type basses fréquences, radiofréquences (à couplage capacitif ou inductif) ou micro-ondes.



Figure,(I.16) : Décharge sans électrodes [19].

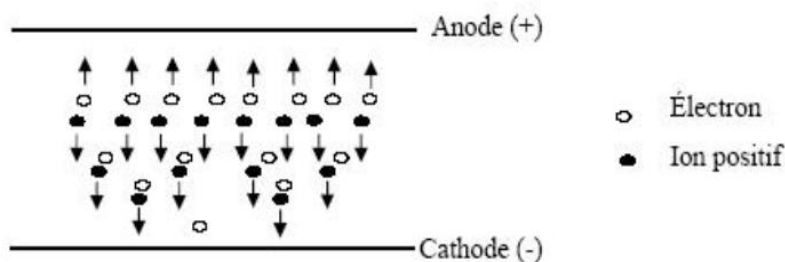
Si la décharge alimentée en continu ou en radiofréquences est accompagnée d'un champ magnétique, on a une décharge de type magnétron. La présence d'un champ magnétique intense dans un champ électromagnétique micro-ondes conduit à un processus d'excitation du plasma à la résonance cyclotronique électronique [19].

1.1.7.2. Mécanismes de formation et processus physiques des décharges électriques :

Un électron placé dans un champ électrique uniforme ($E = V/d$, où V est la différence de potentiel appliquée entre deux électrodes de distance d) est accéléré et peut ioniser des atomes ou des molécules, tel que $A + e^- \rightarrow A^+ + 2e^-$. L'ionisation d'une espèce conduit donc à la formation d'une particule chargée et à la libération d'un électron supplémentaire, qui à son tour va être accéléré et acquérir une énergie suffisante pour ioniser une seconde particule. Ce mécanisme d'ionisation successive est connu sous le nom « d'avalanche électronique » ou « décharge de Townsend » [20]

C'est ce phénomène, qui provoque un accroissement exponentiel de la densité de charge électronique lorsqu'on s'éloigne de l'électrode. Ceci est montré sur la figure (I.17).

Pour que la décharge soit auto-entretenu, il est nécessaire que tout électron qui quitte la zone d'ionisation soit remplacé. Chaque électron doit créer suffisamment d'ions positifs, de photons et d'espèces métastables pour qu'au moins l'un d'eux puisse produire un nouvel électron. Sous l'influence du champ électrique appliqué, toutes les particules ainsi créées vont se déplacer dans l'espace inter-électrodes et générer un courant électrique, le courant de décharge [26].



Figure(I.17) : Avalanche électronique [27].

Cette avalanche peut être étudiée quantitativement à partir de la connaissance du coefficient α , dit premier coefficient d'ionisation de Townsend. α , représente le nombre d'électrons (ou d'ions positifs) créés par un électron par élément de longueur le long d'une ligne de force du champ appliqué [28].

Une expression empirique exploitable considère que l'énergie thermique des électrons est acquise par le travail du champ électrique sur une distance de l'ordre du libre parcours moyen. Or ce dernier est inversement proportionnel à la pression. Donc, en introduisant les constantes A et B déterminées expérimentalement, on a [26] :

$$\alpha = AP \exp\left(-\frac{BP}{E}\right) \quad (I.4)$$

P : la pression.

E : le champ électrique appliqué.

α : le premier coefficient d'ionisation de Townsend.

A et B sont deux constantes positives relatives au gaz utilisé.

1.1.7.3. La structure spatiale de la décharge :

En régime luminescent normal, la décharge est structurée en une succession de couches sombres et lumineuses, représentées dans la figure (I.18), de la cathode vers l'anode, se succèdent :

- La chute cathodique, caractérisée par un champ électrique intense puisque la plupart de la tension appliquée aux bornes des électrodes est localisée dans cette région. Elle est constituée de l'espace sombre d'Aston, de la gaine cathodique et de l'espace sombre d'Hittorf
- La lueur négative.
- L'espace sombre de Faraday.
- La colonne positive. Région à champ électrique faible, si la distance inter-électrodes est suffisamment grande (cette région sera étudiée dans notre travail).
- La zone anodique, comprenant la lueur anodique et l'espace sombre anodique.

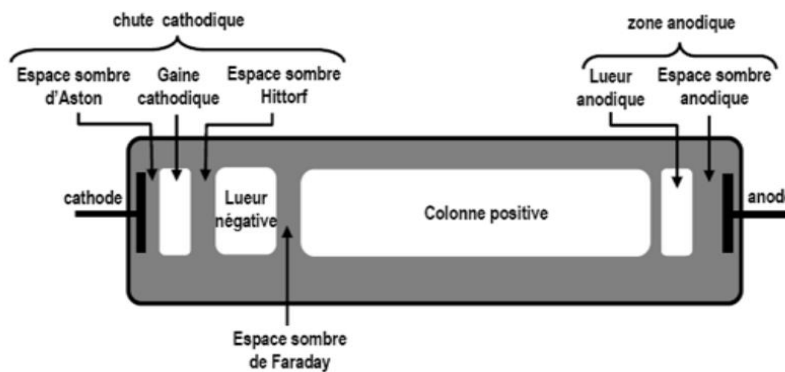


Figure (I.18) : Structure d'une macro-décharge à basse pression générée entre deux plans parallèles, et fonctionnant en régime luminescent normal[29].

Si la distance inter-électrodes diminue à pression constante, la colonne positive se rétrécit puis finit par disparaître, alors que les dimensions des autres zones restent inchangées. Si la pression augmente pour une distance inter-électrodes fixée, toutes les zones lumineuses et sombres s'affinent et se déplacent vers la cathode [30].

1.1.7.4. Le Claquage dans les gaz :

Le claquage électrique, visible à l'œil nu par l'étincelle ou la décharge produite, correspond au moment où le champ électrique dépasse la valeur seuil nécessaire à l'amorçage de la décharge [26] .

Les plasmas peuvent être générés en faisant passer un courant électrique à travers un gaz. Comme les gaz à température ambiante sont d'excellents isolants, il convient de générer un nombre suffisant de porteurs de charge pour rendre le gaz conducteur. Cela est connu sous le nom de phénomène de claquage électrique et peut être accompli de différentes manières (le claquage crée un chemin conducteur entre une paire d'électrodes et induit une décharge dans le gaz) [31]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le plasma, sa formation, ces catégories, ces différents types et les décharges électriques et notamment on a cité les domaines d'applications industrielles des plasmas.

Introduction

Un gaz est constitué d'un grand nombre de particules de différents types, atomes, molécules, ions, électrons en agitation incessante [28]. En l'absence de champ électrique, les particules de gaz sont soumises à l'agitation thermique, et subissent une multitude de chocs. Ces chocs peuvent être élastiques, sans transfert d'énergie de la particule incidente vers la particule cible, ou parfois non-élastiques, avec transfert total ou partiel d'énergie. Ces chocs ont pour cause des agents extérieurs tels que la radioactivité terrestre et atmosphérique, ainsi que les différents rayonnements cosmiques [32].

II.1. Décharge à barrière diélectrique (DBD) :

Les décharges contrôlées par barrière diélectrique (DBD) ont été proposées par Siemens [32] en 1857. Historiquement, ce type de décharge a d'abord été qualifié de "décharge silencieuse" par Andrews et Tait dès 1860, et le terme est encore rencontré de nos jours.

Elle servait initialement pour la production d'ozone. Avec le temps, la gamme d'application de ces décharges est devenue plus vaste, parmi les ces applications nous citons : le traitement de surface, les écrans plasma, le contrôle de l'écoulement, la dépollution, le dépôt de couches minces [33, 34, 35].

En 1932, Buss découvrit le caractère filamentaire des DBD à pression atmosphérique, c'est-à-dire le fait qu'elles sont constituées de micro-décharges d'environ 100 μm de rayon et d'une durée de quelques dizaines de nanosecondes. Ce caractère filamentaire de la décharge peut présenter des inconvénients dans des applications telles que le traitement de surface [36].

Pourtant, le procédé corona qui utilise une DBD filamentaire est utilisé depuis plus d'une trentaine d'années pour le traitement de surface c'est même la technique la plus répandue pour la modification de surface dans l'industrie des films plastiques et des fibres [37].

II.1.1. Définition :

On appelle "décharge à barrières diélectriques", le type de décharge dans un gaz caractérisé par la présence d'au moins une épaisseur de matériau diélectrique dans le gap [38].

Les applications des DBD concernent actuellement et principalement les traitements chimiques à pression atmosphérique: génération d'ozone, traitements de surface, dépôt de

couches minces [39,40] et la génération de photons UV pour les panneaux à plasma [41] [42], les lampes à excimères, etc. Il est possible de générer des DBD dans une gamme élevée de pressions et pour différentes natures de gaz. La capacité du diélectrique limite le courant électrique dans le système, permettant ainsi la génération d'un plasma froid même à pression atmosphérique. Dans ces conditions le régime de fonctionnement dominant des DBD est filamentaire [43]. Les charges s'accumulent sur le diélectrique limitent l'extension des micro-décharges, empêchant la formation d'arcs électriques, de plus le diélectrique permet la distribution des micro-décharges de manière quasi uniforme sur la surface de la décharge [44]. Si le régime filamentaire des DBD est majoritairement observé, il est toutefois possible d'obtenir une DBD homogène à haute pression [45,46]. Des DBD homogènes ont été obtenues notamment par pré-ionisation, permettant à la décharge de s'étendre spatialement au lieu de former une micro-décharge [47,48]. Les DBD ne peuvent être alimentées que par des signaux alternatifs, le couplage capacitif du diélectrique rendant le système électrode-diélectrique semblable à une capacité [46]. Les signaux peuvent être de différentes formes : sinusoïdaux carrés ou impulsionnels [45]

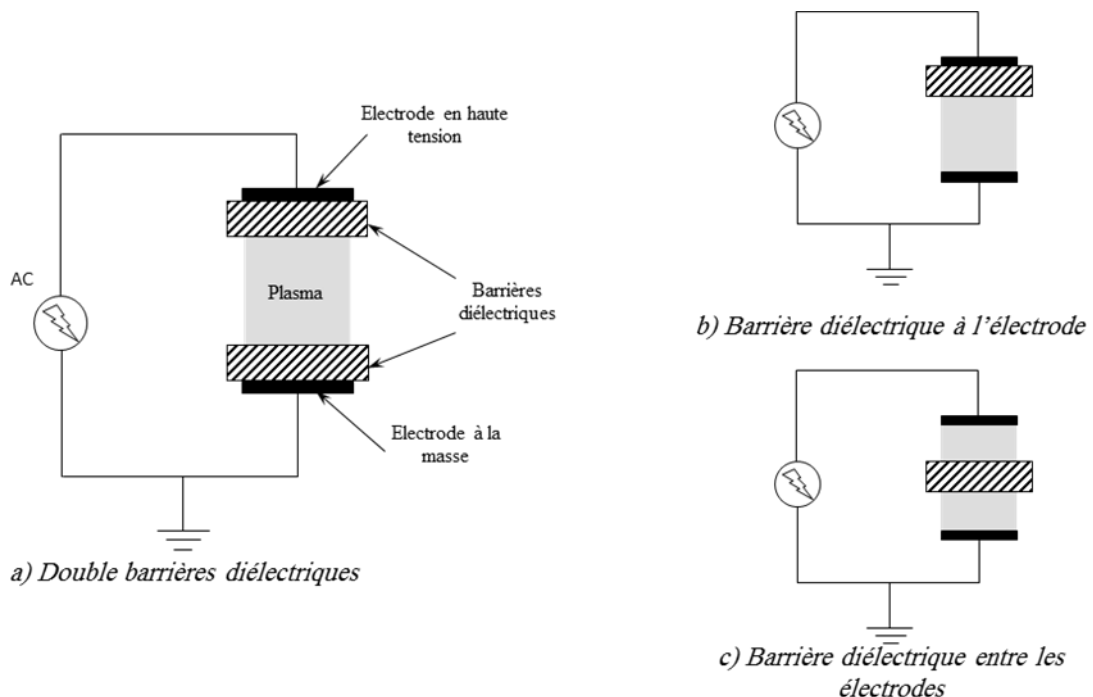


Figure (II.1) : a) Double barrières diélectrique, b) Barrière diélectrique à l'électrode, c) Barrière diélectrique entre l'électrode [27].

II.1.2 Application des DBD :

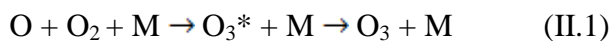
Toutes les applications utilisant les DBD s'appuient en général sur des processus similaires. En effet, l'application d'un champ électrique initie la décharge dans laquelle se forment des particules chargées, des espèces excitées et des radicaux

libres. Les réactions issues de la présence de ces espèces instables conduisent à des changements chimiques dans la composition du gaz ou sur objets placés au contact de ce gaz [39] .

II.1.2.1. Génération d'Ozone :

La première et la plus importante des applications des DBD est la génération d'ozone provenant du traitement de l'air ou de l'oxygène.

La synthèse de l'ozone dans les DBD est réalisée par la réaction chimique :



Avec :

- M peut être une molécule d'oxygène ou une molécule d'azote si l'air est utilisé ;
- O_3^* désigne une molécule d'ozone dans un état excité.

Il est à noter que cette réaction est favorisée par des pressions élevées (1–3 bars) et de basses températures du gaz [49].

II.1.2.2 Traitements de surface

L'utilisation des DBD pour les traitements de surface couvre un large intervalle. Nous pouvons en citer entre autres les applications suivantes :

- Modification des propriétés de la surface d'un matériau ;
- Amélioration des propriétés d'adhésion, de mouillabilité,
- Traitement des textiles ;
- Traitement de polymères, dépôt de SiO_2 ;
- Nettoyage de surfaces (silicium, aciers...) ;
- Désinfection, stérilisation [50].

II.1.2.3. Les écrans plasmas (PAP: Panneaux à plasma) :

Les afficheurs à écran plasma utilisant le rayonnement VUV à xénon pour exciter le phosphore. Cette idée est l'œuvre de deux professeurs de l'Université de l'Illinois, Bitzer et Slottow et fut inventée en 1964. Un afficheur à écran plasma est constitué de deux verres plats séparés par un gap d'environ 100 μm rempli d'un mélange de gaz rare (généralement Ne/Xe ou Ne/Xe/He) capable d'émettre des rayonnements UV

Cette technique est aussi utilisée dans les lampes à excimère destinées à l'éclairage [51].

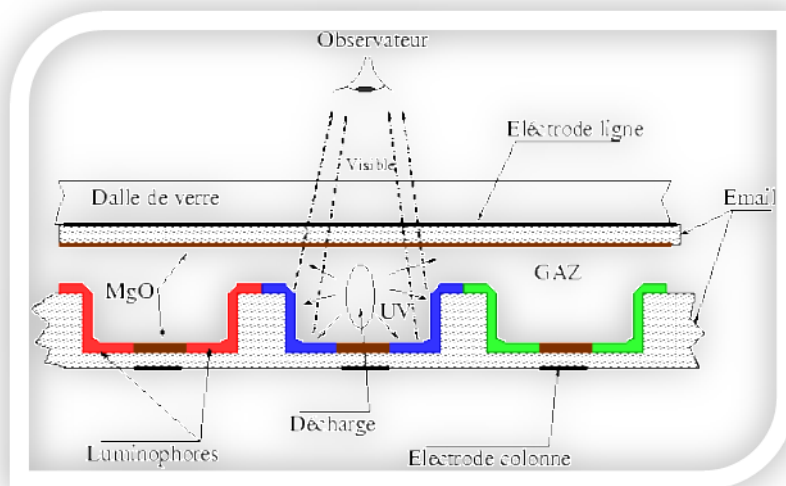


Figure II. 2 : Coupe transversale d'un écran à plasma à géométrie matricielle. La décharge s'effectue entre une électrode ligne et une électrode colonne. La largeur d'une cellule est comprise entre 125 μm pour un écran 19 pouces et 310 μm pour un écran 24 pouces [52].

II.2.Lampes à excimère :

II.2.1. Définition d'une lampe à excimère:

Les lampes excimères sont de nouvelles sources d'UV capable de délivrer une haute puissance, une haute efficacité et une gamme de radiations entre 354 nm et 126 nm, ces lampes permettent de choisir des radiations UV intense à des longueurs d'onde spécifique qui peuvent générer sélectivement certaines radiations. Cependant quelques lampes sont facilement utiliser pour la chimie industrielle et la photo-physique tel que modifier les surfaces, la photo-déposition des films minces et la photo dégradation d'une variété de polluants.

Quand les DBD sont actionnés à haute pression en gaz rares ou mélanges gaz rares/halogène, chaque micro-décharge peut agir en tant que source intense des radiations UV ou VUV. Pendant les dernières décennies des lampes puissantes et efficaces à excimère ont été développées et ont trouvées plusieurs applications industrielles dans les processus induisant les radiations UV et VUV [53].

Pour des applications industrielles à grande échelle, la DBD utilisant des configurations assez simples de décharge représente actuellement la technologie des lampes à excimère la plus importante.

Leurs principaux avantages sont :

- La simplicité.

- Le rendement élevé.
- Le prix et taux de pollution réduit.

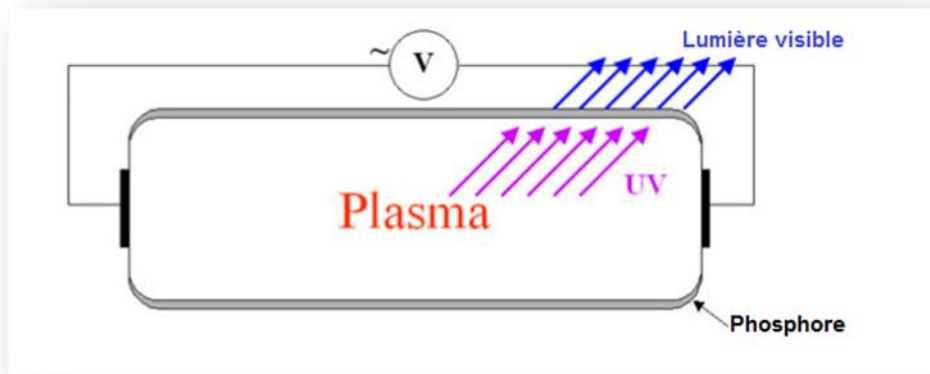


Figure (I.3) : Principe de la lampe excimère [27]

II.2.2. Les applications des lampes à excimère :

Les applications les plus récentes des lampes à excimère incluent le traitement par radiations UV des polymères photo-réactive, la photo déposition de grandes surfaces des couche minces de métal ou de semi-conducteur et des couches d'isolation à constante diélectrique élevées et basses, la photo assistance d'oxydation à basse température de Si, de SiGe et de Ge, la gravure des polymères et la micro structuration des surfaces des polymères. Les applications étudiées jusqu'ici démontrent clairement que les systèmes des lampes à excimère d'alimentation électrique élevée peuvent fournir une alternative intéressante aux lasers à excimère pour le traitement industriel des matériaux à basse température [53]

D'autres applications des lampes à excimère concernent les points suivants :

- ❖ *Inactivation UV des systèmes biologiques.*
- ❖ *Photothérapie UV des maladies de la peau.*

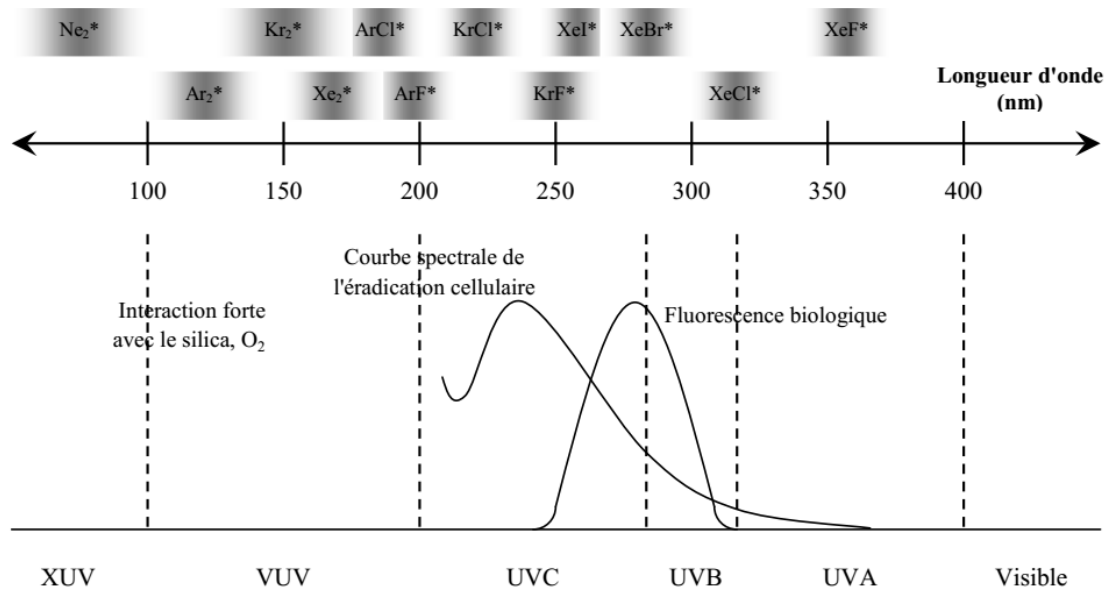


Figure (II.4): Domaine d'émission des différents excimères et exciplexes [27]

La gamme des rayonnements UV est subdivisée en plusieurs catégories:

Les **XUV**, qui correspond à des longueurs d'onde proches de celles des rayons X. Ils s'étendent de quelques nanomètres à 100nm.

Les **VUV** sont des rayonnements ultraviolets présentant une forte interaction avec l'oxygène. Ils ne se propagent donc pas dans l'air et leur appellation est liée à leur utilisation généralement sous vide. La gamme de longueur d'onde qu'ils couvrent commence à la limite des XUV et s'arrête à 200nm.

Les **UVC**, entre 200nm et 280nm : ils se propagent dans l'air mais n'y sont pas naturellement présents puisque ceux produits par le soleil sont arrêtés par la couche d'ozone atmosphérique.

Les **UVB**, entre 280nm et 315nm : ils traversent la couche d'ozone et sont donc présents à la surface de la terre. Ce sont les responsables majeurs de l'érythème (coup de soleil).

Les **UVA**, entre 315nm et 380nm (limite du domaine visible) : ils interviennent dans la pigmentation de la peau suite à une exposition au soleil (bronzage).

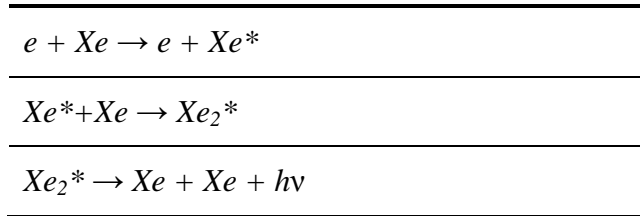
En fonction de la nature du mélange de gaz dans lequel s'établit la décharge, le rayonnement des excimères et des exciplexes couvre une vaste gamme de longueur d'onde qui s'étend des UV proches aux UV lointains comme indique la figure II.4 [27].

II.2.3 Excimère :

L'excimère, qui doit son nom à la contraction en anglais de « excited dimmer », est une molécule excitée et instable, formée par deux atomes d'un gaz rare. Cette molécule libère une énergie en forme de photon, lors de son retour à l'état fondamental (deux atomes), avec une longueur d'onde qui dépend du gaz [27 ,55].

Si nous prenons le cas du Xe, les réactions présentées dans le tableau II.1, sont celles qui vont créer l'excimère et ensuite rayonner dans l'UV :

Tableau II.1 Réactions présentes dans le Xe pour la production de l'UV à 173 nm



Initialement, un électron énergétique généré par le courant électrique de décharge, rentre en collision avec un atome de Xe, produisant un Xe excité ou «Xe*» (présentant une énergie supérieure à celle de l'état fondamental).

- Ensuite, il y a une association entre le Xe* et un atome de Xe, qui génère l'excimère «Xe₂*». Cette espèce excitée à une énergie plus grande que celle de la somme de deux atomes de Xe.
- Finalement, l'excimère Xe₂* revient à son état fondamental (deux atomes de Xe), libérant le surplus d'énergie $\Delta E = E_i - E_f$ sous forme de photon. Le calcul de la longueur d'onde rayonné se fait avec l'équation (II.1), où h est la constante de Plank et c est la vitesse de la lumière [45].

$$\lambda = \frac{hc}{\text{Energie}} \cong 173nm \quad (II.1)$$

II.2.4. Formation des excimères :

Le terme excimère est généralement réservé aux molécules homo-nucléaires A₂*, le terme exciplexe étant consacré aux molécules hétéro-nucléaires.

Dans les gaz rares la création de molécules excimères passe par des collisions à trois corps :



II.2.5. Niveaux atomiques et moléculaires du xénon:

Sur la figure (II.5) sont représentées les courbes de potentiel de la molécule de xénon Xe₂* pour les différents états impliqués dans l'émission de la décharge électrique dans une lampe à plasma. Les questions relatives à l'émission des gaz rares dans l'ultraviolet, aux potentiels d'interaction diatomiques dans l'état fondamental et aux divers états excités des gaz rares

diatomiques ont fait l'objet de beaucoup de travaux expérimentaux et théoriques. Excepté un minimum de Van der Waal très faible, l'état fondamental de la molécule Xe_2^* est dissociable [24].

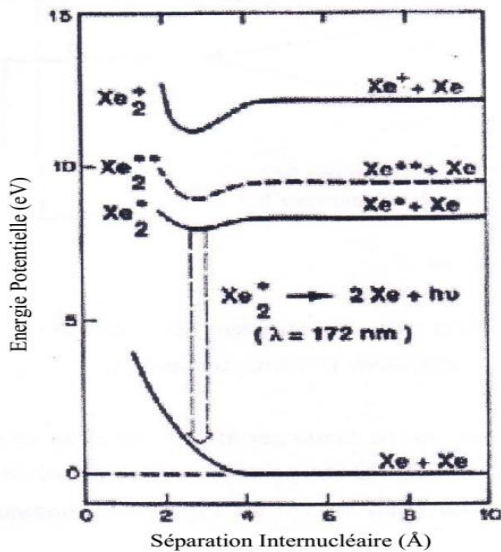


Figure (II.5) : Diagramme d'énergie potentiel du xénon [24]

II.2.6. Cinétique et émission UV du xénon :

II.2.6.1. Émissions du mélange Ne/Xe :

L'émission du xénon est le fait de la désexcitation des états d'énergie dits « résonants » et « métastable ». Un état résonant d'un atome de gaz rare (noté 3P_1) est un état excité qui ne peut se désexciter spontanément que vers le niveau fondamental ; un photon émis lors de cette transition peut être absorbé par un autre atome, provoquant l'émission d'un autre photon, lui-même absorbé et ainsi de suite. Un tel photon n'atteindra la couche de luminophores qu'après de multiples réémissions.

Un état métastable est un état d'énergie dans lequel l'atome peut subsister pendant un temps relativement « long » (par rapport aux échelles de temps des phénomènes atomiques) mais qui n'est pas l'état fondamental.

1.2.6.2 Émission VUV : espèces considérées

Dans le mélange Ne/Xe deux états peuvent être distingués : les états moléculaires et les états atomiques excités (niveaux résonant et métastable). L'état d'énergie résonant est directement responsable de l'émission VUV à 147nm par désexcitation directe vers le niveau fondamental.

Le niveau métastable entraîne la formation d'excimères, états moléculaires excités du xénon notés $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)$ qui se désexcitent en émettant principalement des photons de 173nm et dans une moindre proportion à 150nm . Deux autres excimères émettant spontanément des photons de 173nm et 150nm sont produits directement ou indirectement par le niveau résonant : $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ et $\text{Xe}_2^*(\text{O}_u^+)$.

Les états résonant et métastable sont produits directement par collisions électroniques avec les atomes du gaz, mais également par désexcitation d'états du xénon de niveaux d'énergie supérieure. Par simplification, un état d'énergie fictif noté Xe^{**} regroupe l'ensemble de ces états ayant une énergie comprise entre $9,45\text{eV}$ et $10,59\text{eV}$. Enfin, lors de collisions à trois corps, les états Xe^+ et Xe_2^+ peuvent être formés [56].

A l'équilibre, et en l'absence de forces extérieures, un gaz est constitué d'un ensemble de particules uniformément réparties, dont les vitesses n'ont aucune direction privilégiée (distribution isotrope). L'énergie de chaque particule peut être stockée sous différentes formes, énergie de translation dans le cas d'un atome, énergie de rotation et de vibration dans le cas d'une molécule [28].

Dans le cas simple d'un atome en translation, son énergie est définie à partir des composantes cartésiennes de la vitesse, d'où elle est égale à [32]

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T \quad (\text{II.3})$$

v : est la vitesse quadratique moyenne de la particule.

T : la température thermodynamique.

k_B : la constante de Boltzmann ($k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$).

m : la masse de la particule.

Il en résulte que pour un gaz composé de particules de masses différentes mais à température uniforme, les plus rapides sont aussi les plus légères. En particulier les électrons sont animés de vitesses très supérieures à celles des atomes ou des ions lourds.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le décharge barrière diélectrique et sur les lampes à excimère et précisément la cinétique chimie et émission du mélange Ne/Xe.

Introduction

Plusieurs recherches ont été consacrées à l'étude de la cinétique chimique en utilisant le modèle zéro-dimensionnel (0D) pour différents gaz et mélange de gaz.

Bychkov et al. [57] ont développé un modèle pour laser dans le mélange Xe/Cl dans une décharge homogène incluant un système d'équations décrivant les évolutions temporelles de la concentration des particules du plasma. Loukil et al. [58] ont utilisé le modèle 0D pour la lampe à excimère dans un gaz de xénon pur dans le but d'étudier la cinétique chimique. Baadj et al [59] ont présenté une approche électrique et chimique pour étudier les propriétés de la lampe pour un mélange de gaz Xe/Cl excitée par une DBD, dans le but de contrôler l'émission UV. L'étude, basée sur un modèle de décharge homogène comprenant un module électrique, un module de particules et un module cinétique chimique, fournit une analyse quantitative de l'évolution dans le temps de certaines propriétés électrique et chimique de décharge.

III.1. Modèle de calcul

III.1.1. Modèle zéro-dimensionnel du plasma (0-D) :

Le modèle 0-D considère le plasma comme un milieu homogène, et uniforme dont la conductivité est variable dans le temps, cette dernière est liée à l'évolution de la densité des électrons dans le plasma. Ce modèle est géré par trois systèmes d'équations couplées :

- 1) *Equation du circuit de la décharge.*
- 2) *Equation de Boltzmann.*
- 3) *Un système d'équations cinétique pour les espèces considérées.*

En introduisant les taux de réactions des électrons, les systèmes (2) et (3) servent à obtenir la densité et la mobilité des électrons, qui sont utilisées pour déterminer la résistance du plasma intervenant dans le système (1). Le modèle utilisé dans notre travail a été développé par Khodja et al [60], il décrit les caractéristiques électriques et cinétiques de notre lampe excimère.

III.1.2. Description de la lampe à excimère et du circuit électrique équivalent :

La lampe à excimère est schématisée sur la figure (III.1.a), elle est simplement représentée par un circuit de électrique équivalent qui est constitué d'une résistance variable dans le temps équivalente au plasma (R_p), en série avec une capacité équivalente pour les deux diélectriques (C_a) qui est calculé à partir de ϵ_r permittivité, de la surface des électrodes A et de la distance inter-électrodes d (voir figure III.1(b)) :

$$C_d = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (\text{III.1})$$

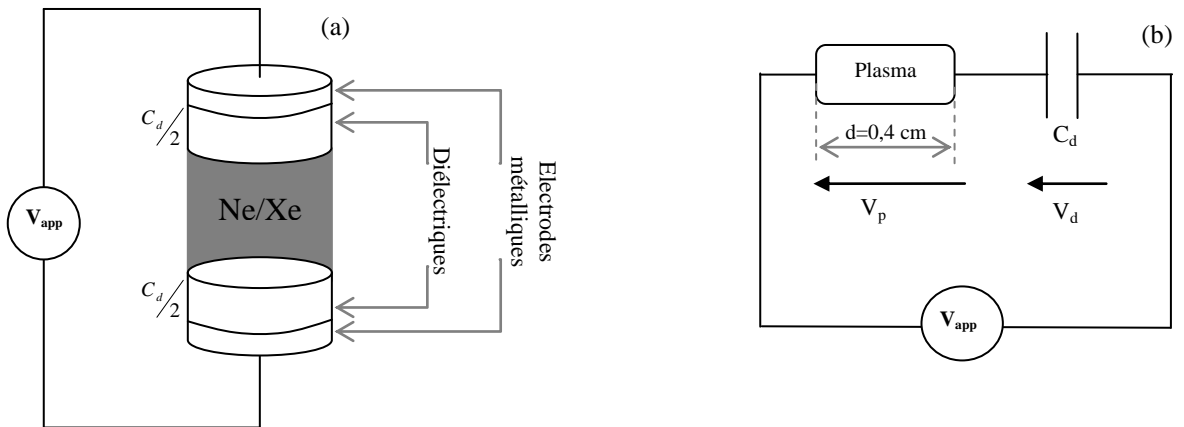


Figure III.1 : (a) Schéma de la lampe à excimère, (b) Schéma du circuit électrique équivalent à la lampe à excimère[27].

V_d et V_p sont respectivement la tension aux bords de la capacité équivalente et la tension du plasma. Donc selon le schéma illustré sur la figure (III.1.b) la tension totale appliquée est la somme des deux tensions V_d et V_p , on peut écrire alors la formule suivante :

$$V_{app}(t) = V_d(t) + V_p(t) \quad (\text{III.2})$$

La décharge est traversée par un courant I . Si on considère la tension V_p aux bords de la résistance R_p on peut écrire

$$I(t) = \frac{V_p(t)}{R_p(t)} \quad (\text{III.3})$$

La tension V_d est déduite à partir de l'équation suivante :

$$V_d = \frac{1}{C_d} \int I(t) dt \quad (\text{III.4})$$

[19].

III.1.3. L'équation de Boltzmann :

Il est évidemment impossible de décrire dans une décharge luminescente le mouvement de chaque particule. Pour éviter cela, on introduit la notion de fonction de distribution pour chaque espèce. L'équation de Boltzmann qui permet d'obtenir la fonction de distribution de chaque espèce $f_s(r,v,t)$ avec $f_s(r,v,t)d^3rd^3v$ est le nombre de particule dans le volume d^3rd^3v autour du point (r,v) au temps elle résolue en simulant les trajectoires d'un ensemble de particules dans l'espace des phases[19].

$$\frac{\partial f_s}{\partial t} + v \frac{\partial f_s}{\partial x} + a \frac{\partial f_s}{\partial v} = \left\{ \frac{\partial f_s}{\partial t} \right\}_{coll} \quad (\text{III.5})$$

C'est l'équation d'évolution de la fonction de distribution des ions ou des électrons. Les différents termes peuvent être explicités de la façon suivante:

$\frac{\partial f_s}{\partial t}$: Représente le taux local de variation de f au point (r,v) en fonction du temps.

$v \frac{\partial f_s}{\partial x}$: C'est le terme de variation de f par suite de la diffusion des ions ou des électrons, c'est à-dire la tendance du gaz à se relaxer vers un état d'équilibre.

$a \frac{\partial f_s}{\partial v}$: Ce terme traduit l'action des forces extérieures sur les particules, a étant l'accélération des forces extérieures dues à l'action des champs électrique et magnétique.

$\left\{ \frac{\partial f_s}{\partial t} \right\}_{coll}$: Est le terme de collision qui rend compte de la variation de la fonction de distribution sous l'effet des collisions avec les neutres. C'est-à-dire la redistribution des ions ou des électrons dans l'espace des vitesses sous l'effet des collisions.

A partir de cette fonction de distribution, on peut avoir accès à toutes les grandeurs macroscopiques comme la densité, la vitesse moyenne, et l'énergie moyenne [27].

III.1.4. Modèle de la cinétique chimique du mélange Ne/Xe :

Dans notre lampe le rayonnement ultraviolet est produit par la désexcitation radiative des niveaux atomiques et moléculaires élevés du xénon. La création de l'excimère Xe_2^* est gouvernée par les collisions à trois corps d'un atome excité avec un autre atome du xénon neutre ou un atome du néon neutre. En plus des réactions qui se produisent entre atomes de même type (xénon-xénon), il existe des réactions entre atomes différents (néon-xénon). Les deux réactions mènent à la création de la molécule Xe_2^* . L'ionisation et l'excitation du néon ne sont pas prises en considération dans les réactions cinétiques du mélange Ne/Xe, ces types

de collisions sont souvent négligeables car la densité du néon excité est directement intégrée dans la densité de l'ion Xe^+ . Le mélange gazeux utilisé par Khodja et al. [27], [60], [61], [62] ; a été largement étudié. Les taux de réactions se produisant dans ce mélange sont bien connus dans la littérature. Le tableau suivant (tableau (III.1) [27]) dévoile les réactions prises en compte avec les références des taux de réactions tabulés.

Dans le schéma cinétique du mélange Ne/Xe, les équations cinétiques sont faites pour 16 espèces chimiques différentes :

- Electron.
- Espèces ionisées: Xe^+ , Xe_2^+ , $NeXe^+$.
- Espèces excitées: $Xe^*(^3p_2)$, $Xe^*(^3p_1)$, Xe^{**} ,
 $Xe_2^*(Ou^+)$, $Xe_2^*(^3\Sigma u^+)$, $Xe_2^*(^1\Sigma u^+)$.
- Photons: $h\nu(147nm)$, $h\nu(150nm)$, $h\nu(173nm)$.

Les coefficients k_1 et k_7 sont respectivement les taux d'ionisation du xénon et du xénon métastable par impacte électronique. k_3 , k_4 et k_6 sont les taux d'excitation du xénon vers les états : métastable, résonnant et fictif.

Les taux des réactions K_8 à K_{15} , et de K_{19} à K_{36} , sont tous supposés constants, ils ont été obtenus par différents travaux effectués sur la cinétique chimique du mélange Ne/Xe utilisés pour la description des écrans à plasma ou des lasers.

Les taux des réactions K ($1 \rightarrow 7$) sont calculés à l'aide du logiciel BOLSIG [66], développé par J.P. Bœuf et L.C. Pitchford [67].

En ce qui concerne les réactions K_{16} , K_{17} et K_{18} , ils sont en fonction de la température électronique, donc on peut les calculer en introduisant la formule de $E_n = \frac{3}{2} K_B K_e$ (voir le tableau III.1). Les états résonant et métastable sont produits directement par collisions électroniques avec les atomes du gaz, mais également par désexcitation d'états du xénon de niveaux d'énergie supérieure. Par simplification, l'état d'énergie fictif noté Xe^{**} regroupe l'ensemble de ces états ayant une énergie comprise entre 9,45eV et 10,59eV.

L'état d'énergie résonant est directement responsable de l'émission UV à 147nm par désexcitation directe vers le niveau fondamental. Le niveau métastable entraîne la formation d'excimères, états moléculaires excités du xénon notés $Xe_2^*(^3\Sigma u^+)$ qui se désexcitent en émettant principalement des photons de 173nm. Deux autres excimères émettant spontanément des photons de 173nm et 150nm sont produits directement ou indirectement par le niveau résonant : $Xe_2^*(^1\Sigma u^+)$ et $Xe_2^*(Ou^+)$. On suppose que tous les ions Xe^+ se transforment immédiatement en $NeXe^+$, et enfin lors des collisions à trois corps, les états Xe^+ et Xe_2^+ peuvent être formés.

Tableau III.1: Processus de réactions élémentaires dans une décharge Ne/Xe pour lampe à excimère

N°	Réactions	Taux de réaction	Réf
<i>Ionisation directe</i>			
1	$e+Xe \rightarrow Xe^+ + 2e$	k1 (tabulé)	[32]
2	$e+Ne \rightarrow Ne^+ + 2e$	k2 (tabulé)	[32]
<i>Excitation</i>			
3	$e+Xe \rightarrow Xe^*(^3p_2) + e$	k3 (tabulé)	[32]
4	$e+Xe \rightarrow Xe^*(^3p_1) + e$	k4 (tabulé)	[32]
5	$e+Ne \rightarrow Ne^* + e$	k5 (tabulé)	[32]
6	$e+Xe \rightarrow Xe^{**} + e$	k6 (tabulé)	[32]
<i>Ionisation par étape</i>			
7	$e+Xe^*(^3p_2) \rightarrow Xe^+ + 2e$	k7 (tabulé)	[32]
8	$e+Ne^* \rightarrow Ne^+ + 2e$	k8 (tabulé)	[32]
<i>Ionisation penning</i>			
9	$Ne^*+Xe \rightarrow Ne+Xe^+ + e$	$k9 = 7,5 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
10	$Ne^*+Xe \rightarrow NeXe^+ + e$	$k10 = 2,3 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Formation des ions dimer</i>			
11	$Ne^+ + 2Ne \rightarrow Ne_2^+ + Ne$	$k11 = 4,4 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
12	$Ne^+ + Xe + Ne \rightarrow NeXe^+ + Ne$	$k12 = 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
13	$Xe^+ + 2Ne \rightarrow NeXe^+ + Ne$	$k13 = 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
14	$Xe^+ + 2Xe \rightarrow Xe_2^+ + Xe$	$k14 = 2,5 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
15	$Xe^+ + Xe + Ne \rightarrow Xe_2^+ + Ne$	$k15 = 1,5 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Recombinaison électron-ion</i>			
16	$Ne_2^+ + e \rightarrow Ne^* + Ne$	$k16 = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ Te}^{-0,43} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[64]
17	$Xe_2^+ + e \rightarrow Xe^{**} + Xe$	$k17 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Te}^{-0,5} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
18	$NeXe^+ + e \rightarrow Xe^{**} + Ne$	$k18 = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Te}^{-0,5} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Réactions ion-atome</i>			
19	$NeXe^+ + Xe \rightarrow Xe^+ + Ne + Xe$	$k19 = 5 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
20	$NeXe^+ + Xe \rightarrow Xe_2^+ + Ne$	$k20 = 5 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Cinétique des neutres</i>			
21	$Xe^{**} + Ne \rightarrow Xe^*(^3p_2, ^3p_1) + Ne$	$k21 = 2 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
22	$Xe^{**} + Xe \rightarrow Xe^*(^3p_2, ^3p_1) + Xe$	$k22 = 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
23	$Xe^*(^3p_1) + Ne \rightarrow Xe^*(^3p_2) + Ne$	$k23 = 3,1 \cdot 10^{-14} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
24	$Xe^*(^3p_2) + Ne \rightarrow Xe^*(^3p_1) + Ne$	$k24 = 1,62 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
25	$Xe^*(^3p_1) + Xe \rightarrow Xe^*(^3p_2) + Xe$	$k25 = 2,18 \cdot 10^{-14} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
26	$Xe^*(^3p_2) + Xe \rightarrow Xe^*(^3p_1) + Xe$	$k26 = 1,26 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
27	$Xe^*(^3p_1) + 2Xe \rightarrow Xe_2^*(Ou^+) + Xe$	$k27 = 1,55 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
28	$Xe^*(^3p_2) + 2Xe \rightarrow Xe_2^*(^3\Sigma^+) + Xe$	$k28 = 8,53 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
29	$Xe^*(^3p_1) + Xe + Ne \rightarrow Xe_2^*(Ou^+) + Ne$	$k29 = 4,07 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
30	$Xe^*(^3p_2) + Xe + Ne \rightarrow Xe_2^*(^3\Sigma^+) + Ne$	$k30 = 1,35 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
31	$Xe_2^*(Ou^+) + Xe \rightarrow Xe_2^*(^1\Sigma^+) + Xe$	$k31 = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Emissions spontanées</i>			
32	$Xe^{**} \rightarrow Xe^*(^3p_2, ^3p_1) + hv$	$k32 = 3 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$	[65]

33	$\text{Xe}^*(^3p_1) \rightarrow \text{Xe} + h\nu(147\text{nm})$	$k_{33} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$	[65]
34	$\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+) \rightarrow 2\text{Xe} + h\nu(173\text{nm})$	$k_{34} = 5 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$	[65]
35	$\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+) \rightarrow 2\text{Xe} + h\nu(173\text{nm})$	$k_{35} = 1,66 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$	[65]
36	$\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+) \rightarrow 2\text{Xe} + h\nu(150\text{nm})$	$k_{36} = 9 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$	[65]

La densité des électrons est obtenue par la résolution de l'équation de continuité de type :

$$\frac{dn_e(t)}{dt} = S_e^+(t) - S_e^-(t) \quad (\text{III.6})$$

Où $S_e^+(t) - S_e^-(t)$ est le terme source de l'équation de continuité qui tient compte de tous les processus de création et de perte des électrons par unité de volume et unité de temps, sous l'effet des collisions avec les différentes espèces. L'équation de continuité électronique est couplée à un ensemble d'équations cinétiques pour les espèces excitées. Ces équations s'écrivent d'une manière générale sous la forme de :

$$\frac{d[X_i]}{dt} = S_i^+(t) - S_i^-(t) \quad (\text{III.7})$$

Avec $[X_i]$ est la concentration de l'espèce i à l'instant t , S_i^+ et S_i^- sont respectivement les taux de production et de disparition de cette espèce.

III.2. Résultats et discussion :

Dans cette section nous allons discuter le comportement de la décharge dans le cas d'une tension appliquée sinusoïdale, et sous les conditions de fonctionnement d'une lampe à excimère. Les paramètres d'entrée de la DBD utilisés dans cette étude sont notés sur le tableau III.2.

Tableau III.2. Condition de fonctionnement de la lampe à excimères

Paramètres	Valeurs
Mélange du gaz	Néon-Xénon (Ne-90% /Xe-10%)
Pression du gaz	$P = 500 \text{ torr}$
Distance gap du gaz	$d = 0,4 \text{ cm}$
Fréquence	$F = 50 \text{ kHz}$
Température du gaz	$T_g = 300 \text{ K}$
Surface d'électrode	$A = 1 \text{ cm}^2$
Densité initial des électrons	$n_{e0} = 10^9 \text{ cm}^{-3}$
Capacité équivalente aux diélectriques	$C_d = 300 \text{ pF}$
Amplitude de la tension Appliquée	$V_{\text{amp}} = 1500 \text{ V} = 1,5 \text{ kV}$
Tension appliquée	$V_{\text{app}}(t) = V_{\text{amp}} \sin(2\pi ft)$

III.2.1 Caractéristiques électriques :

La figure (III.2) représente la variation temporelle de la tension appliquée (V_{app}), la tension aux bornes de la capacité équivalente aux diélectriques (V_d) et de la tension du plasma (V_p) pour le mélange Ne/Xe-10%. Nous avons noté que pendant la première demi période la tension V_d commence à augmenter par effet du chargement des diélectriques jusqu'à atteindre un maximum qui correspond à la tension appliquée, tandis que la tension du plasma V_p atteint la valeur de 925,382 V puis commence à décroître rapidement après le claquage du gaz. Durant tout le temps de la décharge, l'équation III.2 est vérifiée.

Le courant étant initialement nul augmente brusquement dans la décharge pour atteindre un maximum de 1,348 A à $t=1,250 \mu s$ puis commence à diminuer progressivement pendant la première demi période. Durant le reste des périodes où la décharge devient stable on remarque qu'à chaque cycle de $10 \mu s$ le pic atteint la valeur de 0,304 A (voir figure III.3). Le temps de claquage du gaz calculé correspond à 5% du pic du courant et il est égal à $1,038 \mu s$.

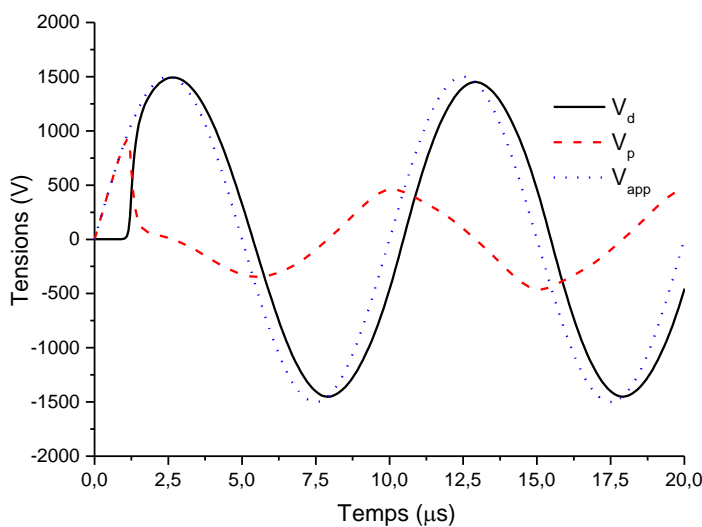


Figure III.2 : Variation temporelle des tensions

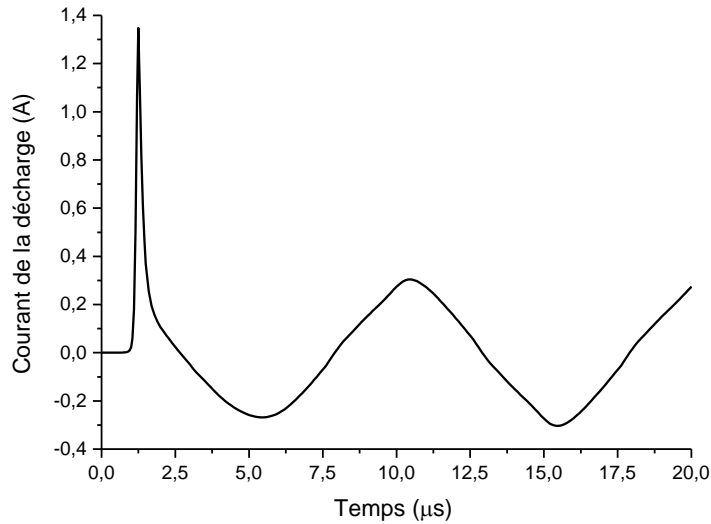


Figure III.3 : Variation temporelle du courant de la décharge

III.2.2. Caractéristiques cinétiques :

Sur les figures (III.4, 5, 6, 7) nous avons tracé les variations temporelles des densités de plusieurs particules : chargées, atomes excités, molécules excimères, photons. On remarque que la densité des électrons commence par une valeur qui correspond à la densité initiale pour atteindre une valeur maximale de $3,228 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $t = 1,350 \mu\text{s}$, ceci est dû à plusieurs types d'ionisation (directe, par étape, penning). Parmi les ions créés, la particule dominante dans le plasma est le Xe_2^+ avec une valeur de $2,560 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $t = 1,8 \mu\text{s}$. Les densités du Xe^+ et NeXe^+ atteignent les valeurs de $2,116 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ et $5,437 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ respectivement en même temps à $t = 1,25 \mu\text{s}$. Ceci est observable sur la figure (III.4).

La densité du xénon métastable ($\text{Xe}^*(^3p_2)$) et du résonnant ($\text{Xe}^*(^3p_1)$) sont de l'ordre de $1,280 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ et de $6,066 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ respectivement, et leurs croissances sont provoquées par impacte électronique avec les atomes de Xe (voir figure (III.5)).

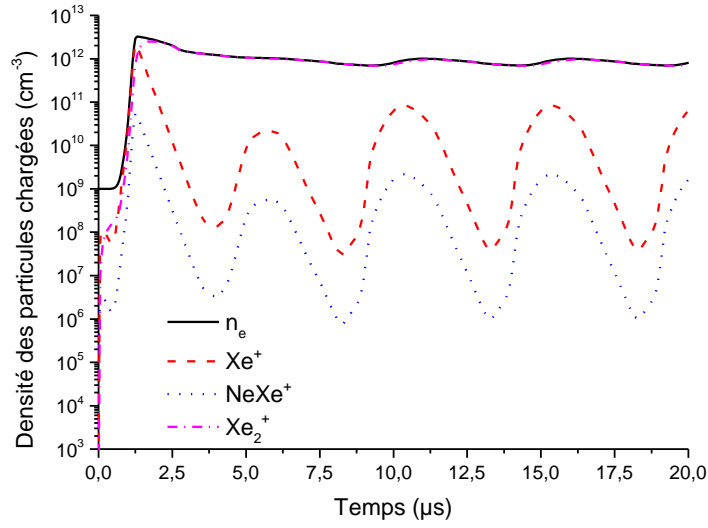


Figure III.4 : Variation temporelle de la densité des particules chargées

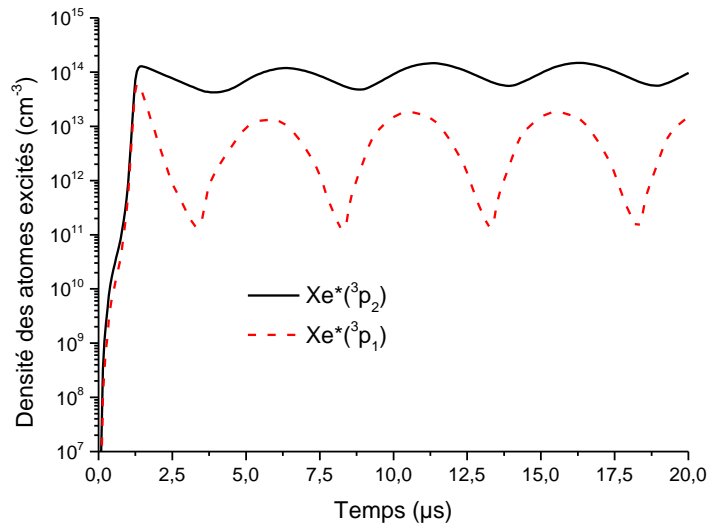


Figure III.5 : Variation temporelle de la densité des atomes excités

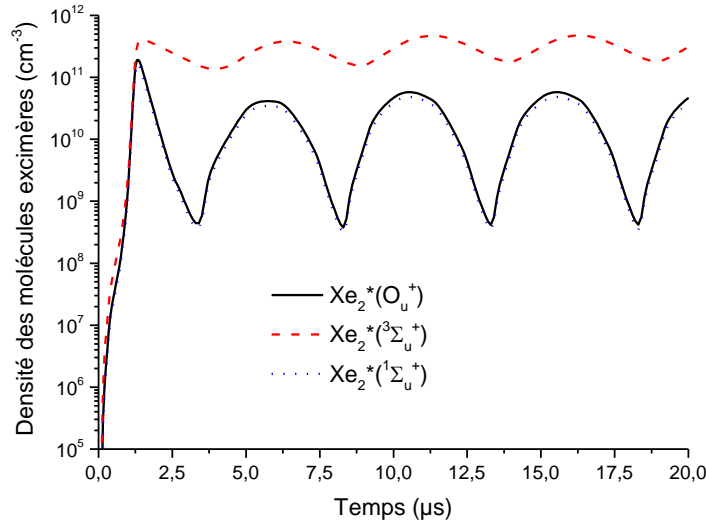


Figure III.6 : Variation temporelle de la densité des molécules excimères

L'évolution temporelle des molécules d'excimères est tracée sur la figure (III.6). L'excimère $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)$ atteint la valeur maximale de $4,131 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ à $1,450 \mu\text{s}$, $\text{Xe}_2^*(\text{O}_u^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ atteignent les pics de $1,920 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ et $1,610 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ respectivement en même temps qui est de $1,35 \mu\text{s}$.

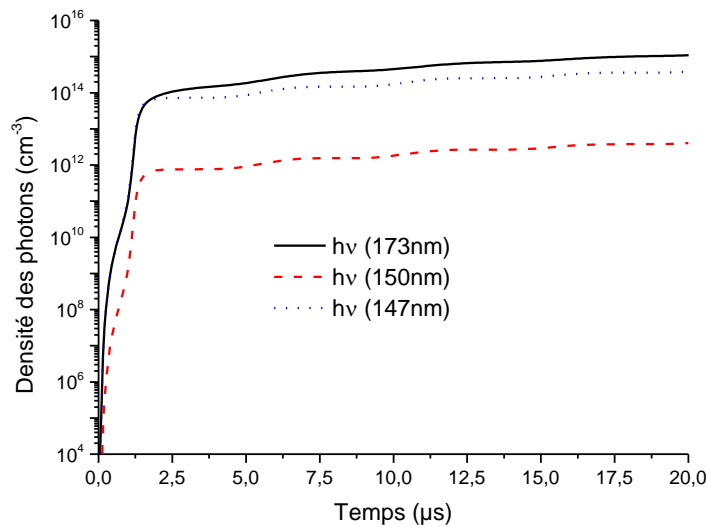


Figure III.7 : Variation temporelle de la densité des photons

Sur la figure (III.7) sont montrées les particules photoniques. La densité des photons correspondant au rayonnement 173nm créé par les excimères $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ atteint la valeur de $1,09 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ à la fin de la décharge. Quant aux rayonnements 150nm et 147 nm qui sont créés par désexcitation de $\text{Xe}_2^*(\text{O}_u^+)$ et $\text{Xe}^*(^3p_1)$ respectivement leurs densités atteignent les valeurs de $4,045 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ et $3,842 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ à la fin de la décharge.

III.3.3. Etude paramétrique :

L'intérêt de cette étude est la clarification de l'influence de quelques conditions de fonctionnements sur les caractéristiques cinétiques de la décharge dans le but d'optimiser la lampe à excimère.

III.3.3.1. Effet de la densité initiale des électrons :

Nous avons étudié les effets de la densité initiale des électrons sur la densité des particules suivante : les électrons, $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$, $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma\text{u}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma\text{u}^+)$ sur la figure (III.8). Nous avons remarqué qu'une augmentation de la densité initiale induit une augmentation de la densité des électrons et des excimères, c'est ce qui est clairement montré sur cette figure. En augmentant la densité initiale des électrons, la densité maximale des électrons augment (de 10^3 cm^{-3} jusqu'à 10^{15} cm^{-3}). En ce qui concerne la densité des excimères, celle qui est dominante, est celle de l'excimère $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma\text{u}^+)$ sa valeur passe de $15,266 \text{ cm}^{-3}$ à $1,220 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$.

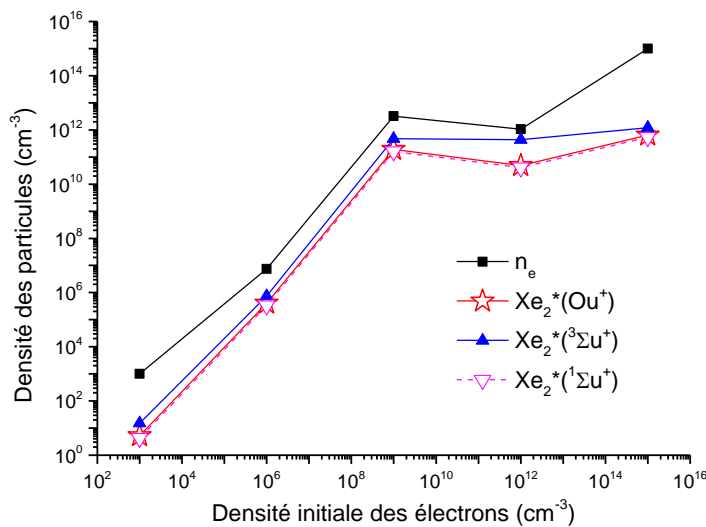


Figure III.8 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la densité initiale des électrons

III.2.3.2. Effet de la distance gap du gaz :

La figure (III.9) représente l'effet de la distance gap du gaz sur les densités maximales des électrons et des excimères. On remarque que la distance gap possède un effet de diminution sur la densité des électrons et des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma\text{u}^+)$. Par contre elle n'affecte pratiquement pas la densité de l'excimère $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma\text{u}^+)$. La valeur de la densité des électrons passe de $3,088 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $7,608 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ et celle des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma\text{u}^+)$ atteint la valeur minimale de $4,171 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ et $3,491 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ respectivement. On remarque aussi que pour une production optimale des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma\text{u}^+)$ la valeur appropriée de la distance gap du gaz est 0,4 cm.

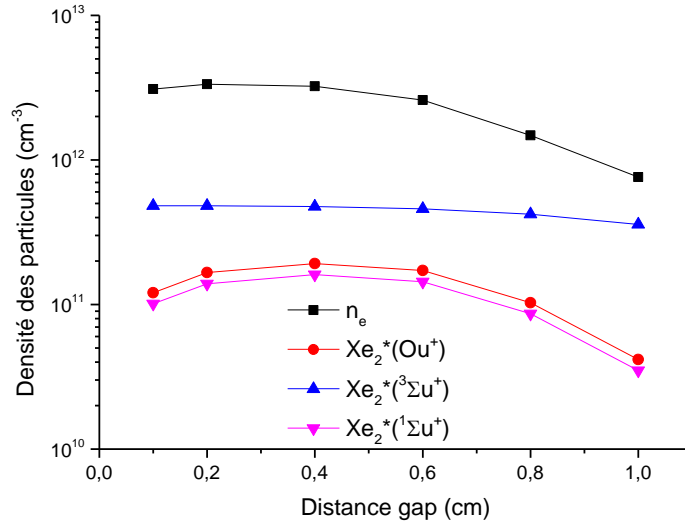


Figure III.9 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la distance gap du gaz

Conclusion:

Nous avons abordé dans ce chapitre une étude sur la cinétique chimique de la lampe à excimère pour l'optimisation de cette dernière en utilisant le modèle 0D qui inclue le circuit électrique de la décharge, la cinétique chimique du mélange Ne/Xe à 10% de xénon et l'équation de Boltzmann. Nous avons d'abord fixé les paramètres de fonctionnement de la lampe à des valeurs citées dans le tableau (III.2) pour pouvoir calculer le profil des tensions du diélectrique V_d , du plasma V_p , et du courant de la décharge I . Nous avons aussi déterminé le profil de la densité des particules chargées, des atomes excités, des excimères et des photons. L'effet des paramètres de la densité initiale des électrons et de la distance gap du gaz sur la densité des électrons et des excimères est étudié. Nous avons remarqué que la densité initiale des électrons possède un effet considérable sur la densité des maximaux des électrons et des excimères.

La distance gap du gaz n'influe que très légèrement sur la densité de l'excimère $Xe_2^*(^3\Sigma u^+)$, contrairement à la densité des électrons et des excimères $Xe_2^*(Ou^+)$ et $Xe_2^*(^1\Sigma u^+)$ qui présentent une diminution.

Enfin pour une production optimale des excimères $Xe_2^*(Ou^+)$ et $Xe_2^*(^1\Sigma u^+)$ la valeur appropriée de la distance gap du gaz est de 0,4 cm.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail représente une étude des paramètres électriques et cinétique chimique d'un mélange de gaz Ne/Xe dans une DBD en utilisant le modèle 0D qui se compose de trois modules : l'équation de Boltzmann, le circuit électrique et un système d'équations de la cinétique chimique. La lampe à excimère est alimentée par un signal sinusoïdal afin de contribuer à l'amélioration de cette dernière.

Les calculs des paramètres électriques et cinétiques ont été effectués pour un mélange de gaz de 10% de xénon dans le néon en utilisant une tension appliquée de 1500V, sous une pression de 500 torr et une fréquence de 50kHz.

Pour les caractéristiques électriques, les résultats obtenus par le calcul concernent la tension V_d et V_p et le courant I qui atteint 1,348 A à $t=1,250 \mu s$. Le temps de claquage est égal à $1,038 \mu s$.

Pour les caractéristiques de la cinétique chimique on a calculé les densités de plusieurs particules : chargées, atomes excités, molécules excimères et photons. La particule Xe_2^+ atteint la valeur de $2,560 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $t = 1,8 \mu s$; elle représente la particule dominante dans le plasma. Les densités de l'atome métastable et résonant ont aussi été calculées.

Dans la seconde partie de notre travail nous avons abordé une étude paramétrique de la DBD qui concerne l'effet de la densité initiale des électrons et la distance gap du gaz. Nous avons fait varier les paramètres précédents en gardant les autres fixes.

Lorsqu'on augmente la densité initiale des électrons dans le gaz la densité maximale des électrons et des excimères augmente aussi en montrant un effet considérable.

L'influence de la distance gap du gaz est très légère sur la densité de l'excimère $Xe_2^*(^3\Sigma_u^+)$, contrairement à la densité des électrons et des excimères $Xe_2^*(O_u^+)$ et $Xe_2^*(^1\Sigma_u^+)$ qui présentent une diminution.

Enfin, la valeur optimale du gap du gaz pour une production élevée des excimères $Xe_2^*(O_u^+)$ et $Xe_2^*(^1\Sigma_u^+)$ est celle de 0,4 cm.

Références Bibliographiques

- [1] J. L. Delcroix, A. Bers, Physique des Plasmas Tome 1, CNRS Editions, Pages (1-2), EDP Sciences, France, 1994.
- [2] S. Benabdelmalek, R. Messaoudi, Simulation numérique de la cinétique chimique d'une mixture N_2/O_2 NO par décharge couronne, Mémoire de master de l'université d'Abou-Baker Belkaid, Tlemcen, (2011).
- [3] A. M. Pointu, J. Perrin, J. Jolly, « Plasmas froids de décharge : Propriétés électriques ». Les techniques de l'ingénieur, Dossier D 2 830 (02/2007).
- [4] B. Kadomtsev, Phénomènes Collectifs dans les Plasmas , Edition Mir, Moscou, (1979).
- [5] I. Assaf, « Effet des conditions aux limites sur la propagation du streamer positif dans l'azote » Mémoire de master de l'université d'Oran Mohamed Boudiaf, (2016).
- [6] P. Fauchais, Plasmas thermiques : aspects fondamentaux, les techniques de l'ingénieur, Dossier D2 810, (2007).
- [7] URL: www.onera.fr/photos/mesexp/plasma-palais-decouverte.php
- [8] URL: <http://www.le-saviez-vous.fr/2010/12/le-plasma-4eme-etat-de-la-matiere.html>
- [9] URL: <http://www.magnetismeurore.tpe.toile-libre.org/2.a.html>
- [10] URL: <http://www.encyclopedie-environnement.org/air/la-magnetosphere/>
- [11] URL: <http://www.magnetismeurore.tpe.toile-libre.org/3.c.html>
- [12] URL: http://www.univers-astronomie.fr/articles/systeme_solaire/119-les-auroresboreales-et-australes.html
- [13] URL: <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/meteorologie-eclair-15208/>
- [14] URL: <https://www.rejuvenation.com/catalog/products/23w-spiral-gu24-bulb>
- [15] URL: www.dicodunet.com/definitions/commenter-879.htm
- [16] URL: <http://www.commentcamarche.com/faq/13063-ecran-lcd-ou-plasma>
- [17] URL: http://www.cidehom.com/dictionnaire.php?_d_id=22
- [18] URL: www.ens-lyon.fr/DSM/magistere/projets-biblio/2003/Pblaise-/node1.html
- [19] K. Khodja, Modélisation unidimensionnelle d'une décharge à barrières diélectriques pour lampe à excimère, Thèse de magister de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2010).
- [20] A. Labergue, Etude de décharges électriques dans l'air pour le développement d'actionneurs plasmas – Application au contrôle de décollements d'écoulements, thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, (2005).
- [21] URL: <http://www.degremont-industry.com/fr/votre-secteur-industriel/microelectronique/>

- [22] URL: <http://plasmas.agmat.asso.fr/technologie>
- [23] URL: <http://www.medicalexpo.fr/prod/dgm-pharma-apparate-handel/product-68201-706055.html>
- [24] K. Khodja, Etude du processus d'ionisation dans une décharge électrique a xénon, Mémoire de l'ingénieur de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2007).
- [25] S. Vacquié, Arc électrique et ses Applications, Eyrolles, CNRS Editions , pp (6-11) ;Toulouse ,1984.
- [26] Y. Bourek, Détermination des conditions d'ionisation caractérisant le seuil de claquage de l'air par la logique floue, mémoire de Magister de l'Université de Batna, (2005).
- [27] K. Khodja, Etude unidimensionnelle d'une décharge à barrières diélectriques dans le mélange Ne/Xe; application à l'optimisation de l'efficacité d'une lampe à excimère , Thèse de doctorat l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2014).
- [28] G. Le Roy, C. Gary, B. Hutzler, J. Lalot, Ch. Dubanton , " Les propriétés diélectriques de l'air et les très haute tension ", Edition Eyrolles, Paris, France, (1984).
- [29] F.GHALEB, Calcul de la courbe de Paschen et la tension de claquage pour les décharges à gaz rare Thèse de doctorat l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2014).
- [30] T. Bezanahary, Modélisation du comportement de la colonne positive d'un plasma de décharge dans les gaz rares purs : application à l'étude des lampes basse pression sans mercure , thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, (2003).
- [31] P. Fauchais, Gaz ionisés et plasmas , Les techniques de l'ingénieur, AF 3560, 1997.
- [32] A. Boubakeur, Foudre - zone d'attraction d'un paratonnerre - , support pour conférence, Alger, (2004).
- [33] W. Siemens, Historical ozone discharge tube , Poggendorf's, Ann. Phys.Chem., **102** 66 (1857).
- [34] J.Z. Xu, W. Liu, R. Q. Liang, Z. X. Ren, The characteristics of dielectric barrier discharge and its influence on the excimère XeCl* emission, Plasma Sci. Technol., **3** 1027 (2001).
- [35] Kogelschatz, Ulrich. "Filamentary, patterned, and diffuse barrier discharges." IEEE Transactions on plasma science **30**; 1400-1408. (2002)
- [36] U. Kogelschatz, B. Eliasson, and W. Egli. From ozone generators to flat television screens: history and future potential of dielectric-barrier discharges, Pure Appl. Chem, **71** 1819-1828 (1999).

- [37] K. Buss, Arch. Elektrotech., **26**, 261 (1932).
- [38] I. Enache. Etude Expérimentale et Modélisation du Transfert de Matière dans des Décharges de Townsend a Pression Atmosphérique en Mélange HMDSO-N₂O-N₂ et SiH₄-N₂O-N₂, Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, France (2007).
- [39] U. Kogelschatz, Filamentary, patterned, and diffuse barrier discharges. IEEE Trans. Plasma Sci., **30** 1400-1408 (2002).
- [40] U. Kogelschatz, Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications, Plasma Chem. Plasma P., **23** 1-46 (2003).
- [41] M. Heise, W. Neff, O. Franken, P. Muranyi, and J. Wunderlich, Sterilization of polymer foils with dielectric barrier discharges at atmospheric pressure, Plasmas Polym., **9** 23-33 (2004).
- [42] B. Caillier. Diagnostics et modélisation d'une cellule d'écran à plasma. Thèse de doctorat de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, France (2004).
- [43] T. Callegari. Modélisation et diagnostics de décharges à barrières diélectriques pour écrans à plasma. Thèse de doctorat de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier (2000).
- [44] A. Chirokov, A. Gutsol, A. Fridman, K.D. Sieber, J.M. Grace and K.S. Robinson, Analysis of two-dimensional micro-discharge distribution in dielectric-barrier discharges, Plasma Sources Sci. Technol., **13** 623-635 (2004).
- [45] Pietsch, G. J. "Peculiarities of dielectric barrier discharges." Contributions to Plasma Physics **41**;é 620-628. (2001)
- [46] J. Tepper and M. Lindmayer, Investigations on two different kinds of homogeneous barrier discharges at atmospheric pressure. In HAKONE VII International Symposium on High-Pressure, Low Temperature Plasma Chemistry, Greifswald, Germany, September 10 - 13, (2000).
- [47] F. Massines, A. Rabehi, P. Decomps, R. Ben Gadri, P. Ségur, and C. Mayoux, Experimental and theoretical study of a glow discharge at atmospheric pressure controlled by dielectric barrier, J. Appl. Phys., **83** 2950-2957 (1998).
- [48] A. Jay palmer. Physical model on the initiation of atmospheric-pressure glow discharges, Palmer, Appl. Phys. Lett., **25** 138-140 (1974).
- [49] U. Kogelschatz, B. Eliasson, W. Egli, Modelling of dielectric barrier

discharge chemistry, **66** 1275-1286 (1994).

[50] Kozlov, K. V., et al. "Spatio-temporally resolved spectroscopic diagnostics of the barrier discharge in air at atmospheric pressure." *Journal of Physics D: Applied Physics* **34**, 3164. (2001).

[51] I.W. Boyd, J.Y. Zhang, U. Kogelschatz, Development and applications of UV excimer lamps, in: A. Peled (Ed.), *Photo-Excited Processes, Diagnostics and Applications*, Kluwer Academic, The Netherlands, pp. 161–199 (2003).

[52] URL: http://kerbart.free.fr/ecrits/plasma.etude.technique/rdoc_plasma005.html

[53] R. Riva, « Etude du laser Xe/Cl photo-déclenché par rayon X », thèse de doctorat de l'université de Paris Sud, (1993).

[54] L.V. Lavren'eva, E.A. Sosnin, Ya.V. Masterova, *Bulletin of Tomsk State University:*

Biology - Scientific Journal, **30** 163–176 (2003)

[55] K.V. Kozlov, M. V. Sokolova, A. G. Temnikov, V. V. Timatkov and L. P. Vereshchagin *Plasma Polym*,**8**, 179–97. (2003).

[56] T. Beaudette, *Caractérisation et optimisation de lampes planes sans mercure : décharges à barrières diélectriques et luminophores*, Thèse de doctorat l'Université de Toulouse, France, (2009).

[57] Yu.I. Bychkov, S.A. Yampolskaya, A.G. Yastremsky, Kinetics of processes and energy distribution in an electric discharge upon pumping a XeCl laser, *Quantum Electro.*, **40**, 28-34 (2010).

[58] H. Loukil, A. Belasri, K. Khodja, Z. Harrache, Theoretical kinetic investigation of xenon dielectric barrier discharge for excimer lamp, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **42**, 712-720, (2014).

[59] S. Baadj, Z. Harrache, and A. Belasri, Electrical and chemical properties of XeCl*(308 nm) exciplex lamp created by a dielectric barrier discharge, *Plasma Phys. Rep.*, **39**, 1043–1054. (2013).

[60] K. Khodja, A. Belasri, H. Loukil, Modeling of a Ne/Xe dielectric barrier discharge excilamp for improvement of VUV radiation production , *Plasma Phys. Rep.*, **43** 891-898 (2017).

[61] A. Belasri, K. Khodja, S. Bendella and Z. Harrache, One-dimensional modelling of DBDs in Ne–Xe mixtures for excimer lamps , *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43** 445202 (2010)

- [62] K. Khodja, A. Belasri, Sheath formation study in Ne–Xe DBD discharge, *Radiat. Eff. Defect. Solids*, **167**, 734-742 (2012).
- [63] J. Meunier, Ph. Belenguer, J.P. Boeuf, Numerical model of an ac plasma display panel cell in neon-xenon mixtures, *J. Appl. Phys.* **78**, 731, (1995).
- [64] M. Kushner, S. Rauf, Dynamics of a coplanar-electrode plasma display panel cell. I. Basic operation, *J. Appl. Phys.* **85**, 3460, (1999).
- [65] J. Ouyang, F. He, J. Miao, Numerical study on xenon positive column discharges of mercury-free lamp, *J. Appl. Phys.* **101**, 043303, (2007).
- [66] BOLSIG. KINEMA. Software. <http://www.siglo-kinema.com>.
- [67] J. P. Boeuf, Plasmas froids et application, Cours ETNA ENSEEIHT-Master GE.

Etude de la cinétique chimique d'un plasma froid à base de gaz rare ; application aux lampes à décharge

Auteur: MOSBAH Hadjer

Résumé : Le but de ce travail est d'étudier les propriétés de la cinétique chimique de la décharge à barrières diélectriques dans la lampe à excimère rempli d'un mélange de gaz Ne/Xe pour une concentration de 10% de xénon, en utilisant un modèle zéro-dimensionnel qui inclut l'équation de Boltzmann, un système de réactions chimiques et les équations du circuit électrique de la décharge.

Dans ce travail nous avons pu déterminer le profil de la densité des particules chargées, des atomes excités, des molécules d'excimères et des photons. Nous avons aussi pu voir l'effet de la distance gap du gaz et de la densité initiale des électrons sur la densité de quelques particules.

Mots clés : Cinétique chimique, Plasma froid, Décharge à barrières diélectriques, Lampe à excimère, Modèle zéro-dimensionnel.

Chemical kinetics study of rare gas-based cold plasma, application to discharge lamps

Author: MOSBAH Hadjer

Abstract: The purpose of this work is to study the properties of the chemical kinetics of the dielectric barrier discharge in the excimer lamp filled with Ne / Xe gas mixture at a concentration of 10% xenon, using a zero-dimensional model which includes the Boltzmann equation, a chemical reactions system and the electrical circuit equations of the discharge.

In this work we have been able to determine the density profile of charged particles, excited atoms, excimer molecules and photons. We have also been able to see the effect of the gas gap distance and the initial electron density on the some particle densities.

Keywords: Chemical kinetics, Cold plasma, Dielectric barrier discharge, Excimer lamp, Zero-dimensional model.

Dédicace

A :

Ma très chère mère

Mes très chers frères et sœurs.

Mes professeurs.

À toute ma famille.

Et tous mes amis

Un spécial dédicace à ma chère professeur :

KHODJA Khadidja

MOSBAH Hadjer

Remerciements

Je remercie tout d'abord **ALLAH** le tout puissant qui m'a guidé sur le bon chemin et m'a donné la force pour pouvoir dépasser toutes les difficultés.

Mes grands remerciements à ma chère mère qui a sacrifié sa vie pour mon éducation et mon instruction ainsi mes frères et sœurs pour leur affection inégalable et leur soutien. Sans leurs encouragements, je n'aurais pu mener à bien ce travail

Ce travail a été effectué au sein de l'Unité de Recherche Appliquées en Energies Renouvelables de Ghardaïa (**U.R.A.E.R**), ainsi je remercie le directeur **Dr. Djelloul DJAFER** de m'avoir accepté au sein de l'unité.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements au **Dr. Abderrahmane BELLAOUAR** et **Dr. Khadidja KHODJA** pour ses encadrements, mais aussi pour les précieux conseils, leur soutien et leur optimisme à tout crin. Mes remerciements leurs sont surtout adressés pour le suivi continu tout le long de la réalisation de ce mémoire de master avec la compétence que chacun de nous leur reconnaît.

Mes sincères remerciements s'adressent à monsieur le président du jury : **Abdelhakim LAKHDARI** de l'Université de Ghardaïa, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je tiens également à remercier, **Mr Mohammed AZZAOU** et **Mme Khaira BOUAMER** de l'Université de Ghardaïa qui ont accepté de juger ce travail, ainsi que de leur honorable présence.

Je remercie aussi ma chère amie **BICHI Amina**

MOSBAH Hadjer

Table des matières

Résumé.....	i
Table des matières	ii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures	vi
Liste des abréviations.....	viii
Introduction générale	ix

CHAPITRE I

Généralités sur le plasma et les décharges électriques

Introduction.....	01
I.1. Le plasma.....	01
I.1.1. Définition.....	01
I.1.2. Catégories de plasma	03
I.1.3. Types de plasma	03
I.1.3.1. Plasmas naturels	03
I.1.3.2. Plasmas de Laboratoire	05
I.1.4. Formation du plasma	07
I.1.5. Paramètres physiques des plasmas	08
I.1.6. Domaines d'application industrielle du plasma	10
I.1.7. Phénomène dans le plasma	11
I.1.7.1. Les décharges électriques	11
I.1.7.2. Mécanismes de formation et processus physiques des décharges électriques	13
I.1.7.3. Structure spatiale de la décharge	14
I.1.7.4. Le claquage dans le gaz	15
Conclusion	16

CHAPITRE II

Cinétique chimique dans la lampe à excimère pour Décharge barrière diélectrique

Introduction.....	17
II.1.Les DBD.....	17
II.1.1.Définition	17
II.1.2.Applications	18
II.2.Lampes à excimères (excilampe).....	20
II.2.1.Définitions.....	20
II.2.2.Applications	21
II.2.3.L'excimère	23
II.2.4.Formation du l'excimère	23
II.2.5.Niveau atomique et moléculaire du Xénon et du Néon	24
II.2.6.Cinétique et émission du mélange Ne/Xe	24
II.2.6.1. Émissions du mélange Ne/Xe	24
II.2.6.2 Émission VUV : espèces considérées	25
Conclusion	26

CHAPITRE III

Modélisation de la cinétique chimique pour lampe à excimères

Introduction	27
III.1. Modèle de calcul	27
III.1.1. Modèle zéro-dimensionnel du plasma (0-D)	27
III.1.2. Description de la lampe à excimère et du circuit électrique équivalent	27
III.1.3. L'équation de Boltzmann	28
III.1.4. Modèle de la cinétique chimique du mélange Ne/Xe	29
III.2. Résultats et discussion	32
III.2.1 Caractéristiques électriques	33
III.2.1. Caractéristiques cinétiques	34
III.2.3. Etude paramétrique	37
III.2.3.1. Effet de la densité initiale des électrons.....	37
Conclusion	38



Conclusion générale.....	x
Références bibliographiques.....	xi

Liste des tableaux

Tableau II.1	Réactions présentes dans le Xe pour la production de l'UV à 173 nm.....23
Tableau III.1	Processus de réactions élémentaires dans une décharge Ne/Xe pour lampe à excimère.....31
Tableau III.2	Condition de fonctionnement de la lampe à excimères.....32



Liste des figures

Figure (I.1): Evolution de l'état de la matière avec l'énergie.....	02
Figure (I.2): Schéma de différence entre gaz neutre et plasma	03
Figure(I.3) : Diagramme des plasmas dans l'espace	11
Figure(I.4) : Le vent solaire est un flux de plasma	04
Figure (I.5) : Magnétosphère d'une planète plongée dans le vent solaire	04
Figure(I.6) : Les aurores polaires.....	05
Figure(I.7) : Les éclaires.....	05
Figure(I.8) : Principe de la lampe fluorescente	06
Figure(I.9) : Lampes fluorescentes.....	06
Figure (I.10): Ecrans plasma	07
Figure(I.11) : Tokamak	07
Figure(I.12) : Circuit d'alimentation d'un tube à décharge	08
Figure (I.13) : Microélectronique	10
Figure (I.14) : Stérilisateur à Plasma.(Pour instruments médicales).....	11
Figure(I.15) : Décharge encourageant continu	12
Figure,(I.16) : Décharge sans électrodes	13
Figure(I.17) : Avalanche électronique.....	14
Figure (I.18) : Structure d'une macro-décharge à basse pression générée entre deux plans parallèles, et fonctionnant en régime luminescent normal	15
Figure (II.1) Quelques configurations de la décharge à barrières diélectriques.....	18
Figure (II. 2) : Coupe transversale d'un écran à plasma à géométrie matricielle. La décharge s'effectue entre une électrode ligne et une électrode colonne. La largeur d'une cellule est comprise entre 125 μm pour un écran 19 pouces et 310 μm pour un écran 24 pouces.....	20
Figure (II.3) : Principe de la lampe excimère.....	21
Figure (II.4) : Domaine d'émission des différents excimères et exciplexes.....	22
Figure (II.5) : Diagramme d'énergie potentiel du xénon.	24

Figure (III.1) : (a) Schéma de la lampe à excimère, (b) Schéma du circuit électrique équivalent à la lampe à excimère.	28
Figure III.2 : Variation temporelle des tensions	33
Figure III.3 : Variation temporelle du courant de la décharge	34
Figure III.4 : Variation temporelle de la densité des particules chargées	35
Figure III.5 : Variation temporelle de la densité des atomes excités	35
Figure III.6 : Variation temporelle de la densité des molécules excimères	36
Figure III.7 : Variation temporelle de la densité des photons	36
Figure III.8 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la densité initiale des électrons	37
Figure III.9 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la distance gap du gaz	38

Liste des abréviations

Abréviation	Nom complet
DBD	Décharge barrière Diélectrique
Ne	Néon
Xe	Xénon
Ar	Argon
O ₃	Ozone
Si	Silicium
Ge	Germanium
SiO ₂	Dioxyde de silicium
MgO	Oxyde de Magnésium
UV	Ultraviolet
VUV	Ultraviolet du vide
XUV	Ultraviolet extrême aux rayons X
UVC	Ultraviolet C
UVB	Ultraviolet B
UVA	Ultraviolet A
PAP	Panneaux à plasma
RVB	Rouge/Vert/Bleu

INTRODUCTION GENERALE

La technologie des plasmas est basée sur les simples principes de physique. La matière change d'état quand on lui fournit de l'énergie: elle passe de l'état solide vers l'état liquide puis du l'état liquide vers l'état gazeux. Si plus d'énergie est fournie à un gaz, il devient ionisé et passe à l'état de plasma riche en énergie, le quatrième état de la matière est créé.

Le plasma a été découvert par Irving Langmuir en 1928 et il n'est pas rare; en fait, plus de 99% de la matière visible dans l'univers est à l'état de plasma. Il peut être vu sous formes naturelles sur la terre comme la foudre, la lumière polaire dans l'Arctique et l'Antarctique, au cours d'une éclipse solaire où le plasma peut être observé comme un cercle lumineux de lumière appelé couronne autour du soleil.

A l'échelle de laboratoire le plasma est créé par décharge électrique et possède plusieurs applications dans le domaine de l'industrie tels que l'automobile, le transport, la fabrication électronique, l'emballage, sciences de la vie, les textiles et sous forme de nouvelles énergies.

L'objectif de ce travail est d'étudier les caractéristiques électriques et la cinétique chimique d'une décharge à barrière d'électrique (DBD) pour une lampe à excimère dans le mélange gazeux ; en utilisant un modèle homogène pour la colonne positive.

Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités sur le plasma, puis sur les phénomènes qui apparaissent dans un gaz lors de l'application d'un champ électrique.

Ce sont les lampes à excimères et les décharges à barrières diélectriques qui sont présentées dans le deuxième chapitre, en commençant par des généralités sur les lampes et en terminant par une description de la DBD et de la cinétique chimique.

Au dernier chapitre nous exposons les résultats du calcul des tensions et du courant de la décharge. Nous avons aussi déterminé le profil de la densité de plusieurs particules : chargées, atomes excités, molécule d'excimères et les photons. L'effet des paramètres de la densité initiale des électrons et de la distance gap du gaz sur la densité des électrons et des excimères est étudié.

Introduction

Le terme de “plasma” a été introduit en physique en 1928 par le physicien américain. Langmuir pour désigner, dans les tubes à décharge, certaines régions équipotentielles contenant un gaz ionisé électriquement neutre. Par la suite, ce mot a été utilisé, surtout en astrophysique, pour désigner un état dilué de la matière, analogue à un gaz, mais constitué de particules chargées, électrons et ions positifs, en proportions telles que le milieu soit globalement neutre. Le plus simple des plasmas est celui d’hydrogène, formé d’électrons et de protons libres en concentrations égales. Ainsi définis, les plasmas se confondent donc avec le quatrième état de la matière, faisant suite, dans l’échelle des températures, aux trois états classiques, solide, liquide et gaz, les propriétés spéciales des plasmas sont dues au long rayon d’action de la force entre particules (force coulombienne): un électron ou un ion du plasma interagit à chaque instant avec beaucoup d’autres. On peut même décrire de nombreuses propriétés des plasmas (effets collectifs) en considérant ceux-ci comme des mélanges de deux fluides continus d’électricité positive. Par suite de leur faible densité, les plasmas conservent cependant certaines propriétés des gaz (grande compressibilité, énergie interne et pression proportionnelles à la température absolue,... etc.).

La transition entre les gaz neutres et les plasmas complètement ionisés est assurée par les gaz partiellement ionisés. Par abus de langage, on donne également souvent à ceux-ci le nom de plasma dans la mesure où ils sont électriquement neutres. En fait, les propriétés mécaniques (écoulements, ondes acoustiques,.. etc.) des gaz faiblement ionisés sont analogues à celles des gaz neutres, tandis que leurs propriétés électromagnétiques (conductivité électrique, indice de réfraction, par exemple) en diffèrent par suite de la présence d’électrons libres en leur sein [1]

I.1. Le plasma :

I.1.1- Définition d’un plasma:

Le plasma est l’état de la matière le plus répandu dans l’univers. Il entre dans la composition des étoiles, des ionosphères et des magnétosphères, ainsi que dans la composition des décharges électriques naturelles (foudre) ou créés par l’homme (lasers, lampes, arcs, etc...).

On peut dire que le plasma est une collection de particules chargées, localisées dans l'espace, avec la densité des charges positives à peu près égale à la densité des charges négatives. Les charges positives sont généralement des ions, atomique ou moléculaire d'où on a enlevé un ou plusieurs électrons.

Les charges négatives sont généralement des électrons, mais dans certains milieux, on peut rencontrer des espèces électronégatives [2]

Si nous prenons un élément de la matière à son état solide et nous commençons à le chauffer, nous retrouverons son évolution comme le montre le schéma de la figure I.1. Cet élément passe graduellement par son état liquide, ensuite à l'état gazeux, puis au plasma. Pour cette raison le plasma est appelé souvent « le quatrième état de la matière » [3].

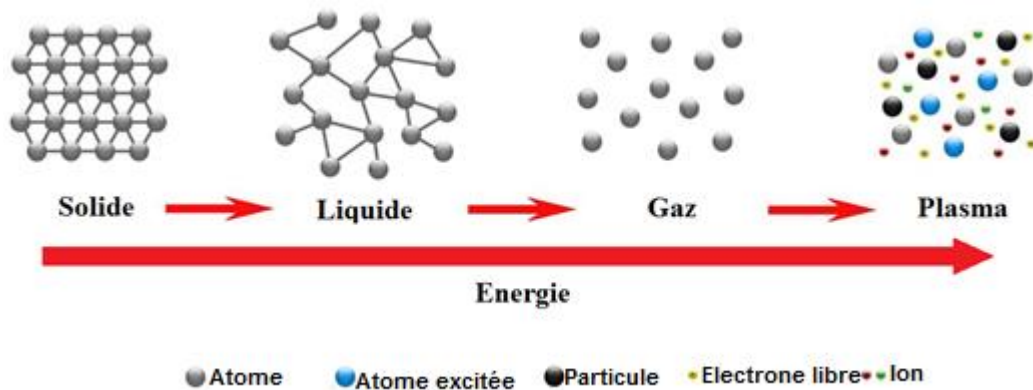


Figure (I.1): Evolution de l'état de la matière avec l'énergie

A la différence des transitions de phase brusque : solide – liquide, liquide – gaz, le passage à l'état ionisé est une transformation continue, de sorte que le degré d'ionisation n_i/n_0 , c'est à dire le rapport de la densité ionique n_i à la densité des atomes neutres n_0 constitue une fonction lisse de la température. Même dans la flamme d'une bougie il y a un petit nombre d'électrons, mais cette flamme ne peut pas être considérée comme un véritable plasma.

Il s'ensuit donc que la définition du plasma doit s'accompagner encore d'une caractéristique quantitative qui indiquerait à partir de quelle densité des particules chargées le gaz ionisé peut être considéré comme un plasma [4].

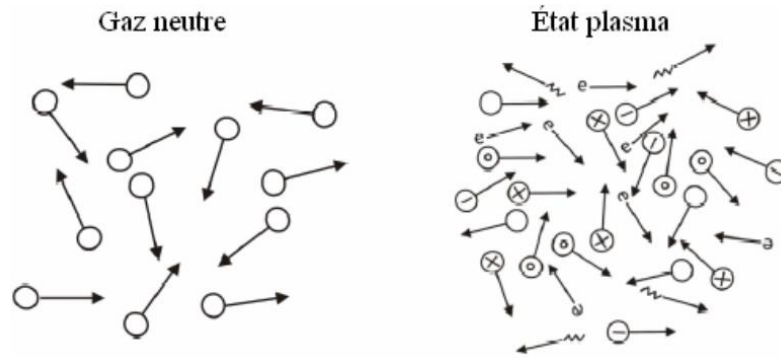


Figure (I.2): Schéma de différence entre gaz neutre et plasma [5]

1.1.2 Catégories de plasma :

- Les plasmas chauds (dit aussi plasma de fusion) où la température dépasse 10^6 K, il peut être complètement ionisé. Les plasmas de fusion sont l'objet du pari ambitieux des scientifiques de réaliser un réacteur nucléaire (tokamak) utilisant l'énergie de fusion entre des noyaux légers de deutérium et de tritium. La température de ces plasmas se chiffre en millions de degrés [6].
- Les plasmas froids sont des milieux faiblement ionisés dont lesquelles la température des particules ne dépasse pas quelque dizaines de milliers de degrés kelvin. Dans les plasmas froids, et $T_e \approx T_h \approx T_i$ hors d'équilibre où les électrons ont des températures beaucoup plus élevées que celles des particules lourdes, $T_e \gg T_n T_i$. A cause de leur grande mobilité, les électrons sont accélérés dans le champs électrique et acquièrent une énergie cinétique importante, alors que les particules lourdes gardent une température ambiante. Les électrons peuvent céder une partie de leur énergie cinétique aux particules lourdes par l'intermédiaire des collisions élastiques [3].
- Les "plasmas thermiques" (arc électrique): on distingue les plasmas thermiques où toutes les espèces de particules (électrons, ions, atomes et molécules) ont des températures voisines, Les électrons, les ions et les neutres ont une température voisine de 10000 à 30000 ° K. Le gaz est presque totalement ionisé (Equilibre thermique)[7].

1.1.3 Types de plasma :

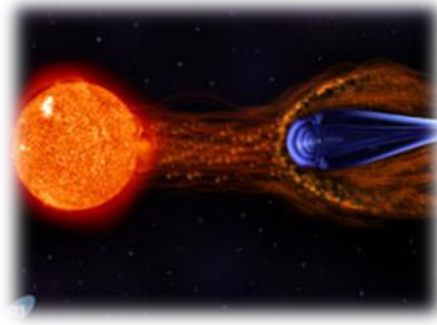
1.1.3.1 Plasmas naturels :

Les plasmas sont toute fois très répandus à travers l'univers, représentant près de 99% de la matière visible : étoiles, nébuleuses, quasars. Très peu répandu sur Terre, puisque très peu propice à la vie, on observe cependant des manifestations maîtrisées de plasma dans des

objets de la vie quotidienne : téléviseurs, tubes à néon, boules ionisantes qui eurent un grand succès décoratif dans les années 90 [8].

❖ Le vent Solaire :

Le soleil produit en permanence un vent solaire. Ce flux permanent de particules ionisées éjectées dans l'espace varie en vitesse et en température au cours du temps en fonction de l'activité solaire [9]



Figure(I.4) : Le vent solaire est un flux de plasma [9]

❖ La Magnétosphère :

La magnétosphère est l'interface entre le milieu interplanétaire et la haute atmosphère terrestre. C'est une vaste région évoluant sous le contrôle du champ magnétique terrestre. La magnétosphère est remplie d'un plasma sans collision, continuellement hors équilibre thermodynamique, turbulent, instable, qui subit des reconfigurations globales quasi-quotidiennes. La magnétosphère a une seule manifestation visuelle, mais de grande qualité esthétique : les aurores polaires. [10]

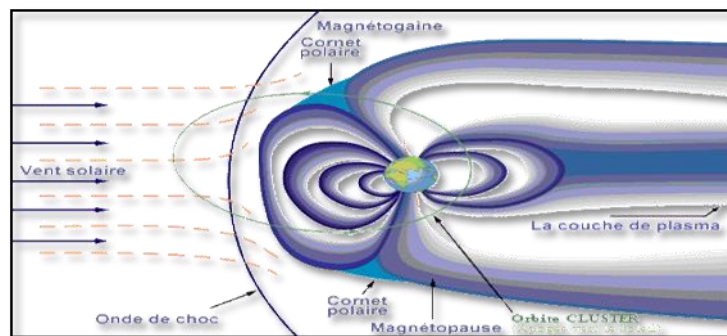


Figure (I.5) : Magnétosphère d'une planète plongée dans le vent solaire [10]

❖ Les aurores polaires :

La reconfiguration de la magnétosphère, décrite précédemment, se traduit par l'apparition des aurores polaires, le plasma solaire arrive dans l'atmosphère terrestre à très grande vitesse. Les particules de ce plasma (électrons et protons) entrent en collision avec les atomes et les

molécules neutres que recèle notre ionosphère, provoquant l'excitation et éventuelles l'ionisation de ces derniers [11]



Figure(I.6) : Les aurores polaires [12]

❖ Les éclaires :

On appelle éclair, le phénomène lumineux naturel accompagné de coups de tonnerre, qui se produit au cours des orages.

Lorsque de l'électricité statique accumulée dans le ciel se décharge brusquement, les gaz de l'atmosphère sont chauffés et ionisés. Il y a formation d'un plasma et émission soudaine de lumière sous la forme d'éclairs[13]



Figure(I.7) : Les éclaires. [13]

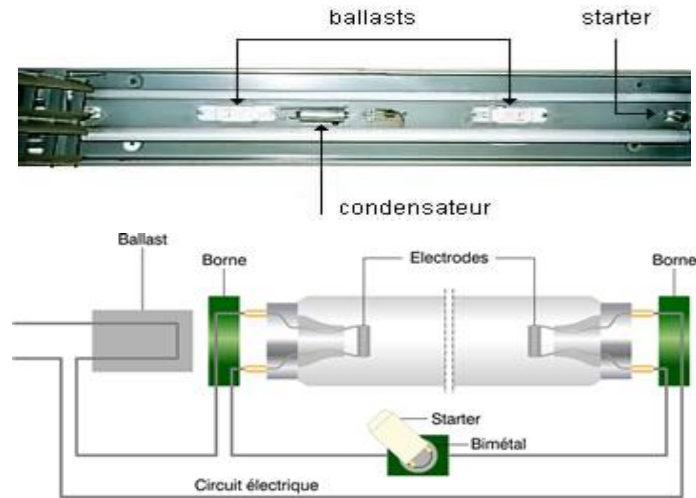
1.1.3.2 Plasmas de Laboratoire :

❖ Lampes fluorescentes :

Les lampes fluorescentes font partie des lampes à décharge. Elles fonctionnent par décharge d'un courant électrique dans une atmosphère gazeuse. Les lampes fluorescentes utilisent de la vapeur de mercure sous basse pression.

Lorsqu'on met le tube sous tension, des électrons sont émis par les deux électrodes de tungstène. Lors de leur trajet au travers du tube, ils entrent en collision avec les atomes de mercure. Il en résulte une libération d'énergie sous forme de rayonnement ultraviolet invisible. Ce rayonnement est absorbé par la couche fluorescente présente sur la face interne du tube et converti en rayonnement visible.

La composition chimique de la couche fluorescente placée à l'intérieur du tube influence la couleur de la lumière émise et l'indice de rendu des couleurs de la lampe [14]



Figure(I.8) : Principe de la lampe fluorescente. [14]



Figure(I.9) : Lampes fluorescentes [15]

❖ Ecrans plasmas :

Un écran plasma est un écran plat dont l'allumage des pixels est réalisé par l'excitation électrique d'un gaz (Argon ou Xénon). Il est constitué d'un ensemble de pixels emprisonnés entre deux substrats en verre. Chaque pixel est composé de 3 cellules gazeuses chacune recouvertes des 3 couleurs primaires (Rouge/Vert/Bleu soit RVB). Chaque cellule dispose de deux électrodes connectées. L'application d'un signal électrique entre ces deux électrodes provoque une décharge électrique dans le gaz entraînant l'émission d'une lumière ultraviolette qui sera convertie en lumière visible grâce aux luminophores (rouge, verte ou bleu). [16]



Figure (I.10): Ecrans plasma [17]

❖ Tokamak :

Un tokamak est en fait un transformateur dans lequel le secondaire est un anneau de plasma traversé par un courant électrique très important, quelques millions d'Ampères, et maintenu en lévitation dans une chambre à vide torique par un champ magnétique toroïdal très intense, supérieur à 4 teslas[18]



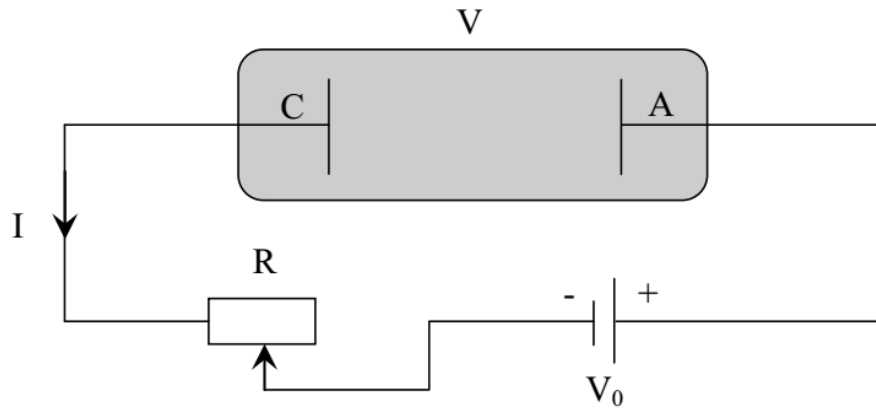
Figure (I.11) : Tokamak [18]

1.1.4. Formation du plasma:

Description macroscopique :

Considérons un gaz à une pression P compris entre deux électrodes métalliques planes parallèles séparées par une distance d . Une tension V est appliquée entre les deux électrodes. Les gaz étant de bons isolants, aucun courant ne le traverse. Des instruments perfectionnés peuvent détecter un courant de l'ordre de 10^{-15} A dûs aux charges générées par les rayons cosmiques ou la radioactivité. Mais si la tension dépasse une valeur critique V_d dite tension disruptive, il y a claquage : on mesure brutalement une intensité dans le circuit et on observe une émission lumineuse. Tant que la source ne limite pas le courant, le gaz reste conducteur; une décharge électrique autonome a lieu. La valeur de la tension disruptive est donnée par la

courbe de Paschen qui est une fonction du produit de l'épaisseur d par la pression P et dépend de la composition du gaz. 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 [19].



Figure(I.12) : Circuit d'alimentation d'un tube à décharge [19].

I.1.5. Paramètres physiques fondamentales dans les plasmas :

Les milieux plasmas n'ont pas les mêmes caractéristiques et peuvent être ainsi classifiés en fonction de certains paramètres précis. Ces paramètres sont essentiellement :

➤ *Densité électronique :*

La densité électronique n_e , est le nombre d'électrons libres par unités de volume (cm^{-3}).

➤ *Taux d'ionisation :*

Le taux d'ionisations τ_i représente le rapport du nombre d'électrons libre n_e sur le nombre de particules totales $n_e + N$, où N est le nombre de particules neutres par unité de volume. Le taux d'ionisation est alors donné par :

$$\tau_i = \frac{n_e}{n_e + N} \quad (I.1)$$

On utilise également le rapport n_e / N qui traduit l'importance des collisions entre particules chargées par rapport aux collisions entre particules chargées et neutres.

➤ *Température électronique :*

T_e , est la température électronique qui correspond à la température absolue en Kelvin (K) des électrons. On utilise aussi parfois l'énergie électronique kT_e (en électronvolt eV) avec k la constante de Boltzmann, sachant que $1 eV = 11600 K$.

➤ *Libre parcours moyen :*

Le libre parcours moyen λ correspond à la distance moyenne parcourue par une particule chargée entre deux collisions. Il dépend de la vitesse des particules, ainsi que de la probabilité de collision.

➤ *Longueur de Debye :*

Dans un plasma, une particule chargée va attirer autour d'elle des charges de signe opposées qui vont écranter son potentiel. La sphère de particules de signe opposées qui se forme autour de la particule chargée est appelée sphère de Debye et son rayon est appelé longueur de Debye.

La longueur de Debye λ_D définit la longueur à partir de laquelle le champ électrique Coulombien issue d'une particule chargée est neutralisé par un ensemble de particules de signe opposées dans le volume environnant. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\lambda_D = \left(\frac{2\varepsilon_0 k T_e}{n_e q_e^2} \right)^{1/2} \quad (I.2)$$

Avec ε_0 la permittivité du vide ($8,84 \times 10^{-12} F/m$) et q la charge élémentaire d'un électron ($1,6 \times 10^{-19} C$) [20]

1.1.5.6. Fréquence plasma :

Le comportement collectif des plasmas se manifeste lorsqu'on écarte le plasma de l'équilibre. Cette réponse se fait à la fréquence plasma électronique :

$$\omega_e = \sqrt{\frac{n_e q_e^2}{\varepsilon_0 m_e}} \quad (I.3)$$

Avec n_e densité électronique et m_e masse de l'électron [1].

I.1.6. Domaines d'applications industrielles du plasma :❖ *Mécanique*

Couches dures, couches anti-usure, couches anti-frottement.

❖ *Métallurgique*

Films protecteurs, anticorrosion, métallisation sur isolant, passivation, oxydation, nitruration.

❖ *Décoration*

Préparation de la surface en vue de son traitement.

❖ *Optique*

Dépôt antireflet, couches protectrices, couches à conduction électrique contrôlée.

❖ *Textile*

Ennoblement de tissu, nettoyage, fonctionnalisation de surface, greffage.

❖ *Microélectronique*

Fabrication de circuits intégrés (succession d'étapes gravure/dépôt/dopage/encapsulation)

Elaboration de motifs de très faible dimensionnalité, de facteur de forme élevé (rapport hauteur/largeur).



Figure (I.13) : Circuit Microélectronique[21]

❖ *Micro technologies*

Elaboration de micro-dispositifs et microsystèmes: micro-capteurs, micro-actionneurs, micro pompes, grâce aux techniques utilisées en microélectronique.

❖ *Sources lumineuses*

Analyse quantitative, Ecran plat à plasma (micro-décharge de cellules de panneaux à plasma).

❖ *Détoxication*

Dépollution des gaz.

❖ *Stérilisation*

Stérilisation à température ambiante d'instruments, d'emballages. [22]



Figure (I.14) : Stérilisateur à Plasma.(Pour instruments médicales)[23]

I.1.7. Phénomènes dans le plasma :

I.1.7.1 Les décharges électriques :

a). historique :

L'étude scientifique des décharges électriques a commencé au XVIII^e siècle par l'observation expérimentale d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des éclairs des orages. Ensuite l'invention de piles suffisamment puissantes a permis à V.V. Petrov de produire le premier arc électrique en 1803 dans l'air. Humphrey Davy en fit ensuite l'étude. Mais ce fut Michael Faraday qui, entre 1831 et 1835, découvrit et commença l'étude des décharges lumineuses en utilisant des tubes contenant des gaz à une pression de l'ordre de 100 Pa sous 1000 V. Par la suite, à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle, la physique des décharges électriques dans les gaz a permis à la physique atomique de faire ses premiers progrès avec les travaux de William Crooke et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge. Vers 1900, un élève de Thomson, Townsend, réalisa la première modélisation d'une décharge, correspondant au cas de la décharge lumineuse en champ uniforme. Langmuir travailla aussi sur les décharges et introduisit le concept de plasma. Au cours du XX^{ème} siècle on passa à l'exploration des décharges en fonction de la fréquence, tandis que la modélisation progressait en raison du développement d'applications de plus en plus nombreuses des décharges. Le mot « plasma » apparaît lui même dans les années 1920, sous la plume de l'Américain I. Langmuir, qui étudie la décharge dans les gaz. [24].

b). Définition :

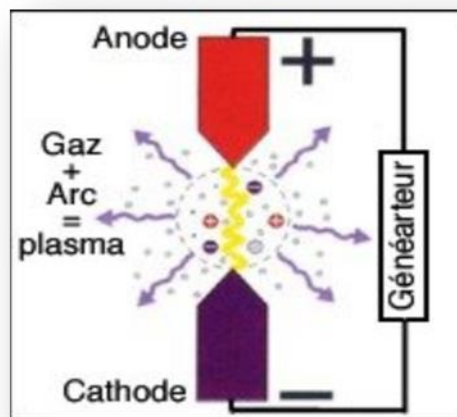
On sait que les gaz sont généralement des bons isolants néanmoins, sous certaines conditions, il est possible de les faire traverser par un courant de particules chargées, on dit alors que le gaz est le siège d'une décharge. On entend alors par décharge électrique l'ensemble des

phénomènes qui accompagnent le passage d'un courant électrique dans un milieu gazeux. Les premières études sur les décharges effectuées par le physicien Britannique Michael Faraday. Le gaz que nous désirons ioniser, est injecté dans une enceinte confinée sous vide partiel ou à pression atmosphérique. Le plasma est ensuite généré par l'action d'une décharge électrique dans le gaz, qui a pour rôle de transférer de l'énergie à ce gaz pour l'exciter et l'ioniser. En effet, du fait de leur faible masse, les électrons libres récupèrent l'essentiel de cette énergie et provoquent, par collisions avec les particules lourdes du gaz, leur excitation et ionisation et donc l'entretien du plasma. Une décharge, c'est une conversion rapide de l'énergie électrique en énergie cinétique, puis en énergie d'excitation et d'ionisation des atomes et des molécules [25].

c). Méthodes d'obtention :

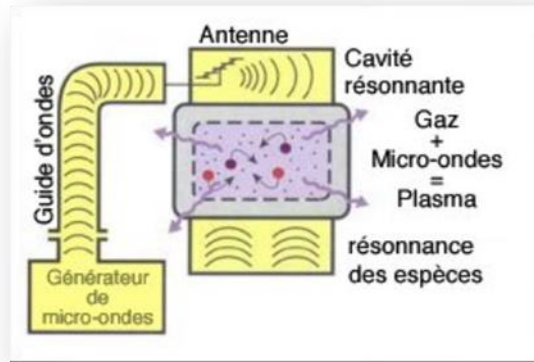
La décharge électrique s'obtient de diverses manières :

Soit par un système avec électrodes sous un champ électrique important. Il s'agit des décharges en courant continu (décharges lumineuses et décharges couronnes).



Figure(I.15) : Décharge encourant continu [19]

Soit par un système sans électrodes sous un champ électromagnétique variable de type basses fréquences, radiofréquences (à couplage capacitif ou inductif) ou micro-ondes.



Figure,(I.16) : Décharge sans électrodes [19].

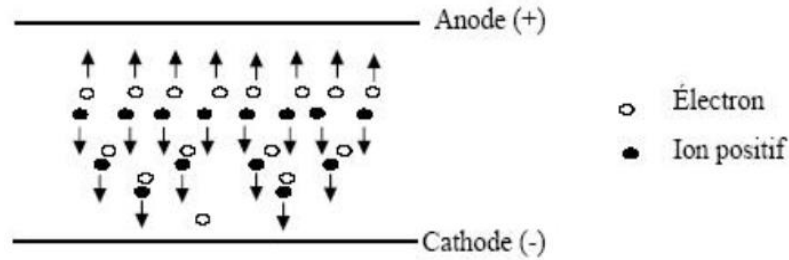
Si la décharge alimentée en continu ou en radiofréquences est accompagnée d'un champ magnétique, on a une décharge de type magnétron. La présence d'un champ magnétique intense dans un champ électromagnétique micro-ondes conduit à un processus d'excitation du plasma à la résonance cyclotronique électronique [19].

1.1.7.2. Mécanismes de formation et processus physiques des décharges électriques :

Un électron placé dans un champ électrique uniforme ($E = V/d$, où V est la différence de potentiel appliquée entre deux électrodes de distance d) est accéléré et peut ioniser des atomes ou des molécules, tel que $A + e^- \rightarrow A^+ + 2e^-$. L'ionisation d'une espèce conduit donc à la formation d'une particule chargée et à la libération d'un électron supplémentaire, qui à son tour va être accéléré et acquérir une énergie suffisante pour ioniser une seconde particule. Ce mécanisme d'ionisation successive est connu sous le nom « d'avalanche électronique » ou « décharge de Townsend » [20]

C'est ce phénomène, qui provoque un accroissement exponentiel de la densité de charge électronique lorsqu'on s'éloigne de l'électrode. Ceci est montré sur la figure (I.17).

Pour que la décharge soit auto-entretenu, il est nécessaire que tout électron qui quitte la zone d'ionisation soit remplacé. Chaque électron doit créer suffisamment d'ions positifs, de photons et d'espèces métastables pour qu'au moins l'un d'eux puisse produire un nouvel électron. Sous l'influence du champ électrique appliqué, toutes les particules ainsi créées vont se déplacer dans l'espace inter-électrodes et générer un courant électrique, le courant de décharge [26].



Figure(I.17) : Avalanche électronique [27].

Cette avalanche peut être étudiée quantitativement à partir de la connaissance du coefficient α , dit premier coefficient d'ionisation de Townsend. α , représente le nombre d'électrons (ou d'ions positifs) créés par un électron par élément de longueur le long d'une ligne de force du champ appliqué [28].

Une expression empirique exploitable considère que l'énergie thermique des électrons est acquise par le travail du champ électrique sur une distance de l'ordre du libre parcours moyen. Or ce dernier est inversement proportionnel à la pression. Donc, en introduisant les constantes A et B déterminées expérimentalement, on a [26] :

$$\alpha = AP \exp\left(-\frac{BP}{E}\right) \quad (I.4)$$

P : la pression.

E : le champ électrique appliqué.

α : le premier coefficient d'ionisation de Townsend.

A et B sont deux constantes positives relatives au gaz utilisé.

1.1.7.3. La structure spatiale de la décharge :

En régime luminescent normal, la décharge est structurée en une succession de couches sombres et lumineuses, représentées dans la figure (I.18), de la cathode vers l'anode, se succèdent :

- La chute cathodique, caractérisée par un champ électrique intense puisque la plupart de la tension appliquée aux bornes des électrodes est localisée dans cette région. Elle est constituée de l'espace sombre d'Aston, de la gaine cathodique et de l'espace sombre d'Hittorf
- La lueur négative.

- L'espace sombre de Faraday.
- La colonne positive. Région à champ électrique faible, si la distance inter-électrodes est suffisamment grande (cette région sera étudiée dans notre travail).
- La zone anodique, comprenant la lueur anodique et l'espace sombre anodique.

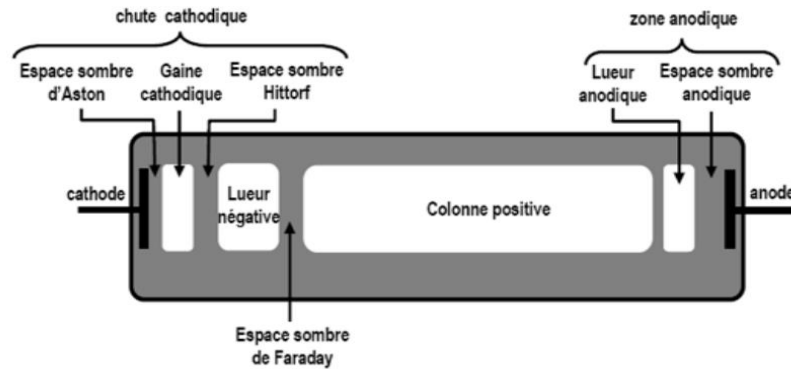


Figure (I.18) : Structure d'une macro-décharge à basse pression générée entre deux plans parallèles, et fonctionnant en régime luminescent normal[29].

Si la distance inter-électrodes diminue à pression constante, la colonne positive se rétrécit puis finit par disparaître, alors que les dimensions des autres zones restent inchangées. Si la pression augmente pour une distance inter-électrodes fixée, toutes les zones lumineuses et sombres s'affinent et se déplacent vers la cathode [30].

1.1.7.4. Le Claquage dans les gaz :

Le claquage électrique, visible à l'œil nu par l'étincelle ou la décharge produite, correspond au moment où le champ électrique dépasse la valeur seuil nécessaire à l'amorçage de la décharge [26].

Les plasmas peuvent être générés en faisant passer un courant électrique à travers un gaz. Comme les gaz à température ambiante sont d'excellents isolants, il convient de générer un nombre suffisant de porteurs de charge pour rendre le gaz conducteur. Cela est connu sous le nom de phénomène de claquage électrique et peut être accompli de différentes manières (le claquage crée un chemin conducteur entre une paire d'électrodes et induit une décharge dans le gaz) [31]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le plasma, sa formation, ces catégories, ces différents types et les décharges électriques et notamment on a cité les domaines d'applications industrielles des plasmas.

Introduction

Un gaz est constitué d'un grand nombre de particules de différents types, atomes, molécules, ions, électrons en agitation incessante [28]. En l'absence de champ électrique, les particules de gaz sont soumises à l'agitation thermique, et subissent une multitude de chocs. Ces chocs peuvent être élastiques, sans transfert d'énergie de la particule incidente vers la particule cible, ou parfois non-élastiques, avec transfert total ou partiel d'énergie. Ces chocs ont pour cause des agents extérieurs tels que la radioactivité terrestre et atmosphérique, ainsi que les différents rayonnements cosmiques [32].

II.1. Décharge à barrière diélectrique (DBD) :

Les décharges contrôlées par barrière diélectrique (DBD) ont été proposées par Siemens [32] en 1857. Historiquement, ce type de décharge a d'abord été qualifié de " décharge silencieuse " par Andrews et Tait dès 1860, et le terme est encore rencontré de nos jours .

Elle servait initialement pour la production d'ozone. Avec le temps, la gamme d'application de ces décharges est devenue plus vaste , parmi les ces applications nous citons : le traitement de surface, les écrans plasma, le contrôle de l'écoulement, la dépollution, le dépôt de couches minces [33, 34, 35].

En 1932, Buss découvrit le caractère filamentaire des DBD à pression atmosphérique, c'est-à-dire le fait qu'elles sont constituées de micro-décharges d'environ 100 μ m de rayon et d'une durée de quelques dizaines de nanosecondes .Ce caractère filamentaire de la décharge peut présenter des inconvénients dans des applications telles que le traitement de surface [36] .

Pourtant, le procédé corona qui utilise une DBD filamentaire est utilisé depuis plus d'une trentaine d'années pour le traitement de surface c'est même la technique la plus répandue pour la modification de surface dans l'industrie des films plastiques et des fibres [37].

II.1.1. Définition :

On appelle "décharge à barrières diélectriques", le type de décharge dans un gaz caractérisé par la présence d'au moins une épaisseur de matériau diélectrique dans le gap [38].

Les applications des DBD concernent actuellement et principalement les traitements chimiques à pression atmosphérique: génération d'ozone, traitements de surface, dépôt de couches minces [39, 40] et la génération de photons UV pour les panneaux à plasma [41] [42],

les lampes à excimères, etc. Il est possible de générer des DBD dans une gamme élevée de pressions et pour différentes natures de gaz. La capacité du diélectrique limite le courant électrique dans le système, permettant ainsi la génération d'un plasma froid même à pression atmosphérique. Dans ces conditions le régime de fonctionnement dominant des DBD est filamentaire [43]. Les charges s'accumulant sur le diélectrique limitent l'extension des micro-décharges, empêchant la formation d'arcs électriques, de plus le diélectrique permet la distribution des micro-décharges de manière quasi uniforme sur la surface de la décharge [44]. Si le régime filamentaire des DBD est majoritairement observé, il est toutefois possible d'obtenir une DBD homogène à haute pression[45,46]. Des DBD homogènes ont été obtenues notamment par pré-ionisation, permettant à la décharge de s'étendre spatialement au lieu de former une micro-décharge [47,48]. Les DBD ne peuvent être alimentées que par des signaux alternatifs, le couplage capacitif du diélectrique rendant le système électrode-diélectrique semblable à une capacité [46]. Les signaux peuvent être de différentes formes : sinusoïdaux carrés ou impulsionnels [45]

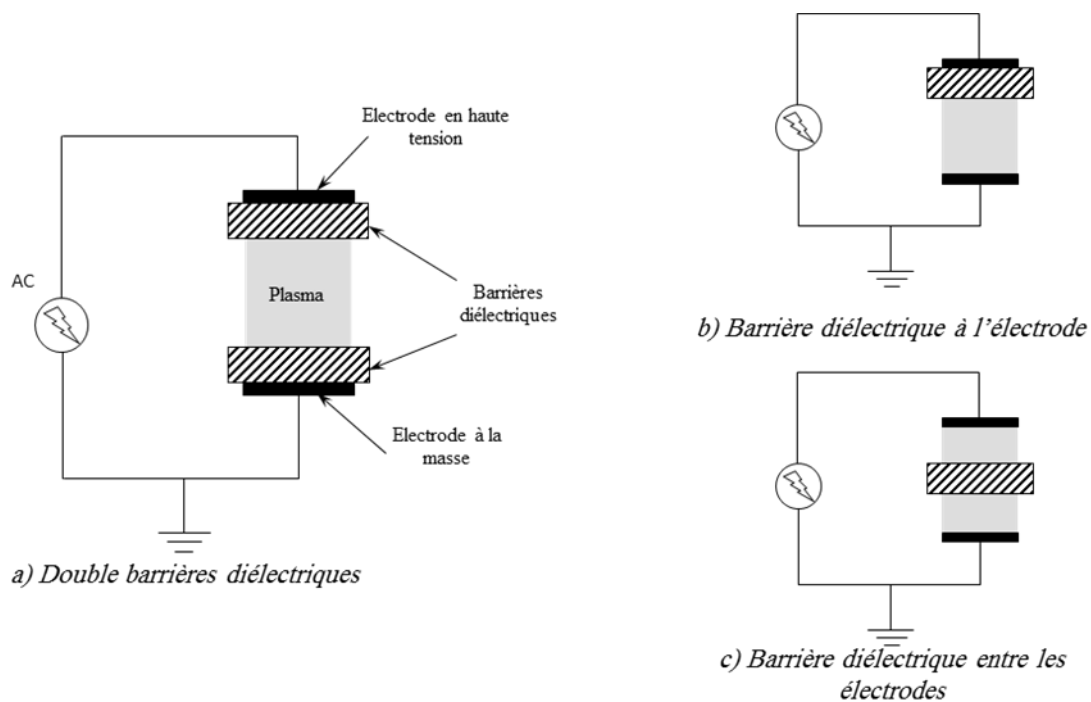


Figure (II.1) : a) Double barrières diélectrique, b) Barrière diélectrique à l'électrode, c) Barrière diélectrique entre l'électrode [27].

II.1.2 Application des DBD :

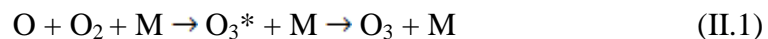
Toutes les applications utilisant les DBD s'appuient en général sur des processus similaires. En effet, l'application d'un champ électrique initie la décharge dans laquelle se forment des

particules chargées, des espèces excitées et des radicaux libres. Les réactions issues de la présence de ces espèces instables conduisent à des changements chimiques dans la composition du gaz ou sur objets placés au contact de ce gaz [39].

II.1.2.1. Génération d'Ozone :

La première et la plus importante des applications des DBD est la génération d'ozone provenant du traitement de l'air ou de l'oxygène.

La synthèse de l'ozone dans les DBD est réalisée par la réaction chimique :



Avec :

- M peut être une molécule d'oxygène ou une molécule d'azote si l'air est utilisé ;
- O_3^* désigne une molécule d'ozone dans un état excité.

Il est à noter que cette réaction est favorisée par des pressions élevées (1–3 bars) et de basses températures du gaz [49].

II.1.2.2 Traitements de surface

L'utilisation des DBD pour les traitements de surface couvre un large intervalle. Nous pouvons en citer entre autres les applications suivantes :

- Modification des propriétés de la surface d'un matériau ;
- Amélioration des propriétés d'adhésion, de mouillabilité,
- Traitement des textiles ;
- Traitement de polymères, dépôt de SiO_2 ;
- Nettoyage de surfaces (silicium, aciers...);
- Désinfection, stérilisation [50].

II.1.2.3. Les écrans plasmas (PAP: Panneaux à plasma) :

Les afficheurs à écran plasma utilisant le rayonnement VUV à xénon pour exciter le phosphore. Cette idée est l'œuvre de deux professeurs de l'Université de l'Illinois, Bitzer et Slottow et fut inventée en 1964. Un afficheur à écran plasma est constitué de deux verres plats

séparés par un gap d'environ 100 μm rempli d'un mélange de gaz rare (généralement Ne/Xe ou Ne/Xe/He) capable d'émettre des rayonnements UV

Cette technique est aussi utilisée dans les lampes à excimère destinées à l'éclairage [51].

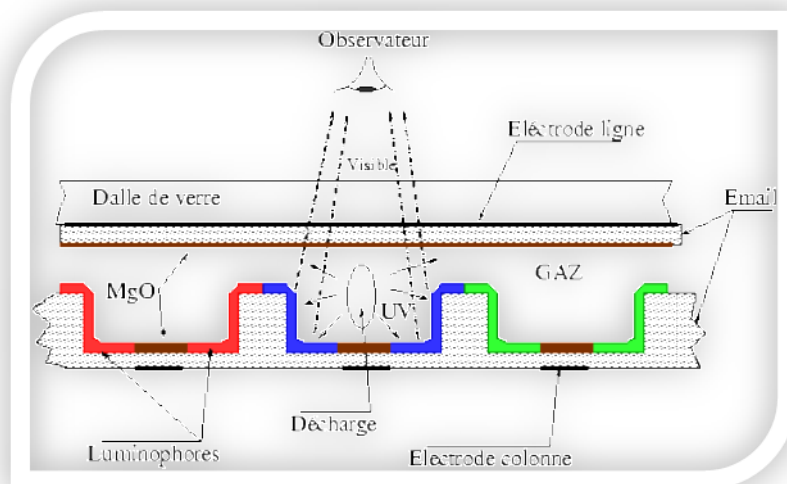


Figure II. 2 : Coupe transversale d'un écran à plasma à géométrie matricielle. La décharge s'effectue entre une électrode ligne et une électrode colonne. La largeur d'une cellule est comprise entre 125 μm pour un écran 19 pouces et 310 μm pour un écran 24 pouces [52].

II.2.Lampes à excimère :

II.2.1. Définition d'une lampe à excimère:

Les lampes excimères sont de nouvelles sources d'UV capable de délivrer une haute puissance, une haute efficacité et une gamme de radiations entre 354 nm et 126 nm, ces lampes permettent de choisir des radiations UV intense à des longueurs d'onde spécifique qui peuvent générer sélectivement certaines radiations. Cependant quelques lampes sont facilement utiliser pour la chimie industrielle et la photo-physique tel que modifier les surfaces, la photo-déposition des films minces et la photo dégradation d'une variété de polluants.

Quand les DBD sont actionnés à haute pression en gaz rares ou mélanges gaz rares/halogène, chaque micro-décharge peut agir en tant que source intense des radiations UV ou VUV. Pendant les dernières décennies des lampes puissantes et efficaces à excimère ont été développées et ont trouvées plusieurs applications industrielles dans les processus induisant les radiations UV et VUV [53].

Pour des applications industrielles à grande échelle, la DBD utilisant des configurations assez simples de décharge représente actuellement la technologie des lampes à excimère la plus importante.

Leurs principaux avantages sont :

- La simplicité.
- Le rendement élevé.
- Le prix et taux de pollution réduit.

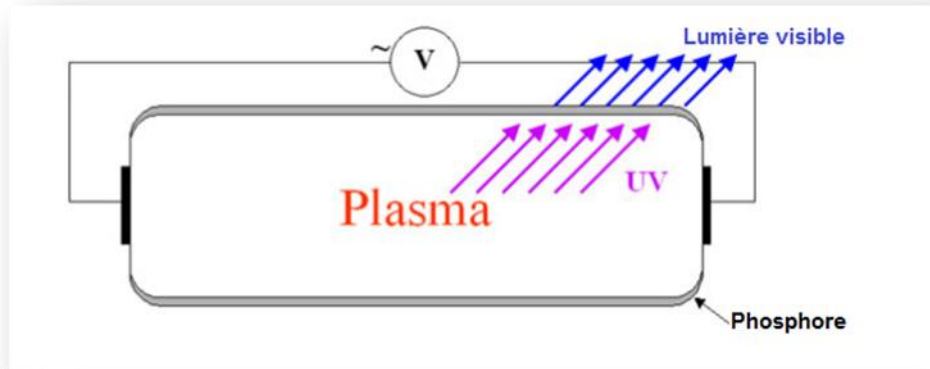


Figure (I.3) : Principe de la lampe excimère [27]

II.2.2. Les applications des lampes à excimère :

Les applications les plus récentes des lampes à excimère incluent le traitement par radiations UV des polymères photo-réactive, la photo déposition de grandes surfaces des couche minces de métal ou de semi-conducteur et des couches d'isolation à constante diélectrique élevées et basses, la photo assistance d'oxydation à basse température de Si, de SiGe et de Ge, la gravure des polymères et la micro structuration des surfaces des polymères. Les applications étudiées jusqu'ici démontrent clairement que les systèmes des lampes à excimère d'alimentation électrique élevée peuvent fournir une alternative intéressante aux lasers à excimère pour le traitement industriel des matériaux à basse température [53]

D'autres applications des lampes à excimère concernent les points suivants :

- ❖ *Inactivation UV des systèmes biologiques.*
- ❖ *Photothérapie UV des maladies de la peau.*

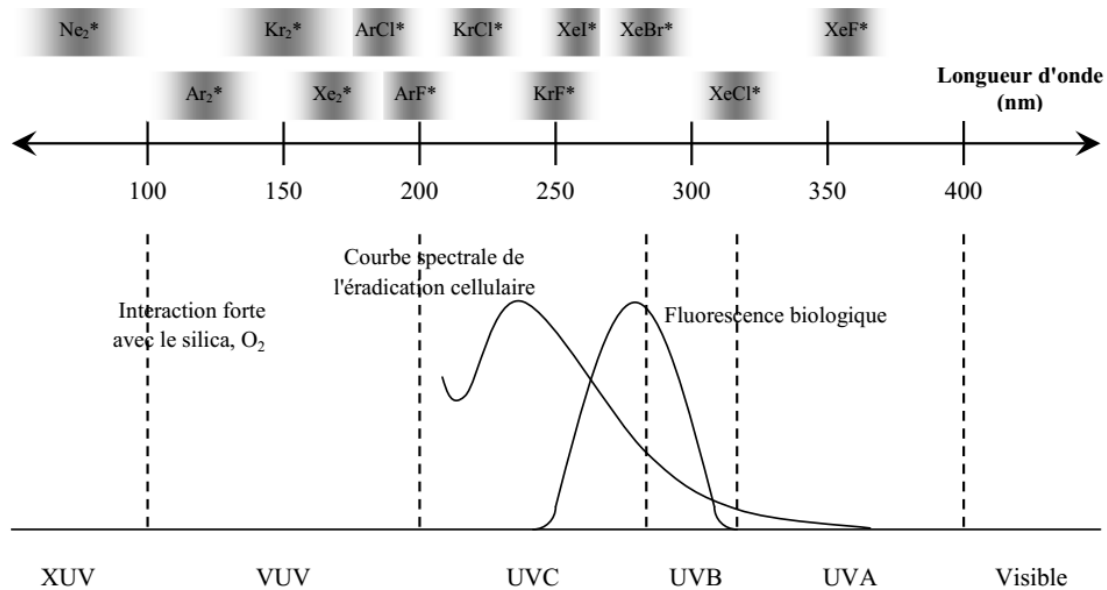


Figure (II.4): Domaine d'émission des différents excimères et exciplexes [27]

La gamme des rayonnements UV est subdivisée en plusieurs catégories:

Les **XUV**, qui correspond à des longueurs d'onde proches de celles des rayons X. Ils s'étendent de quelques nanomètres à 100nm.

Les **VUV** sont des rayonnements ultraviolets présentant une forte interaction avec l'oxygène. Ils ne se propagent donc pas dans l'air et leur appellation est liée à leur utilisation généralement sous vide. La gamme de longueur d'onde qu'ils couvrent commence à la limite des XUV et s'arrête à 200nm.

Les **UVC**, entre 200nm et 280nm : ils se propagent dans l'air mais n'y sont pas naturellement présents puisque ceux produits par le soleil sont arrêtés par la couche d'ozone atmosphérique.

Les **UVB**, entre 280nm et 315nm : ils traversent la couche d'ozone et sont donc présents à la surface de la terre. Ce sont les responsables majeurs de l'érythème (coup de soleil).

Les **UVA**, entre 315nm et 380nm (limite du domaine visible) : ils interviennent dans la pigmentation de la peau suite à une exposition au soleil (bronzage).

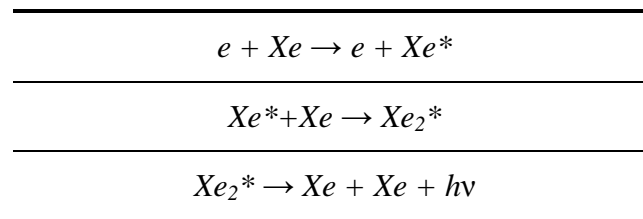
En fonction de la nature du mélange de gaz dans lequel s'établit la décharge, le rayonnement des excimères et des exciplexes couvre une vaste gamme de longueur d'onde qui s'étend des UV proches aux UV lointains comme indique la figure II.4 [27].

II.2.3 Excimère :

L'excimère, qui doit son nom à la contraction en anglais de « excited dimer », est une molécule excitée et instable, formée par deux atomes d'un gaz rare. Cette molécule libère une énergie en forme de photon, lors de son retour à l'état fondamental (deux atomes), avec une longueur d'onde qui dépend du gaz [27, 55].

Si nous prenons le cas du Xe, les réactions présentées dans le tableau II.1, sont celles qui vont créer l'excimère et ensuite rayonner dans l'UV :

Tableau II.1 Réactions présentes dans le Xe pour la production de l'UV à 173 nm



Initialement, un électron énergétique généré par le courant électrique de décharge, rentre en collision avec un atome de Xe, produisant un Xe excité ou «Xe*» (présentant une énergie supérieure à celle de l'état fondamental).

- Ensuite, il y a une association entre le Xe* et un atome de Xe, qui génère l'excimère «Xe₂*». Cette espèce excitée à une énergie plus grande que celle de la somme de deux atomes de Xe.

- Finalement, l'excimère Xe₂* revient à son état fondamental (deux atomes de Xe), libérant le surplus d'énergie $\Delta E = E_i - E_f$ sous forme de photon. Le calcul de la longueur d'onde rayonné se fait avec l'équation (II.1), où h est la constante de Plank et c est la vitesse de la lumière [45].

$$\lambda = \frac{hc}{\text{Energie}} \cong 173\text{nm} \quad (\text{II.1})$$

II.2.4. Formation des excimères :

Le terme excimère est généralement réservé aux molécules homo-nucléaires A₂*, le terme exciplexe étant consacré aux molécules hétéro-nucléaires.

Dans les gaz rares la création de molécules excimères passe par des collisions à trois corps :



II.2.5. Niveaux atomiques et moléculaires du xénon :

Sur la figure (II.5) sont représentées les courbes de potentiel de la molécule de xénon Xe_2^* pour les différents états impliqués dans l'émission de la décharge électrique dans une lampe à plasma. Les questions relatives à l'émission des gaz rares dans l'ultraviolet, aux potentiels d'interaction diatomiques dans l'état fondamental et aux divers états excités des gaz rares diatomiques ont fait l'objet de beaucoup de travaux expérimentaux et théoriques. Excepté un minimum de Van der Waal très faible, l'état fondamental de la molécule Xe_2^* est dissociable [24].

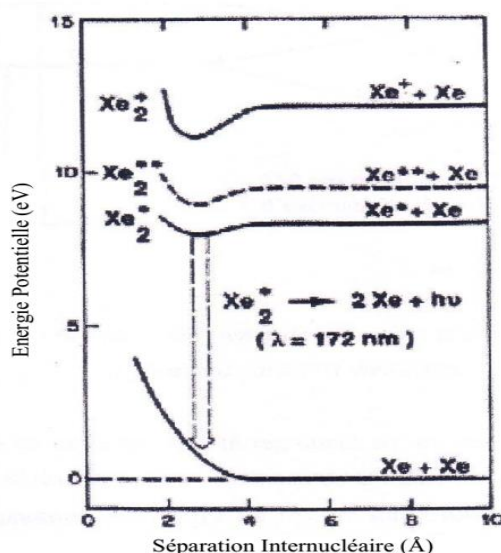


Figure (II.5) : Diagramme d'énergie potentiel du xénon [24]

II.2.6. Cinétique et émission UV du xénon :

II.2.6.1. Émissions du mélange Ne/Xe :

L'émission du xénon est le fait de la désexcitation des états d'énergie dits « résonants » et « métastable ». Un état résonant d'un atome de gaz rare (noté 3P_1) est un état excité qui ne peut se désexciter spontanément que vers le niveau fondamental ; un photon émis lors de cette transition peut être absorbé par un autre atome, provoquant l'émission d'un autre photon, lui-même absorbé et ainsi de suite. Un tel photon n'atteindra la couche de luminophores qu'après de multiples réémissions.

Un état métastable est un état d'énergie dans lequel l'atome peut subsister pendant un temps relativement « long » (par rapport aux échelles de temps des phénomènes atomiques) mais qui n'est pas l'état fondamental.

1.2.6.2 Émission VUV : espèces considérées

Dans le mélange Ne/Xe deux états peuvent être distingués : les états moléculaires et les états atomiques excités (niveaux résonant et métastable). L'état d'énergie résonant est directement responsable de l'émission VUV à 147nm par désexcitation directe vers le niveau fondamental.

Le niveau métastable entraîne la formation d'excimères, états moléculaires excités du xénon notés $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)$ qui se désexcitent en émettant principalement des photons de 173nm et dans une moindre proportion à 150nm. Deux autres excimères émettant spontanément des photons de 173nm et 150nm sont produits directement ou indirectement par le niveau résonant : $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ et $\text{Xe}_2^*(\text{O}_u^+)$.

Les états résonant et métastable sont produits directement par collisions électroniques avec les atomes du gaz, mais également par désexcitation d'états du xénon de niveaux d'énergie supérieure. Par simplification, un état d'énergie fictif noté Xe^{**} regroupe l'ensemble de ces états ayant une énergie comprise entre 9,45eV et 10,59eV. Enfin, lors de collisions à trois corps, les états Xe^+ et Xe_2^+ peuvent être formés [56].

A l'équilibre, et en l'absence de forces extérieures, un gaz est constitué d'un ensemble de particules uniformément réparties, dont les vitesses n'ont aucune direction privilégiée (distribution isotrope). L'énergie de chaque particule peut être stockée sous différentes formes, énergie de translation dans le cas d'un atome, énergie de rotation et de vibration dans le cas d'une molécule [28].

Dans le cas simple d'un atome en translation, son énergie est définie à partir des composantes cartésiennes de la vitesse, d'où elle est égale à [32]

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T \quad (\text{II.3})$$

v : est la vitesse quadratique moyenne de la particule.

T : la température thermodynamique.

k_B : la constante de Boltzmann ($k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

m : la masse de la particule.

Il en résulte que pour un gaz composé de particules de masses différentes mais à température uniforme, les plus rapides sont aussi les plus légères. En particulier les électrons sont animés de vitesses très supérieures à celles des atomes ou des ions lourds.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le décharge barrière diélectrique et sur les lampes à excimère et précisément la cinétique chimie et émission du mélange Ne/Xe.

Introduction

Plusieurs recherches ont été consacrées à l'étude de la cinétique chimique en utilisant le modèle zéro-dimensionnel (0D) pour différents gaz et mélange de gaz.

Bychkov et al. [57] ont développé un modèle pour laser dans le mélange Xe/Cl dans une décharge homogène incluant un système d'équations décrivant les évolutions temporelles de la concentration des particules du plasma. Loukil et al. [58] ont utilisé le modèle 0D pour la lampe à excimère dans un gaz de xénon pur dans le but d'étudier la cinétique chimique. Baadj et al [59] ont présenté une approche électrique et chimique pour étudier les propriétés de la lampe pour un mélange de gaz Xe/Cl excitée par une DBD, dans le but de contrôler l'émission UV. L'étude, basée sur un modèle de décharge homogène comprenant un module électrique, un module de particules et un module cinétique chimique, fournit une analyse quantitative de l'évolution dans le temps de certaines propriétés électrique et chimique de décharge.

III.1. Modèle de calcul

III.1.1. Modèle zéro-dimensionnel du plasma (0-D) :

Le modèle 0-D considère le plasma comme un milieu homogène, et uniforme dont la conductivité est variable dans le temps, cette dernière est liée à l'évolution de la densité des électrons dans le plasma. Ce modèle est géré par trois systèmes d'équations couplées :

- 1) *Equation du circuit de la décharge.*
- 2) *Equation de Boltzmann.*
- 3) *Un système d'équations cinétique pour les espèces considérées.*

En introduisant les taux de réactions des électrons, les systèmes (2) et (3) servent à obtenir la densité et la mobilité des électrons, qui sont utilisées pour déterminer la résistance du plasma intervenant dans le système (1). Le modèle utilisé dans notre travail a été développé par Khodja et al [60], il décrit les caractéristiques électriques et cinétiques de notre lampe excimère.

III.1.2. Description de la lampe à excimère et du circuit électrique équivalent :

La lampe à excimère est schématisée sur la figure (III.1.a), elle est simplement représentée par un circuit de électrique équivalent qui est constitué d'une résistance variable dans le temps équivalente au plasma (R_p), en série avec une capacité équivalente pour les deux diélectriques

(Ca) qui est calculé à partir de ça permittivité ϵ_r , de la surface des électrodes A et de la distance inter-électrodes d (voir figure III.1(b)) :

$$C_d = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (III.1)$$

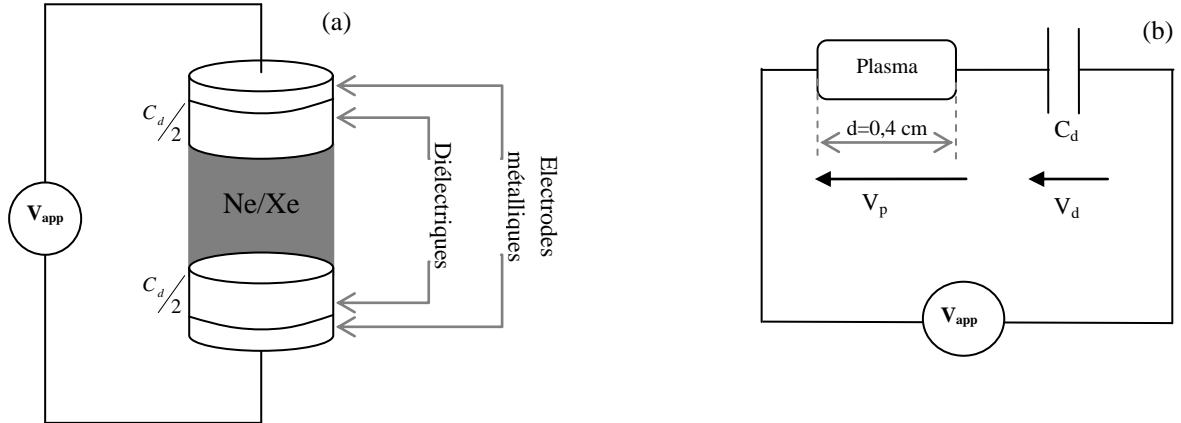


Figure III.1 : (a) Schéma de la lampe à excimère, (b) Schéma du circuit électrique équivalent à la lampe à excimère[27].

V_d et V_p sont respectivement la tension aux bords de la capacité équivalente et la tension du plasma. Donc selon le schéma illustré sur la figure (III.1.b) la tension totale appliquée est la somme des deux tensions V_d et V_p , on peut écrire alors la formule suivante :

$$V_{app}(t) = V_d(t) + V_p(t) \quad (III.2)$$

La décharge est traversée par un courant I . Si on considère la tension V_p aux bords de la résistance R_p on peut écrire

$$I(t) = \frac{V_p(t)}{R_p(t)} \quad (III.3)$$

La tension V_d est déduite à partir de l'équation suivante :

$$V_d = \frac{1}{C_d} \int I(t) dt \quad (III.4)$$

[19].

III.1.3. L'équation de Boltzmann :

Il est évidemment impossible de décrire dans une décharge luminescente le mouvement de chaque particule. Pour éviter cela, on introduit la notion de fonction de distribution pour chaque espèce. L'équation de Boltzmann qui permet d'obtenir la fonction de distribution de chaque espèce $f_s(r, v, t)$ avec $f_s(r, v, t) d^3 r d^3 v$ est le nombre de particule dans le volume $d^3 r d^3 v$ autour du point (r, v) au temps elle résolue en simulant les trajectoires d'un ensemble de particules dans l'espace des phases[19].

$$\frac{\partial f_s}{\partial t} + v \frac{\partial f_s}{\partial x} + a \frac{\partial f_s}{\partial v} = \left\{ \frac{\partial f_s}{\partial t} \right\}_{coll} \quad (III.5)$$

C'est l'équation d'évolution de la fonction de distribution des ions ou des électrons. Les différents termes peuvent être explicités de la façon suivante:

$\frac{\partial f_s}{\partial t}$: Représente le taux local de variation de f au point (r,v) en fonction du temps.

$v \frac{\partial f_s}{\partial x}$: C'est le terme de variation de f par suite de la diffusion des ions ou des électrons, c'est à-dire la tendance du gaz à se relaxer vers un état d'équilibre.

$a \frac{\partial f_s}{\partial v}$: Ce terme traduit l'action des forces extérieures sur les particules, a étant l'accélération des forces extérieures dues à l'action des champs électrique et magnétique.

$\left\{ \frac{\partial f_s}{\partial t} \right\}_{coll}$: Est le terme de collision qui rend compte de la variation de la fonction de distribution sous l'effet des collisions avec les neutres. C'est-à-dire la redistribution des ions ou des électrons dans l'espace des vitesses sous l'effet des collisions.

A partir de cette fonction de distribution, on peut avoir accès à toutes les grandeurs macroscopiques comme la densité, la vitesse moyenne, et l'énergie moyenne [27].

III.1.4. Modèle de la cinétique chimique du mélange Ne/Xe :

Dans notre lampe le rayonnement ultraviolet est produit par la désexcitation radiative des niveaux atomiques et moléculaires élevés du xénon. La création de l'excimère Xe_2^* est gouvernée par les collisions à trois corps d'un atome excité avec un autre atome du xénon neutre ou un atome du néon neutre. En plus des réactions qui se produisent entre atomes de même type (xénon-xénon), il existe des réactions entre atomes différents (néon-xénon). Les deux réactions mènent à la création de la molécule Xe_2^* . L'ionisation et l'excitation du néon ne sont pas prises en considération dans les réactions cinétiques du mélange Ne/Xe, ces types de collisions sont souvent négligeables car la densité du néon excité est directement intégrée dans la densité de l'ion Xe^+ . Le mélange gazeux utilisé par Khodja et al. [27], [60], [61], [62] ; a été largement étudié. Les taux de réactions se produisant dans ce mélange sont bien

connus dans la littérature. Le tableau suivant (tableau (III.1) [27])dévoile les réactions prises en compte avec les références des taux de réactions tabulés.

Dans le schéma cinétique du mélange Ne/Xe, les équations cinétiques sont faites pour 16 espèces chimiques différentes :

- Electron.
- Espèces ionisées: Xe^+ , Xe_2^+ , NeXe^+ .
- Espèces excitées: $\text{Xe}^*(^3p_2)$, $\text{Xe}^*(^3p_1)$, Xe^{**} , $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$, $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma u^+)$, $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma u^+)$.
- Photons: $h\nu(147\text{nm})$, $h\nu(150\text{nm})$, $h\nu(173\text{nm})$.

Les coefficients k_1 et k_7 sont respectivement les taux d'ionisation du xénon et du xénon métastable par impacte électronique. k_3 , k_4 et k_6 sont les taux d'excitation du xénon vers les états : métastable, résonnant et fictif.

Les taux des réactions K_8 à K_{15} , et de K_{19} à K_{36} , sont tous supposés constants, ils ont été obtenus par différents travaux effectués sur la cinétique chimique du mélange Ne/Xe utilisés pour la description des écrans à plasma ou des lasers.

Les taux des réactions K ($1 \rightarrow 7$) sont calculés à l'aide du logiciel BOLSIG [66] , développé par J.P. Bœuf et L.C. Pitchford [67].

En ce qui concerne les réactions K_{16} , K_{17} et K_{18} , ils sont en fonction de la température électronique, donc on peut les calculer en introduisant la formule de $E_n = \frac{3}{2} K_B K_e$ (voir le tableau III.1). Les états résonant et métastable sont produits directement par collisions électroniques avec les atomes du gaz, mais également par désexcitation d'états du xénon de niveaux d'énergie supérieure. Par simplification, l'état d'énergie fictif noté Xe^{**} regroupe l'ensemble de ces états ayant une énergie comprise entre 9,45eV et 10,59eV.

L'état d'énergie résonant est directement responsable de l'émission UV à 147nm par désexcitation directe vers le niveau fondamental. Le niveau métastable entraîne la formation d'excimères, états moléculaires excités du xénon notés $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma u^+)$ qui se désexcitent en émettant principalement des photons de 173nm. Deux autres excimères émettant spontanément des photons de 173nm et 150nm sont produits directement ou indirectement par le niveau résonant : $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma u^+)$ et $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$. On suppose que tous les ions Xe^+ se transforment immédiatement en NeXe^+ , et enfin lors des collisions à trois corps, les états Xe^+ et Xe_2^+ peuvent être formés.

Tableau III.1: Processus de réactions élémentaires dans une décharge Ne/Xe pour lampe à excimère

N°	Réactions	Taux de réaction	Réf
<i>Ionisation directe</i>			
1	$e+Xe \rightarrow Xe^+ + 2e$	k1 (tabulé)	[32]
2	$e+Ne \rightarrow Ne^+ + 2e$	k2 (tabulé)	[32]
<i>Excitation</i>			
3	$e+Xe \rightarrow Xe^*(^3p_2) + e$	k3 (tabulé)	[32]
4	$e+Xe \rightarrow Xe^*(^3p_1) + e$	k4 (tabulé)	[32]
5	$e+Ne \rightarrow Ne^* + e$	k5 (tabulé)	[32]
6	$e+Xe \rightarrow Xe^{**} + e$	k6 (tabulé)	[32]
<i>Ionisation par étape</i>			
7	$e+Xe^*(^3p_2) \rightarrow Xe^+ + 2e$	k7 (tabulé)	[32]
8	$e+Ne^* \rightarrow Ne^+ + 2e$	k8 (tabulé)	[32]
<i>Ionisation penning</i>			
9	$Ne^*+Xe \rightarrow Ne+Xe^+ + e$	$k9 = 7,5 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
10	$Ne^*+Xe \rightarrow NeXe^+ + e$	$k10 = 2,3 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Formation des ions dimer</i>			
11	$Ne^+ + 2Ne \rightarrow Ne_2^+ + Ne$	$k11 = 4,4 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
12	$Ne^+ + Xe + Ne \rightarrow NeXe^+ + Ne$	$k12 = 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
13	$Xe^+ + 2Ne \rightarrow NeXe^+ + Ne$	$k13 = 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
14	$Xe^+ + 2Xe \rightarrow Xe_2^+ + Xe$	$k14 = 2,5 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
15	$Xe^+ + Xe + Ne \rightarrow Xe_2^+ + Ne$	$k15 = 1,5 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Recombinaison électron-ion</i>			
16	$Ne_2^+ + e \rightarrow Ne^* + Ne$	$k16 = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ Te}^{-0,43} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[64]
17	$Xe_2^+ + e \rightarrow Xe^{**} + Xe$	$k17 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Te}^{-0,5} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
18	$NeXe^+ + e \rightarrow Xe^{**} + Ne$	$k18 = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Te}^{-0,5} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Réactions ion-atome</i>			
19	$NeXe^+ + Xe \rightarrow Xe^+ + Ne + Xe$	$k19 = 5 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
20	$NeXe^+ + Xe \rightarrow Xe_2^+ + Ne$	$k20 = 5 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Cinétique des neutres</i>			
21	$Xe^{**} + Ne \rightarrow Xe^*(^3p_2, ^3p_1) + Ne$	$k21 = 2 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
22	$Xe^{**} + Xe \rightarrow Xe^*(^3p_2, ^3p_1) + Xe$	$k22 = 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
23	$Xe^*(^3p_1) + Ne \rightarrow Xe^*(^3p_2) + Ne$	$k23 = 3,1 \cdot 10^{-14} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
24	$Xe^*(^3p_2) + Ne \rightarrow Xe^*(^3p_1) + Ne$	$k24 = 1,62 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
25	$Xe^*(^3p_1) + Xe \rightarrow Xe^*(^3p_2) + Xe$	$k25 = 2,18 \cdot 10^{-14} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
26	$Xe^*(^3p_2) + Xe \rightarrow Xe^*(^3p_1) + Xe$	$k26 = 1,26 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
27	$Xe^*(^3p_1) + 2Xe \rightarrow Xe_2^*(Ou^+) + Xe$	$k27 = 1,55 \cdot 10^{-31} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
28	$Xe^*(^3p_2) + 2Xe \rightarrow Xe_2^*(^3\Sigma^+) + Xe$	$k28 = 8,53 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
29	$Xe^*(^3p_1) + Xe + Ne \rightarrow Xe_2^*(Ou^+) + Ne$	$k29 = 4,07 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
30	$Xe^*(^3p_2) + Xe + Ne \rightarrow Xe_2^*(^3\Sigma^+) + Ne$	$k30 = 1,35 \cdot 10^{-32} \text{ cm}^6 \text{ s}^{-1}$	[63]
31	$Xe_2^*(Ou^+) + Xe \rightarrow Xe_2^*(^1\Sigma^+) + Xe$	$k31 = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$	[63]
<i>Emissions spontanées</i>			
32	$Xe^{**} \rightarrow Xe^*(^3p_2, ^3p_1) + hv$	$k32 = 3 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$	[65]

33	$\text{Xe}^*(^3\text{p}_1) \rightarrow \text{Xe} + h\nu(147\text{nm})$	$k_{33} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$	[65]
34	$\text{Xe}_2^*(^1\Sigma\text{u}^+) \rightarrow 2\text{Xe} + h\nu(173\text{nm})$	$k_{34} = 5 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$	[65]
35	$\text{Xe}_2^*(^3\Sigma\text{u}^+) \rightarrow 2\text{Xe} + h\nu(173\text{nm})$	$k_{35} = 1,66 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$	[65]
36	$\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+) \rightarrow 2\text{Xe} + h\nu(150\text{nm})$	$k_{36} = 9 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$	[65]

La densité des électrons est obtenue par la résolution de l'équation de continuité de type :

$$\frac{dn_e(t)}{dt} = S_e^+(t) - S_e^-(t) \quad (\text{III.6})$$

Où $S_e^+(t) - S_e^-(t)$ est le terme source de l'équation de continuité qui tient compte de tous les processus de création et de perte des électrons par unité de volume et unité de temps, sous l'effet des collisions avec les différentes espèces. L'équation de continuité électronique est couplée à un ensemble d'équations cinétiques pour les espèces excitées. Ces équations s'écrivent d'une manière générale sous la forme de :

$$\frac{d[X_i]}{dt} = S_i^+(t) - S_i^-(t) \quad (\text{III.7})$$

Avec $[X_i]$ est la concentration de l'espèce i à l'instant t , S_i^+ et S_i^- sont respectivement les taux de production et de disparition de cette espèce.

III.2. Résultats et discussion :

Dans cette section nous allons discuter le comportement de la décharge dans le cas d'une tension appliquée sinusoïdale, et sous les conditions de fonctionnement d'une lampe à excimère. Les paramètres d'entrée de la DBD utilisés dans cette étude sont notés sur le tableau III.2.

Tableau III.2. Condition de fonctionnement de la lampe à excimères

Paramètres	Valeurs
Mélange du gaz	Néon-Xénon (Ne-90% /Xe-10%)
Pression du gaz	P = 500 torr
Distance gap du gaz	d = 0,4 cm
Fréquence	F = 50 kHz
Température du gaz	T _g = 300 K
Surface d'électrode	A = 1 cm ²
Densité initial des électrons	n _{e0} = 10 ⁹ cm ⁻³
Capacité équivalente aux diélectriques	C _d =300 pF
Amplitude de la tension Appliquée	V _{amp} =1500 V =1,5 kV
Tension appliquée	V _{app} (t)=V _{amp} sin (2πft)

III.2.1 Caractéristiques électriques :

La figure (III.2) représente la variation temporelle de la tension appliquée (V_{app}), la tension aux bornes de la capacité équivalente aux diélectriques (V_d) et de la tension du plasma (V_p) pour le mélange Ne/Xe-10%. Nous avons noté que pendant la première demi période la tension V_d commence à augmenter par effet du chargement des diélectriques jusqu'à atteindre un maximum qui correspond à la tension appliquée, tandis que la tension du plasma V_p atteint la valeur de 925,382 V puis commence à décroître rapidement après le claquage du gaz. Durant tout le temps de la décharge, l'équation III.2 est vérifiée.

Le courant étant initialement nul augmente brusquement dans la décharge pour atteindre un maximum de 1,348 A à $t=1,250 \mu s$ puis commence à diminuer progressivement pendant la première demi période. Durant le reste des périodes où la décharge devient stable on remarque qu'à chaque cycle de $10 \mu s$ le pic atteint la valeur de 0,304 A (voir figure III.3). Le temps de claquage du gaz calculé correspond à 5% du pic du courant et il est égal à $1,038 \mu s$.

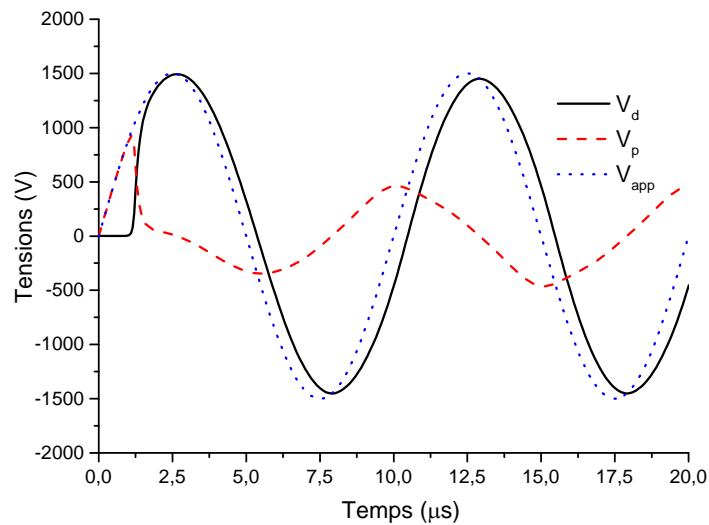


Figure III.2 : Variation temporelle des tensions

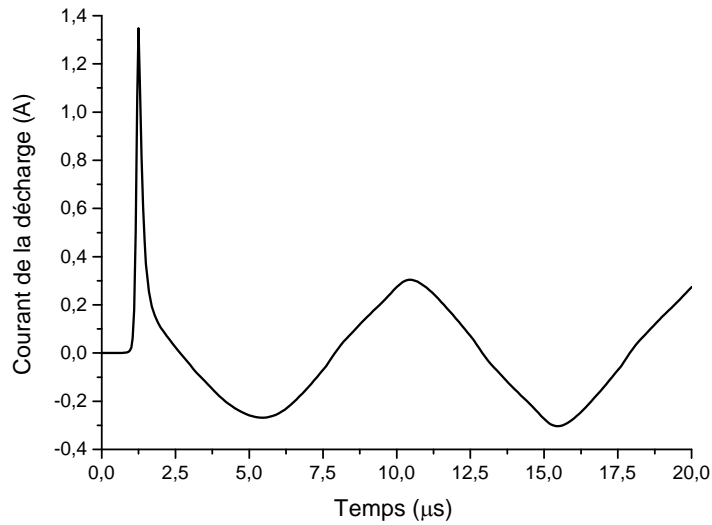


Figure III.3 : Variation temporelle du courant de la décharge

III.2.2. Caractéristiques cinétiques :

Sur les figures (III.4, 5, 6, 7) nous avons tracé les variations temporelles des densités de plusieurs particules : chargées, atomes excités, molécules excimères, photons. On remarque que la densité des électrons commence par une valeur qui correspond à la densité initiale pour atteindre une valeur maximale de $3,228 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $t = 1,350 \mu\text{s}$, ceci est dû à plusieurs types d'ionisation (directe, par étape, penning). Parmi les ions créés, la particule dominante dans le plasma est le Xe_2^+ avec une valeur de $2,560 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $t = 1,8 \mu\text{s}$. Les densités du Xe^+ et NeXe^+ atteignent les valeurs de $2,116 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ et $5,437 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ respectivement en même temps à $t = 1,25 \mu\text{s}$. Ceci est observable sur la figure (III.4).

La densité du xénon métastable ($\text{Xe}^*(^3\text{p}_2)$) et du résonnant ($\text{Xe}^*(^3\text{p}_1)$) sont de l'ordre de $1,280 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ et de $6,066 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ respectivement, et leurs croissances sont provoquées par impacte électronique avec les atomes de Xe (voir figure (III.5)).

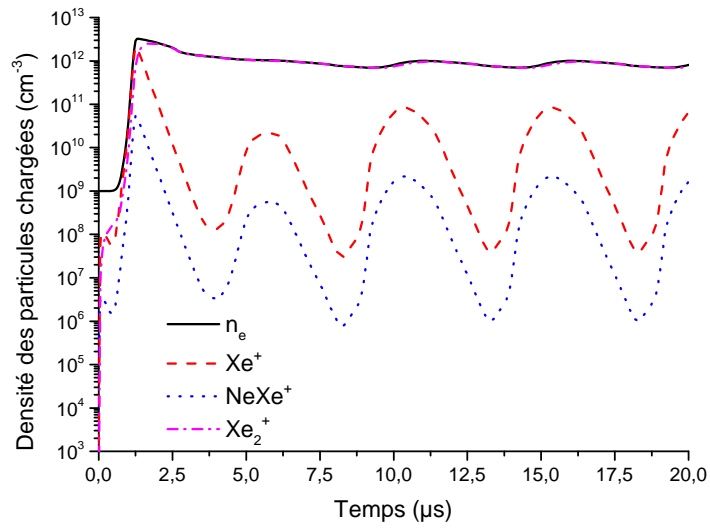


Figure III.4 : Variation temporelle de la densité des particules chargées

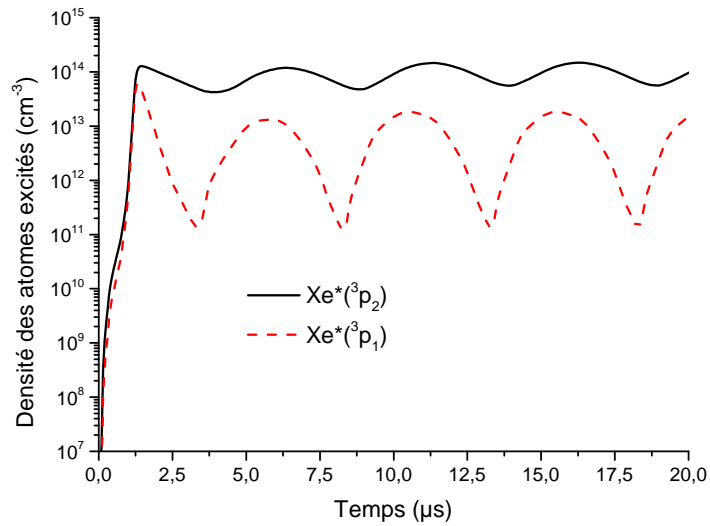


Figure III.5 : Variation temporelle de la densité des atomes excités

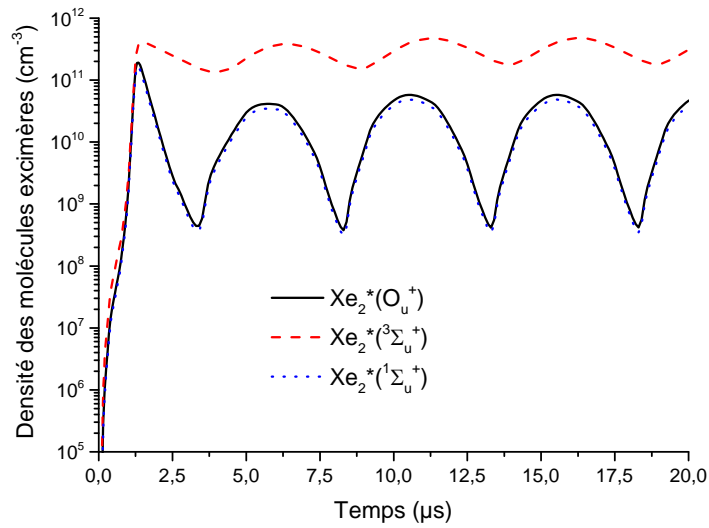


Figure III.6 : Variation temporelle de la densité des molécules excimères

L'évolution temporelle des molécules d'excimères est tracée sur la figure (III.6). L'excimère $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)$ atteint la valeur maximale de $4,131 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ à $1,450 \mu\text{s}$, $\text{Xe}_2^*(\text{O}_u^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ atteignent les pics de $1,920 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ et $1,610 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ respectivement en même temps qui est de $1,35 \mu\text{s}$.

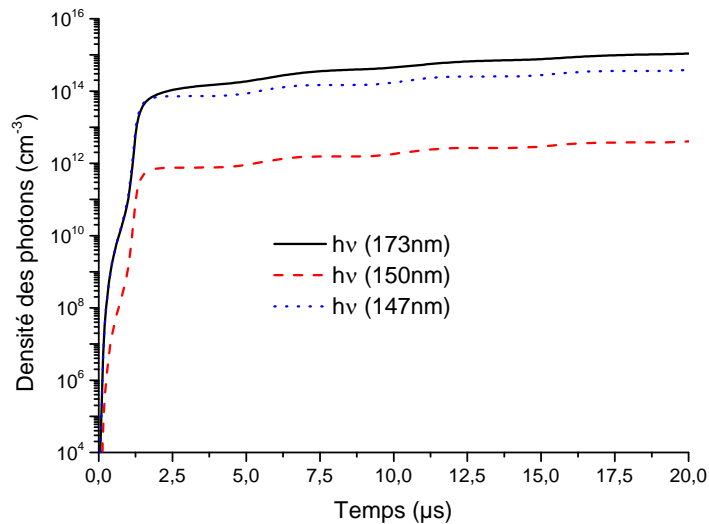


Figure III.7 : Variation temporelle de la densité des photons

Sur la figure (III.7) sont montrées les particules photoniques. La densité des photons correspondant au rayonnement 173 nm crée par les excimères $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ atteint la valeur de $1,09 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ à la fin de la décharge. Quant aux rayonnements 150 nm et 147 nm qui sont créés par désexcitation de $\text{Xe}_2^*(\text{O}_u^+)$ et $\text{Xe}^*(^3p_1)$ respectivement leurs densités atteignent les valeurs de $4,045 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ et $3,842 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ à la fin de la décharge.

III.3.3. Etude paramétrique :

L'intérêt de cette étude est la clarification de l'influence de quelques conditions de fonctionnements sur les caractéristiques cinétiques de la décharge dans le but d'optimiser la lampe à excimère.

III.3.3.1. Effet de la densité initiale des électrons :

Nous avons étudié les effets de la densité initiale des électrons sur la densité des particules suivante : les électrons, $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$, $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma^+)$ sur la figure (III.8). Nous avons remarqué qu'une augmentation de la densité initiale induit une augmentation de la densité des électrons et des excimères, c'est ce qui est clairement montré sur cette figure. En augmentant la densité initiale des électrons, la densité maximale des électrons augment (de 10^3 cm^{-3} jusqu'à 10^{15} cm^{-3}). En ce qui concerne la densité des excimères, celle qui est dominante, est celle de l'excimère $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma^+)$ sa valeur passe de $15,266 \text{ cm}^{-3}$ à $1,220 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$.

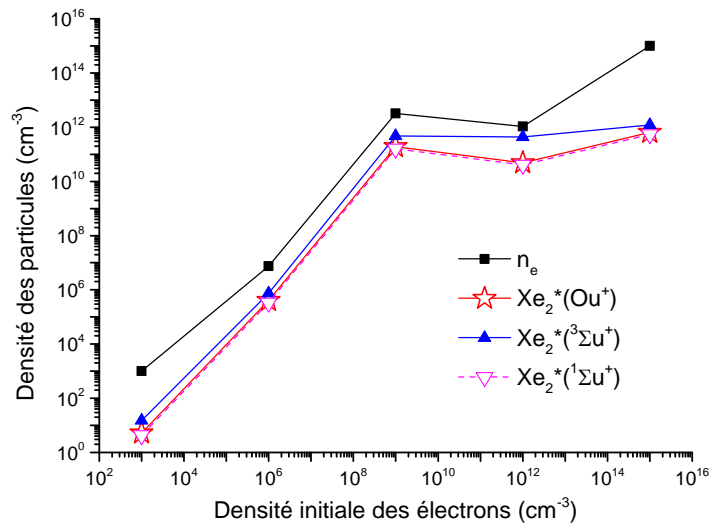


Figure III.8 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la densité initiale des électrons

III.2.3.2. Effet de la distance gap du gaz :

La figure (III.9) représente l'effet de la distance gap du gaz sur les densités maximales des électrons et des excimères. On remarque que la distance gap possède un effet de diminution sur la densité des électrons et des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma^+)$. Par contre elle n'affecte pratiquement pas la densité de l'excimère $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma^+)$. La valeur de la densité des électrons passe de $3,088 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $7,608 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ et celle des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma^+)$ atteint la valeur minimale de $4,171 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ et $3,491 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ respectivement.

On remarque aussi que pour une production optimale des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ la valeur appropriée de la distance gap du gaz est 0,4 cm.

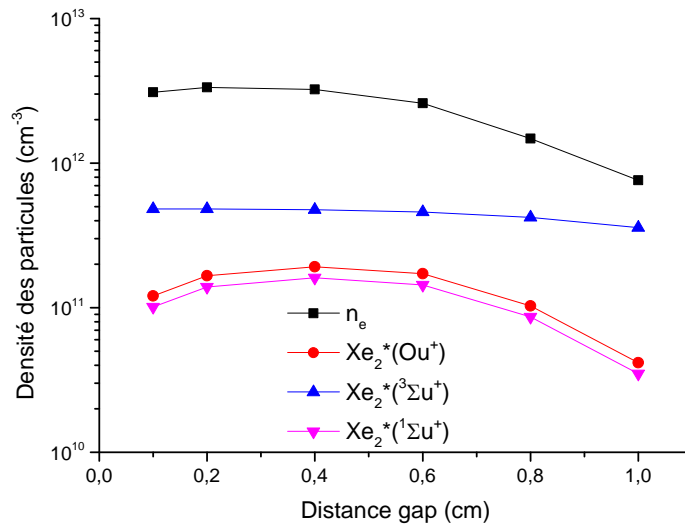


Figure III.9 : Variation de la densité des électrons et des excimères pour différentes valeurs de la distance gap du gaz

Conclusion:

Nous avons abordé dans ce chapitre une étude sur la cinétique chimique de la lampe à excimère pour l'optimisation de cette dernière en utilisant le modèle 0D qui inclue le circuit électrique de la décharge, la cinétique chimique du mélange Ne/Xe à 10% de xénon et l'équation de Boltzmann. Nous avons d'abord fixé les paramètres de fonctionnement de la lampe à des valeurs citées dans le tableau (III.2) pour pouvoir calculer le profil des tensions du diélectrique V_d , du plasma V_p , et du courant de la décharge I . Nous avons aussi déterminé le profil de la densité des particules chargées, des atomes excités, des excimères et des photons. L'effet des paramètres de la densité initiale des électrons et de la distance gap du gaz sur la densité des électrons et des excimères est étudié. Nous avons remarqué que la densité initiale des électrons possède un effet considérable sur la densité maximale des électrons et des excimères.

La distance gap du gaz n'influe que très légèrement sur la densité de l'excimère $\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)$, contrairement à la densité des électrons et des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ qui présentent une diminution.

Enfin pour une production optimale des excimères $\text{Xe}_2^*(\text{Ou}^+)$ et $\text{Xe}_2^*(^1\Sigma_u^+)$ la valeur appropriée de la distance gap du gaz est de 0,4 cm.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail représente une étude des paramètres électriques et cinétique chimique d'un mélange de gaz Ne/Xe dans une DBD en utilisant le modèle 0D qui se compose de trois modules : l'équation de Boltzmann, le circuit électrique et un système d'équations de la cinétique chimique. La lampe à excimère est alimentée par un signal sinusoïdal afin de contribuer à l'amélioration de cette dernière.

Les calculs des paramètres électriques et cinétiques ont été effectués pour un mélange de gaz de 10% de xénon dans le néon en utilisant une tension appliquée de 1500V, sous une pression de 500 torr et une fréquence de 50kHz.

Pour les caractéristiques électriques, les résultats obtenus par le calcul concernent la tension V_d et V_p et le courant I qui atteint 1,348 A à $t=1,250 \mu s$. Le temps de claquage est égal à $1,038 \mu s$.

Pour les caractéristiques de la cinétique chimique on a calculé les densités de plusieurs particules : chargées, atomes excités, molécules excimères et photons. La particule Xe_2^+ atteint la valeur de $2,560 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ à $t = 1,8 \mu s$; elle représente la particule dominante dans le plasma. Les densités de l'atome métastable et résonant ont aussi été calculées.

Dans la seconde partie de notre travail nous avons abordé une étude paramétrique de la DBD qui concerne l'effet de la densité initiale des électrons et la distance gap du gaz. Nous avons fait varier les paramètres précédents en gardant les autres fixes.

Lorsqu'on augmente la densité initiale des électrons dans le gaz la densité maximale des électrons et des excimères augmente aussi en montrant un effet considérable.

L'influence de la distance gap du gaz est très légère sur la densité de l'excimère $Xe_2^*(^3\Sigma^+)$, contrairement à la densité des électrons et des excimères $Xe_2^*(O_u^+)$ et $Xe_2^*(^1\Sigma^+)$ qui présentent une diminution.

Enfin, la valeur optimale du gap du gaz pour une production élevée des excimères $Xe_2^*(O_u^+)$ et $Xe_2^*(^1\Sigma^+)$ est celle de 0,4 cm.



Références Bibliographiques

- [1] J. L. Delcroix, A. Bers, Physique des Plasmas Tome 1, CNRS Editions, Pages (1-2), EDP Sciences, France, 1994.
- [2] S. Benabdelmalek, R. Messaoudi, Simulation numérique de la cinétique chimique d'une mixture N_2/O_2 NO par décharge couronne, Mémoire de master de l'université d'Abou-Baker Belkaid, Tlemcen, (2011).
- [3] A. M. Pointu, J. Perrin, J. Jolly, « Plasmas froids de décharge : Propriétés électriques ». Les techniques de l'ingénieur, Dossier D 2 830 (02/2007).
- [4] B. Kadomtsev, Phénomènes Collectifs dans les Plasmas , Edition Mir, Moscou, (1979).
- [5] I. Assaf, « Effet des conditions aux limites sur la propagation du streamer positif dans l'azote » Mémoire de master de l'université d'Oran Mohamed Boudiaf, (2016).
- [6] P. Fauchais, Plasmas thermiques : aspects fondamentaux, les techniques de l'ingénieur, Dossier D2 810, (2007).
- [7] URL: www.onera.fr/photos/mesexp/plasma-palais-decouverte.php
- [8] URL: <http://www.le-saviez-vous.fr/2010/12/le-plasma-4eme-etat-de-la-matiere.html>.
- [9] URL: <http://www.magnetismeauore.tpe.toile-libre.org/2.a.html>
- [10] URL: <http://www.encyclopedie-environnement.org/air/la-magnetosphere/>
- [11] URL: <http://www.magnetismeauore.tpe.toile-libre.org/3.c.html>
- [12] URL: http://www.univers-astronomie.fr/articles/systeme_solaire/119-les-auroresboreales-et-australes.html
- [13] URL: <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/meteorologie-eclair-15208/>
- [14] URL: <https://www.rejuvenation.com/catalog/products/23w-spiral-gu24-bulb>
- [15] URL: www.dicodunet.com/definitions/commenter-879.htm
- [16] URL: <http://www.commentcamarche.com/faq/13063-ecran-lcd-ou-plasma>
- [17] URL: http://www.cidehom.com/dictionnaire.php?_d_id=22
- [18] URL: www.ens-lyon.fr/DSM/magistere/projets-biblio/2003/Pblaise-/node1.html
- [19] K. Khodja, Modélisation unidimensionnelle d'une décharge à barrières diélectriques pour lampe à excimère, Thèse de magister de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2010).
- [20] A. Labergue, Etude de décharges électriques dans l'air pour le développement d'actionneurs plasmas – Application au contrôle de décollements d'écoulements, thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, (2005).

- [21] URL: <http://www.degremont-industry.com/fr/votre-secteur-industriel/microelectronique/>
- [22] URL: <http://plasmas.agmat.asso.fr/technologie>
- [23] URL: <http://www.medicalexpo.fr/prod/dgm-pharma-apparate-handel/product-68201-706055.html>
- [24] K. Khodja, Etude du processus d'ionisation dans une décharge électrique a xénon, Mémoire de l'ingénieur de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2007).
- [25] S. Vacquié, Arc électrique est ses Applications, Eyrolles, CNRS Editions , pp (6-11) ;Toulouse ,1984.
- [26] Y. Bourek, Détermination des conditions d'ionisation caractérisant le seuil de claquage de l'air par la logique floue, mémoire de Magister de l'Université de Batna, (2005).
- [27] K. Khodja, Etude unidimensionnelle d'une décharge à barrières diélectriques dans le mélange Ne/Xe; application à l'optimisation de l'efficacité d'une lampe à excimère , Thèse de doctorat l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2014).
- [28] G. Le Roy, C. Gary, B. Hutzler, J. Lalot, Ch. Dubanton , " Les propriétés diélectriques de l'air et les très haute tension ", Edition Eyrolles, Paris, France, (1984).
- [29] F.GHALEB, Calcul de la courbe de Paschen et la tension de claquage pour les décharges à gaz rare Thèse de doctorat l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran – Mohamed Boudiaf, (2014).
- [30] T. Bezanahary, Modélisation du comportement de la colonne positive d'un plasma de décharge dans les gaz rares purs : application à l'étude des lampes basse pression sans mercure , thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, (2003).
- [31] P. Fauchais, Gaz ionisés et plasmas , Les techniques de l'ingénieur, AF 3560, 1997.
- [32] A. Boubakeur, Foudre - zone d'attraction d'un paratonnerre - , support pour conférence, Alger, (2004).
- [33] W. Siemens, Historical ozone discharge tube , Poggendorf's, Ann. Phys.Chem., **102** 66 (1857).
- [34] J.Z. Xu, W. Liu, R. Q. Liang, Z. X. Ren, The characteristics of dielectric barrier discharge and its influence on the excimère XeCl* emission, Plasma Sci. Technol., **3** 1027 (2001).
- [35] Kogelschatz, Ulrich. "Filamentary, patterned, and diffuse barrier discharges." IEEE Transactions on plasma science **30**; 1400-1408. (2002)
- [36] U. Kogelschatz, B. Eliasson, and W. Egli. From ozone generators to flat television

- screens: history and future potential of dielectric-barrier discharges, *Pure Appl. Chem*, **71** 1819-1828 (1999).
- [37] K. Buss, *Arch. Elektrotech.*, **26**, 261 (1932).
- [38] I. Enache. Etude Expérimentale et Modélisation du Transfert de Matière dans des Décharges de Townsend a Pression Atmosphérique en Mélange HMDSO-N₂O-N₂ et SiH₄-N₂O-N₂, Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, France (2007).
- [39] U. Kogelschatz, Filamentary, patterned, and diffuse barrier discharges. *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **30** 1400-1408 (2002).
- [40] U. Kogelschatz, Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications, *Plasma Chem. Plasma P.*, **23** 1-46 (2003).
- [41] M. Heise, W. Neff, O. Franken, P. Muranyi, and J. Wunderlich, Sterilization of polymer foils with dielectric barrier discharges at atmospheric pressure, *Plasma Polym.*, **9** 23-33 (2004).
- [42] B. Caillier. Diagnostics et modélisation d'une cellule d'écran à plasma. Thèse de doctorat de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, France (2004).
- [43] T. Callegari. Modélisation et diagnostics de décharges à barrières diélectriques pour écrans à plasma. Thèse de doctorat de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier (2000).
- [44] A. Chirokov, A. Gutsol, A. Fridman, K.D. Sieber, J.M. Grace and K.S. Robinson, Analysis of two-dimensional micro-discharge distribution in dielectric-barrier discharges, *Plasma Sources Sci. Technol.*, **13** 623-635 (2004).
- [45] Pietsch, G. J. "Peculiarities of dielectric barrier discharges." *Contributions to Plasma Physics* **41**;é 620-628. (2001)
- [46] J. Tepper and M. Lindmayer, Investigations on two different kinds of homogeneous barrier discharges at atmospheric pressure. In HAKONE VII International Symposium on High-Pressure, Low Temperature Plasma Chemistry, Greifswald, Germany, September 10 - 13, (2000).
- [47] F. Massines, A. Rabehi, P. Decomps, R. Ben Gadri, P. Ségur, and C. Mayoux, Experimental and theoretical study of a glow discharge at atmospheric pressure controlled by dielectric barrier, *J. Appl. Phys.*, **83** 2950-2957 (1998).
- [48] A. Jay palmer. Physical model on the initiation of atmospheric-pressure glow discharges, Palmer, *Appl. Phys. Lett.*, **25** 138-140 (1974).
- [49] U. Kogelschatz, B. Eliasson, W. Egli, Modelling of dielectric barrier discharge chemistry, **66** 1275-1286 (1994).

- [50] Kozlov, K. V., et al. "Spatio-temporally resolved spectroscopic diagnostics of the barrier discharge in air at atmospheric pressure." *Journal of Physics D: Applied Physics* **34**, 3164. (2001).
- [51] I.W. Boyd, J.Y. Zhang, U. Kogelschatz, Development and applications of UV excimer lamps, in: A. Peled (Ed.), *Photo-Excited Processes, Diagnostics and Applications*, Kluwer Academic, The Netherlands, pp. 161–199 (2003).
- [52] URL: http://kerbart.free.fr/ecrits/plasma.etude.technique/rdoc_plasma005.html
- [53] R. Riva, « Etude du laser Xe/Cl photo-déclenché par rayon X », thèse de doctorat de l'université de Paris Sud, (1993).
- [54] L.V. Lavren'eva, E.A. Sosnin, Ya.V. Masterova, *Bulletin of Tomsk State University: Biology - Scientific Journal*, **30** 163–176 (2003)
- [55] K.V. Kozlov, M. V. Sokolova, A. G. Temnikov, V. V. Timatkov and L. P. Vereshchagin *Plasma Polym*,**8**, 179–97. (2003).
- [56] T. Beaudette, *Caractérisation et optimisation de lampes planes sans mercure : décharges à barrières diélectriques et luminophores*, Thèse de doctorat l'Université de Toulouse, France, (2009).
- [57] Yu.I. Bychkov, S.A. Yampolskaya, A.G. Yastremsky, Kinetics of processes and energy distribution in an electric discharge upon pumping a XeCl laser, *Quantum Electro.*, **40**, 28-34 (2010).
- [58] H. Loukil, A. Belasri, K. Khodja, Z. Harrache, Theoretical kinetic investigation of xenon dielectric barrier discharge for excimer lamp, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **42**, 712-720, (2014).
- [59] S. Baadj, Z. Harrache, and A. Belasri, Electrical and chemical properties of XeCl*(308 nm) exciplex lamp created by a dielectric barrier discharge, *Plasma Phys. Rep.*, **39**, 1043–1054. (2013).
- [60] K. Khodja, A. Belasri, H. Loukil, Modeling of a Ne/Xe dielectric barrier discharge excilamp for improvement of VUV radiation production , *Plasma Phys. Rep.*, **43** 891-898 (2017).
- [61] A. Belasri, K. Khodja, S. Bendella and Z. Harrache, One-dimensional modelling of DBDs in Ne–Xe mixtures for excimer lamps , *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43** 445202 (2010)
- [62] K. Khodja, A. Belasri, Sheath formation study in Ne–Xe DBD discharge, *Radiat. Eff. Defect. Solids*, **167**, 734-742 (2012).
- [63] J. Meunier, Ph. Belenguer, J.P. Boeuf, Numerical model of an ac plasma display panel

cell in neon-xenon mixtures, J. Appl. Phys. **78**, 731, (1995).

[64] M. Kushner, S. Rauf, Dynamics of a coplanar-electrode plasma display panel cell. I. Basic operation, J. Appl. Phys. **85**, 3460, (1999).

[65] J. Ouyang, F. He, J. Miao, Numerical study on xenon positive column discharges of mercury-free lamp, J. Appl. Phys. **101**, 043303, (2007).

[66] BOLSIG. KINEMA. Software. <http://www.siglo-kinema.com>.

[67] J. P. Boeuf, Plasmas froids et application, Cours ETNA ENSEEIHT-Master GE.

Etude de la cinétique chimique d'un plasma froid à base de gaz rare ; application aux lampes à décharge

Auteur: MOSBAH Hadjer

Résumé : Le but de ce travail est d'étudier les propriétés de la cinétique chimique de la décharge à barrières diélectriques dans la lampe à excimère rempli d'un mélange de gaz Ne/Xe pour une concentration de 10% de xénon, en utilisant un modèle zéro-dimensionnel qui inclut l'équation de Boltzmann, un système de réactions chimiques et les équations du circuit électrique de la décharge.

Dans ce travail nous avons pu déterminer le profil de la densité des particules chargées, des atomes excités, des molécules d'excimères et des photons. Nous avons aussi pu voir l'effet de la distance gap du gaz et de la densité initiale des électrons sur la densité de quelques particules.

Mots clés : Cinétique chimique, Plasma froid, Décharge à barrières diélectriques, Lampe à excimère, Modèle zéro-dimensionnel.

Chemical kinetics study of rare gas-based cold plasma, application to discharge lamps

Author: MOSBAH Hadjer

Abstract: The purpose of this work is to study the properties of the chemical kinetics of the dielectric barrier discharge in the excimer lamp filled with Ne / Xe gas mixture at a concentration of 10% xenon, using a zero-dimensional model which includes the Boltzmann equation, a chemical reactions system and the electrical circuit equations of the discharge.

In this work we have been able to determine the density profile of charged particles, excited atoms, excimer molecules and photons. We have also been able to see the effect of the gas gap distance and the initial electron density on the some particle densities.

Keywords: Chemical kinetics, Cold plasma, Dielectric barrier discharge, Excimer lamp, Zero-dimensional model.