

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERRI DE TIZI-OUZOU.

FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE

DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE



-----o0o-----
MEMOIRE

DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT
EN ELECTROTECHNIQUE

OPTION : MACHINES ELECTRIQUES

Thème:

ETUDE DE LA CONFIGURATION
POINTE PLAN EN ABSENCE DE
CHARGE D'ESPACE AVEC FEMM

Proposé par :

Y.BOUTORA

Présenté par :

F.SLIMANI

PROMOTION 2011

Remerciement

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu qui m'a donnée le courage, la bonne santé et la volonté pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier mes très chers parents ainsi, et toute ma famille et les amis.

Je tiens aussi à remercier mon promoteur M.Boutora pour son sérieux dans le travail, les conseils et surtout pour sa disponibilité.

Je remercie également les membres de jury, qui me feront l'honneur de juger mon travail.

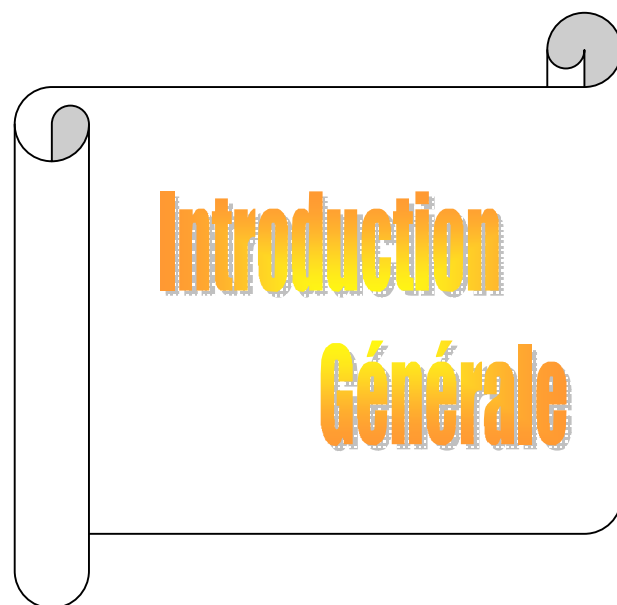
Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités	
I.1.Généralités sur les décharges électriques dans les gaz	2
I.1.1. Décharge de TOWNSEND	4
I.1.2. Loi de Paschen.....	6
I.1.3. Théorie des streamers.....	8
I.1.4. Décharge couronne.....	9
I.2.Définition et généralités sur les plasmas	13
I.2.1.Définition et nature du plasma	13
I.2.2. Domaines d'application des plasmas	14
I.3. La dépollution des gaz.....	15
I.3.1.Les différents polluants nocifs pour la santé et l'environnement.....	16
a. Les oxydes de soufre (SO_2 ; SO_3).....	16
b. Les oxydes d'azote NO_x	16
I.3.2.Dépollution des gaz et autres polluants par décharge couronne	17

Chapitre II : structure étudiée

II.1.structure pointe plan étudiée.....	18
II.2.Etude par la méthode des éléments finis en régime électrostatique.....	18
II.2.1.Problème étudié et domaine d'étude.....	19
II.2.2.Conditions aux limites appliquées.....	19
II.2.3.Le maillage	20
II.3.logiciel éléments finis femm	21
II.3.1.Introduction à femm.....	21
II.3.2.La procédure de mise en œuvre de femm.....	21
a-Définition du type de problème.....	21
b-Définition de la géométrie.....	21
c Les déférente instruction permettant de manipuler le logiciel via clavier	23
d- Manipulation du logiciel via la souris.....	24
e- La manipulation du grillage de l'écran.....	24
f- Définition du type de problème	25
g-Conditions aux limites.....	26
h-Opération de calcul de champ et de visualisation.....	27
i- Le post processeur électrostatique	28
II.4.Introduction à Lua scripting	29
II.4.1.Tracé de la géométrie	29
a- Les nœuds	29

b- Les segments.....	30
c- Les arcs de segments	30
III.4.2. Autres instructions de Lua scripting	30
a. Ouverture des fichiers	30
b. Déclaration de variables.....	30
c. Définition du type de problème.....	31
d. Déclaration des matériaux utilisés	31
e. Condition aux limites.....	31
II.5. Equation à résoudre	32
Chapitre III : Résultats	
III.1. cartographies du potentiel	33
III.1.1. Commentaire sur les cartographies du potentiel.....	36
III.2. cartographie du champ électrique.....	37
III.2.1 Commentaire sur les cartographies du champ.....	38
III.3. Représentation des courbes	39
III.3.1. courbes $E = f(rc)$ pour d fixe.....	39
III.3.2. Courbes $E = f(d)$ avec rc fixe.....	40
III.4. Interprétation des courbes.....	42
III.4.1. Interprétation des courbes $E = f(rc)$ pour d fixe.....	42
III.4.2. Interprétation des courbes $E = f(d)$ avec rc fixe.....	42
III.5. Les conclusions tirées des courbes	43
III.6. conclusion Générale	44



Introduction générale

Introduction générale :

L'étude des décharges électriques a toujours été un sujet intéressant pour les chercheurs. Des phénomènes naturels souvent spectaculaires comme la foudre ont poussé les chercheurs à essayer de comprendre le phénomène des arcs et des plasmas. Ces études ont obtenu des résultats conséquents, et ont permis, en l'occurrence, l'utilisation des plasmas dans plusieurs secteurs de l'industrie.

Les décharges électriques sont considérées aujourd'hui comme l'une des solutions majeures qui peuvent ralentir la destruction de l'environnement. Les décharges électriques permettent d'éliminer la pollution des effluents gazeux et de certains composés organiques très polluants. Comme elles sont utilisées pour le traitement de surface, stérilisation des équipements médicaux, le dessalement de l'eau de mer...etc. les décharges électriques se trouvent en plusieurs types, dont les plus répandues sont les décharges couronnes. Qui sont des décharges électriques se produisant entre deux électrodes dissymétriques, les systèmes d'électrodes utilisées sont généralement un système pointe-plan, qui va faire d'ailleurs l'objet de notre étude.

Notre travail consiste à étudier la distribution du champ électrique pour un dispositif pointe-plan en absence de charges d'espace et de barrière isolante. L'étude sera faite en utilisant un logiciel éléments finis « femm ».

Nous allons diviser notre travail en trois chapitres dont le premier sera consacré aux généralités sur les décharges couronnes, le second sera consacré à la présentation du dispositif pointe plan étudié et à l'introduction au logiciel éléments finis femm. Le dernier chapitre comportera les résultats obtenus du calcul fait avec femm, les différentes cartographies ainsi que les courbes de champ électrique avec variation du rayon de courbure de la pointe.



Chapitre I:
Généralités

Parmi les problèmes majeurs qui intriguent l'humanité, on trouve le réchauffement climatique ; ce problème est causé essentiellement par le développement industriel et technologique qui nécessite une consommation énergétique importante. La conséquence de ce développement est le rejet d'une importante quantité de gaz polluants à travers l'industrie, l'automobile et l'habitat ...etc. Parmi ces polluants on trouve principalement :

- Les oxydes d'azote et de soufre (NO_x ; SO_x).
- Les composés organiques volatiles (COV).
- Les métaux lourds.

Tous ces polluants sont très nocifs pour l'environnement et l'homme ; par conséquent, leur traitement est devenu un souci majeur et leur étude intéressante pour les chercheurs. Le traitement de ces polluants par les procédés dits « classiques » tels que (filtration, absorption...etc) est très peu efficace. Pour remédier à ce problème, on a recours à l'utilisation des réacteurs à plasma froids hors équilibre générés par les décharges couronnes qui est considérée comme complément voire alternative aux procédés classiques. Le traitement d'un volume important de gaz polluant par ce procédé utilisant les décharges couronne est rendu possible par la multiplication de ces décharges et l'augmentation de la fréquence de leurs apparitions. [1]

De ce fait, on constate l'importance d'étudier les décharges couronne et l'on comprend mieux pourquoi l'étude de ces décharges sous différents aspects font l'objet d'intenses sujets de recherche.

I.1. Généralités sur les décharges électriques dans les gaz :

En général les gaz sont de très bons isolants, mais soumis aux rayonnements cosmiques tels que les rayons ultras violets, radioactifs ...etc, ils peuvent présenter une certaine conductivité. Parmi les gaz isolants utilisés, on trouve l'air en première position, et l'utilisation des gaz comme le, N_2 , CO_2 et SF_6 permet de réduire l'encombrement du matériel haute tension

L'avantage principal des isolants gazeux par rapport aux isolants solides c'est que les gaz sont auto régénérables, c'est à dire que le gaz, une fois qu'il a subi une décharge électrique, reprend ses propriétés isolantes. [2]

Chacun sait qu'aucun diélectrique (c'est-à-dire tout corps normalement isolant), auquel une tension d'amplitude croissante est appliquée, n'est capable de résister indéfiniment à une telle contrainte. A partir d'une certaine valeur de la contrainte, il se produit une rupture du pouvoir isolant, qui se traduit par la formation d'un chemin conducteur à travers le corps isolant.[3]

Les décharges dans un gaz sont à l'origine associées au courant traversant l'espace inter-électrodes, et plus généralement, elles regroupent tous les processus tels que : l'ionisation, l'attachement ou la photo-émission qui interviennent dans un gaz lorsqu'un champ électrique suffisamment important lui est appliqué, mais également les écoulements de particules chargées et neutres qui s'ensuivent. Les phénomènes mis en jeu dans ces décharges sont complexes et varient selon, entre autres, la nature et la pression du gaz et l'importance du champ électrique.[4]

La pression du gaz joue un rôle très important dans la détermination du type de claquage qui caractérise les isolants gazeux. C'est ce que nous allons constater sur la figure suivante :

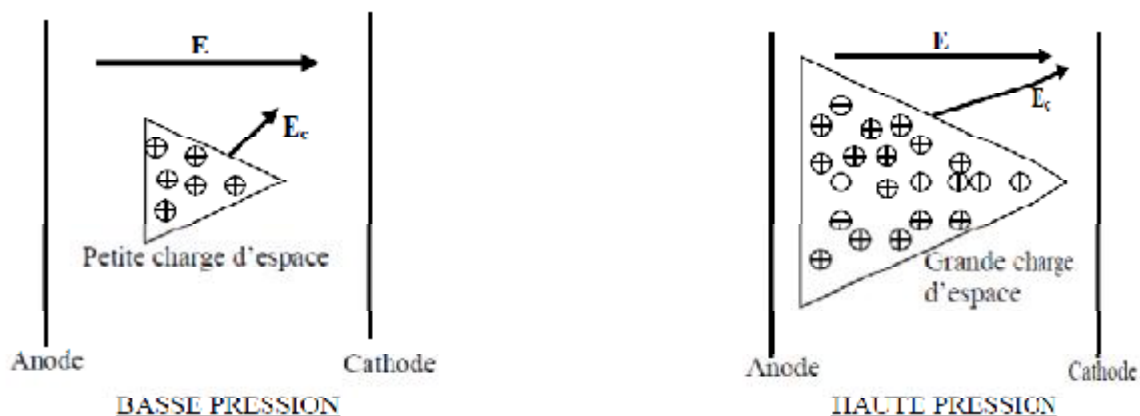


Fig.I.1.1 : l'avalanche électronique

Durant l'avalanche électronique, les électrons rapides sont absorbés par l'anode, tandis que les ions positifs moins rapides forment dans le gaz une charge d'espace. La taille de la charge d'espace dépend de la pression du gaz.

a) Basse pression :

Comme la densité atomique est faible, la charge d'espace est telle qu'elle génère un champ électrique E_c faible et négligeable \Rightarrow MECANISME DE TOWNSEND.

B) Haute pression :

La densité atomique est grande, la charge d'espace est volumineuse, elle crée un champ E_c considérable qui joue un rôle important dans le claquage \Rightarrow MECANISME de STREAMER. [3]

I.1.2. Décharge de TOWNSEND :

Si l'on considère un diélectrique gazeux contenu entre deux électrodes, il peut exister dans ce gaz, en l'absence de tout champ électrique appliqué, un certain nombre de particules chargées produites, soit par mécanismes naturels, tels que rayonnement ultraviolet ou radioactivité, soit par des mécanismes artificiels, par exemple en bombardant la surface cathodique avec une source de rayonnement ultraviolet pour en extraire des électrons.

Quelle que soit l'origine de ces charges primaires, si l'on applique à un espace inter électrodes une tension V et donc un champ E , le mouvement de ces charges va entraîner la création dans le circuit extérieur d'un courant de très faible intensité, mais qui ira croissant avec la tension.[3]

Pour qu'il y ait une décharge dans un gaz, il faut avoir au moins un électron libre et un champ électrique qui sera appliqué à cet électron.

Considérons alors le cas où on a un électron germe, qu'on place dans l'intervalle gazeux compris entre deux électrodes planes séparées par une distance d . On soumet cet électron à un champ électrique E , créé par l'application d'un potentiel à l'intervalle gazeux. Si l'énergie cinétique acquise par cet électron est supérieure à l'énergie

d'ionisation d'une particule neutre du gaz, alors une collision provoque l'ionisation de cette particule par l'électron germe, en conséquence un électron sera libéré. Deux électrons seront alors disponibles ; ces derniers accélérés à leur tour par le champ E appliqué peuvent aussi ioniser d'autres molécules et donner naissance à d'autres électrons si leur énergie acquise le permet.

Ces électrons produits dans le volume du gaz signifient qu'il y a eu une multiplication de charges dans le gaz. Ce phénomène est caractérisé par un facteur α proposé par Townsend en 1914, ce facteur s'appelle « premier coefficient de Townsend », il a été introduit pour traduire mathématiquement ce phénomène d'ionisation.

Le coefficient α dépend :

-Du Champ E appliqué.

- De La pression et la nature du gaz.

-Du libre parcours moyen d'électrons qui est défini comme étant la distance moyenne que parcourt un électron entre deux collisions successives.

L'apparition d'un électron primaire au niveau de la cathode, se traduit par l'arrivée de $e^{\alpha d}$ électrons au niveau de l'anode, ce on l'appelle « avalanche électronique ». La relation de Townsend s'écrit alors :

$$I = I_0 e^{\alpha d}$$

I : courant (A)

I_0 : Courant initial du aux électrons primaires (A).

d : distance inter-électrode.

α : Premier coefficient de Townsend.

En dehors de ce mécanisme de multiplication d'électrons proposé par Townsend, des électrons secondaires peuvent être émis par impact des ions positifs sur la cathode, par impact des photons sur la cathode ou bien par la photo-ionisation du gaz.

En résumé, tous ces processus qui conduisent à l'émission d'électrons secondaires sont traduits par l'introduction d'un second coefficient de Townsend qui s'appelle « coefficient γ ».

Le critère d'auto-entretien de la décharge (nombre adimensionnel) s'écrit alors :

$$\gamma (e^{\alpha d} - 1) = 1$$

En introduisant dans la relation de Townsend une probabilité d'attachement électronique η , la l'équation du courant du courant devient :

$$I = I_0 e^{(\alpha-\eta)d}$$

Le critère d'auto-entretien de la décharge s'écrit donc :

$$\gamma (e^{(\alpha-\eta)d} - 1) = 1$$

Le courant prend alors la forme suivante :

$$I = I_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma (e^{\alpha d} - 1)}$$

I.1.3. Loi de Paschen:

La loi de PASCHEN traduit la relation qui existe entre la tension de claquage (tension minimale pour déclencher une décharge), et le produit pression du gaz-distance inter-électrode.

$$U_c = f(p.d)$$

U_c : Tension de claquage.

p: pression du gaz.

d : distance inter-électrode

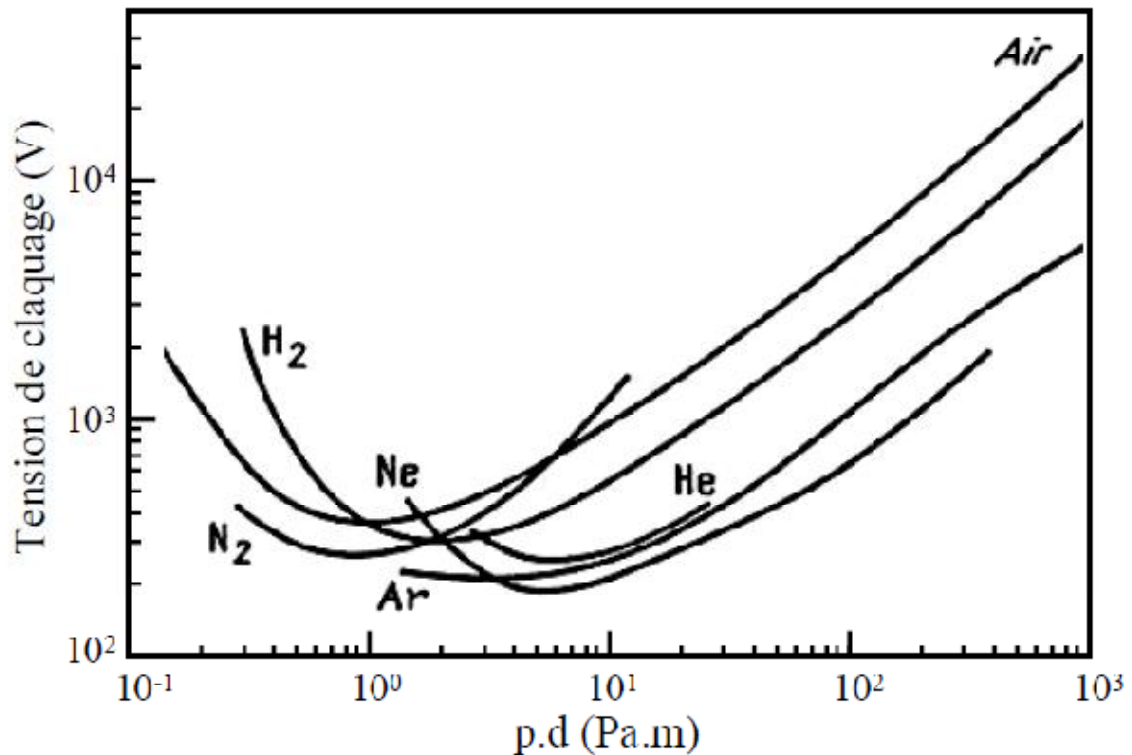


Figure I.1.2 : Tension de claquage pour différents gaz en fonction du produit p.d [6]

D'après la figure I.1.2, on constate que pour un gaz à pression atmosphérique ($P=1,013 \cdot 10^5$ Pa), les courbes passent par un minimum pour une distance inter-électrode d'environ $1 \mu\text{m}$ ($p \cdot d = 0.5$ à 5 environs). Cela signifie que, pour la production de décharge à pression atmosphérique, dans des conditions d'utilisation usuelles ($d \geq 1 \text{ mm}$) la tension de claquage est une fonction croissante de la distance inter-électrode.[6]

I.1.4. Théorie des streamers :

Cette théorie a été émise car la théorie de Townsend est limitée ; en effet, la théorie de Townsend n'est valable que pour des valeurs du produit p.d inférieures à 200 torr.cm.

Cette théorie a été mise en œuvre par trois physiciens : Meek , Loeb et Raëther .

Le mécanisme se déroule comme suit :

Phase 1 : un électron se trouvant près de la cathode déclenche une avalanche électronique primaire. Comme la vitesse des électrons est environ 100 fois plus grande que celle des ions, l'avalanche se déplace comme un nuage d'électrons laissant derrière une charge d'espace positive. Les électrons sont absorbés par l'anode, tandis que les ions positifs forment une charge d'espace positive dans le gaz comme il a été cité précédemment. (figure I.2.a)

Phase 2 : La charge d'espace renforce le champ électrique entre la tête de l'avalanche et la cathode. La formation du streamer s'explique par le mécanisme de photo-ionisation se produisant à l'intérieur de l'avalanche primaire. Les électrons accélérés par le champ électrique excitent par collision les molécules neutres, qui reviennent à leur état fondamental avec émission d'un photon. La tête de l'avalanche est ainsi le siège d'une importante émission de photons qui sont absorbés par le gaz environnant. En particulier les molécules d'azote excitées peuvent émettre des photons avec énergie supérieure à 13ev, susceptibles d'ioniser les molécules d'oxygène dont le potentiel n'est que 12.2ev.

Si l'électron ainsi produit se situe au voisinage de l'avalanche primaire, il va créer une nouvelle avalanche dite « avalanche secondaire ».[9]

Ces avalanches sont illustrées sur la figure (fig I.2.b).

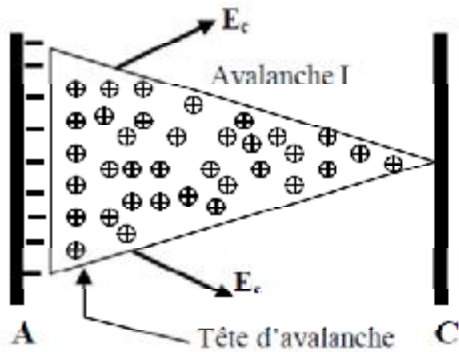


fig. I.2.a

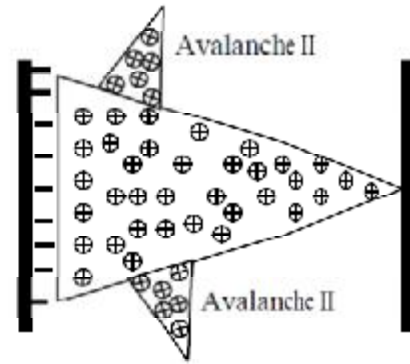


fig. I.2.b

Phase 3 : La charge d'espace augmente en volume et devient un « streamer ». De nouvelles avalanches secondaires viennent s'ajouter à l'avalanche primaire et le streamer progresse (fig I.2.c). Quand il touche la cathode, à ce moment se produit le claquage.(fig I.2.d).

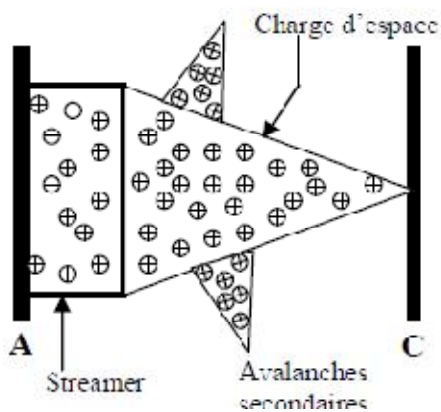


fig I.2.c

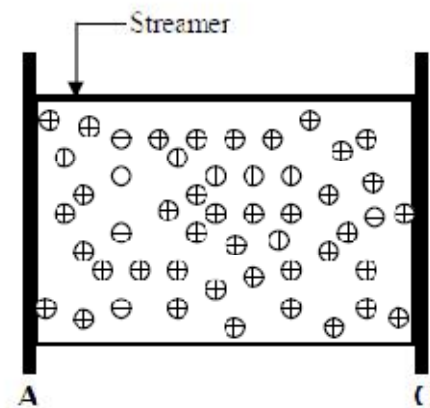


fig I.2.d

I.1.5. Décharges couronne :

Les décharges couronne sont des décharges électriques pré-disruptives qui se développent généralement entre deux électrodes fortement dissymétriques. Les systèmes d'électrodes les plus utilisés sont généralement :

Système pointe- plan ; pointe-pointe ...etc.

a) Système pointe-pointe :

L'utilisation des pointes métalliques est de plus en plus fréquente dans l'étude des décharges électriques, à cause notamment de l'effet de pointe qui permet d'obtenir localement un champ intense. (Au niveau des pointes et des angles métalliques). Ce champ intense favorise le claquage dans le gaz.

L'utilisation des pointes métalliques a l'avantage de stabiliser le lieu de décharge, puisque l'on est certain du point de départ et d'arrivée de la décharge, mais rien n'impose que le trajet soit une ligne droite. On utilise notamment les pointes comme paratonnerre.

b) système pointe-plan :

Ce sont des arcs à chemin instable ; on connaît de manière certaine le point de départ de l'arc, mais on ne peut pas prédire le point d'arrivée de cet arc, ni même le chemin parcouru par ce dernier. On peut distinguer trois types de décharges pointe-plan : les arcs transféré ; arcs non-transféré ; arcs glissants.

Les arcs transférés et non-transférés sont très utilisés dans la sidérurgie pour obtenir des gaz à très haute température, à l'aide de courants importants (plusieurs centaines d'Ampères).

- Arcs transférés [9] : l'arc transféré est arc pointe-plan utilisé couramment pour la soudure. La pointe est l'électrode utilisée par le soudeur, et le plan est la plaque de métal à souder. Il arrive qu'on utilise un gaz sous pression pour protéger la zone de soudage (protection contre les oxydations) mais cela ne change pas fondamentalement le trajet de l'arc qui va naturellement d'une électrode à l'autre.

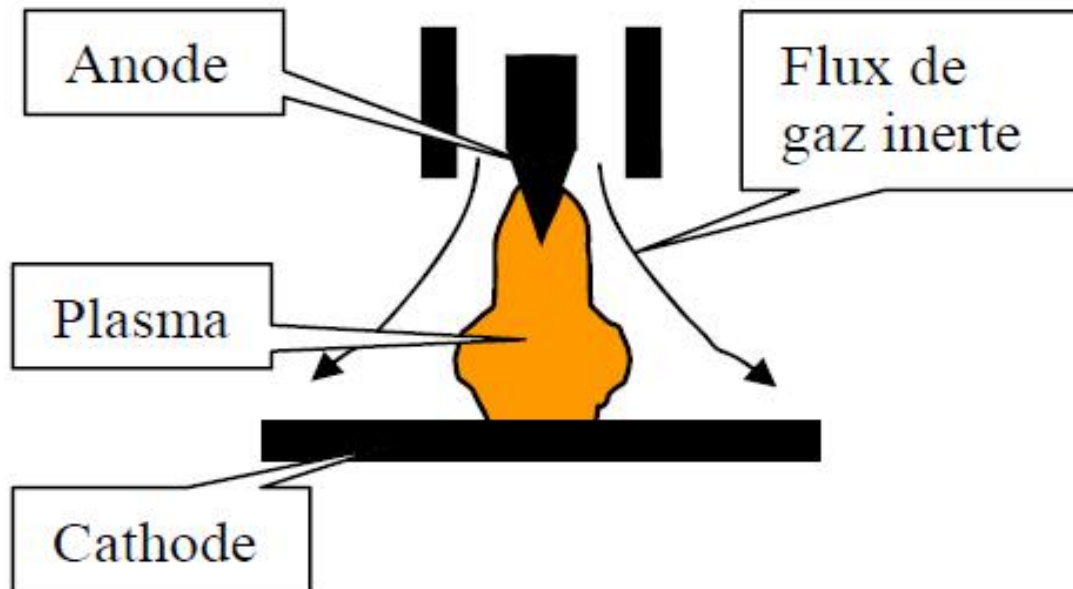


Figure I.2.1 : Arc transféré

-Arc non transféré [9]: la pointe de cet arc est le centre du dispositif et le plan est le tube qui entoure la pointe (cathode le plus souvent). La différence essentielle avec l'arc transféré est que celui-ci est soufflé par un flux gaz (gaz plasmagène), ce qui crée un arc projeté (jet de plasma); c'est une torche à plasma.

La plupart du temps on se sert de ce type de dispositif pour réaliser des dépôts de métaux sur différents matériaux

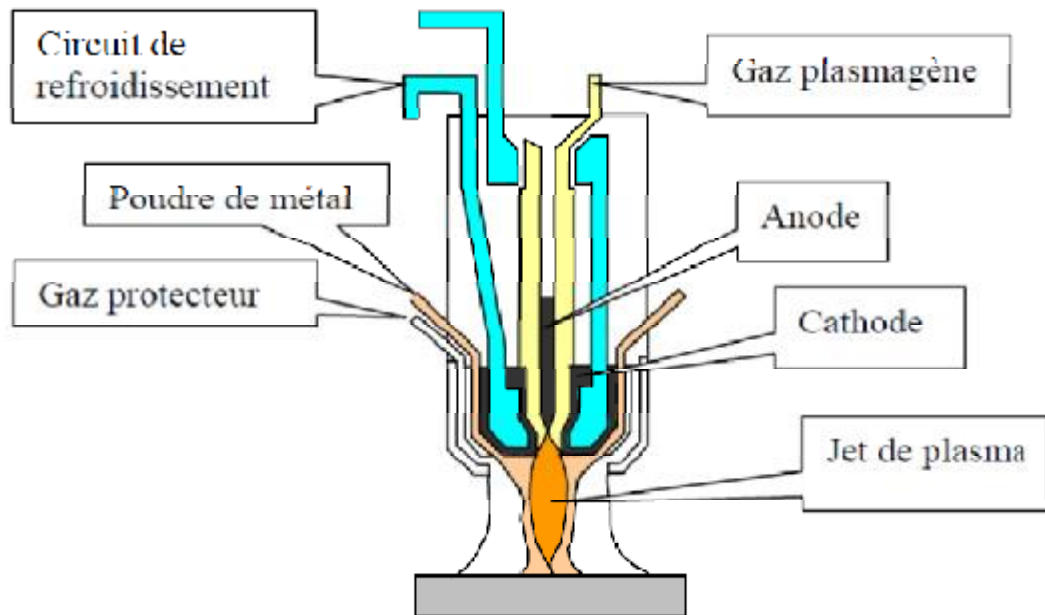


Figure I.2.2 Arc non transféré

- Décharge glissante [9] : Dans certains cas, on cherche à faire glisser l'arc en le soufflant le long d'une des électrodes, dans une configuration géométrique de décharge plan-plan ou pointe-plan. Ce sont des dispositifs à arc glissant, généralement caractérisés par un courant de faible intensité ; l'allongement de la longueur de l'arc qui résulte du soufflage peut conduire à des tensions élevées relativement à celles qui seraient sans soufflage.

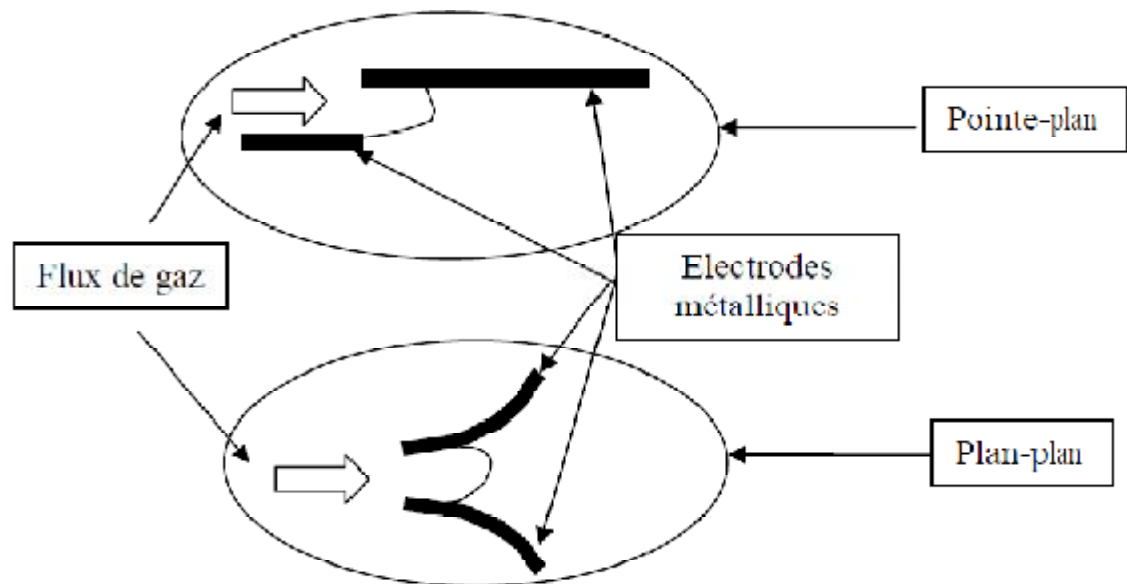


Figure I.2.3 : décharge glissante

I.2. Définition et généralités sur les plasmas :

I.2.1. définition et nature du plasma :

En plus des trois états connus de la matière c'est-à-dire : l'état solide ; gazeux et liquide, le plasma est considéré comme étant le quatrième état de la matière.

Les astrophysiciens ont montré que plus 99.9% de la matière visible de l'univers est sous forme plasma. Ce qui fait donc l'état de la matière le plus répandu.

Le plasma est défini comme étant un gaz partiellement ou totalement ionisé [8]. Le plasma est donc un gaz ionisé qui comprend non seulement des molécules neutres, mais aussi des espèces excitées, des ions et des électrons. La génération du plasma est réalisée généralement par l'application d'un champ électrique à la matière. Par exemple les décharges couronne quand elles se produisent génèrent des traînées importantes de plasma.

Dans la nature, il existe plusieurs types de plasma qui sont différenciés par plusieurs critères dont le principal est l'état thermodynamique. On trouve alors des plasmas à l'équilibre thermodynamique ou bien « plasma thermique », et les plasmas hors-équilibre ou bien « plasma non thermique ».

-Les plasmas thermiques : ils sont générés par des torches à plasma ou bien par des arcs, la température de ces plasmas varie entre 5000 et 50000 Kelvin. Ces plasmas sont caractérisés par une seule température de gaz T_g . Les autres températures *des électrons* T_e des ions T_i et des neutres T_N étant proches, voire égales à celle du gaz.[8,6]

-Les plasmas non thermiques : ils sont généralement produits par des décharges couronne (décharge luminescente) ; leur température électronique varie entre 1000 et 10000 Kelvin, et cette température est très supérieure à celle du gaz proche de l'ambiante ($\leq 500K$). Il y a aussi la température des ions qui peut être assez proche de celle du gaz.

Les puissances typiquement mises en jeu pour obtenir un plasma hors équilibre vont de quelques watts à quelques kilowatts [8,6].

I.2.2. Domaines d'application des plasmas :

a) traitement de surface : le traitement de surface par plasma consiste à modifier l'état d'une surface soit par :

- Dépôt en surface d'une couche mince d'un matériau donné (métal, semi-conducteur, polymère ...etc).

- Réaction chimique avec la surface même (oxydation) ou transformation physicochimique de celle-ci (modification de l'énergie de surface ...etc).

- Erosion de surface.

Ce procédé est utilisé aussi entre autres pour la gravure des semi-conducteurs, impression, développement photographique et la fabrication des puces microélectroniques.

b) dépollution et traitement de déchets : Ce domaine exploite les très hautes températures des plasmas pour limiter la toxicité de certains résidus, et le recyclage des matières métalliques.

- Décontamination du sol : permet de transformer les déchets chimiques et non organiques en des matériaux non toxiques.

- Incinération des déchets ménagers : ce procédé permet de limiter la pollution de ces déchets et permet l'incinération de la partie non-recyclable de ces derniers.

c) Fusion thermonucléaire contrôlée [7] : c'est l'un des premiers domaines à avoir utilisé le plasma dans les réacteurs nucléaires dans le but de produire de l'électricité.

Comme on peut citer brièvement d'autres domaines d'application des plasmas tels que :

- L'éclairage.
- La stérilisation des équipements médicaux.
- Les écrans plasmas.
- La catalyse des réactions chimiques.

I.3. La dépollution des gaz :

Le développement technologique a amélioré la vie quotidienne de l'homme d'une façon spectaculaire. Mais ce développement engendre aussi d'énormes problèmes notamment ceux liés à l'environnement. En fait, les différents déchets émis par les différentes industries ainsi que l'automobile polluent l'atmosphère d'une façon alarmante, ce qui va conduire à des conséquences désastreuses pour l'humanité.

I.3.1. Les différents polluants nocifs pour la santé et l'environnement :**a) Les oxydes de soufre (SO_2 ; SO_3):**

Les émissions des oxydes de soufre dans l'atmosphère urbaine proviennent principalement de la combustion de combustibles fossiles. Le soufre est principalement rejeté sous la forme de SO_2 (95%) et de SO_3 (1 à 2%). Environ 2% sont piégés dans les cendres volatiles et 1% se retrouvent dans les scories. Le dioxyde de soufre (SO_2) est un gaz incolore plus lourd que l'air, inflammable et d'odeur piquante, qui irrite les yeux et les voies respiratoires. Le SO_2 seul ne présente pas de graves signes pathologiques par rapport aux effets exercés par des couples SO_2 – gaz polluant atmosphérique. [6]

b) Les oxydes d'azote (NO_x) :

Dans l'atmosphère, les oxydes peuvent se présenter sous plusieurs formes comme : le protoxyde (N_2O), le monoxyde (NO), le dioxyde (NO_2 , connu également sous sa forme dimère N_2O_4), le trioxyde (N_2O_3) et le pentoxyde (N_2O_5).

Parmi tous ces oxydes, seuls NO et NO_2 jouent un rôle important dans la pollution atmosphérique et sont désignés sous la forme abrégée NO_x . Comme il y a aussi le N_2O considéré comme un puissant gaz à effet de serre.

Les divers bilans d'émission montrent la part croissante des rejets de NO_x provenant des activités humaines, dont l'importance dépasse celle des ressources naturelles dans l'hémisphère nord depuis une vingtaine d'années. [6]

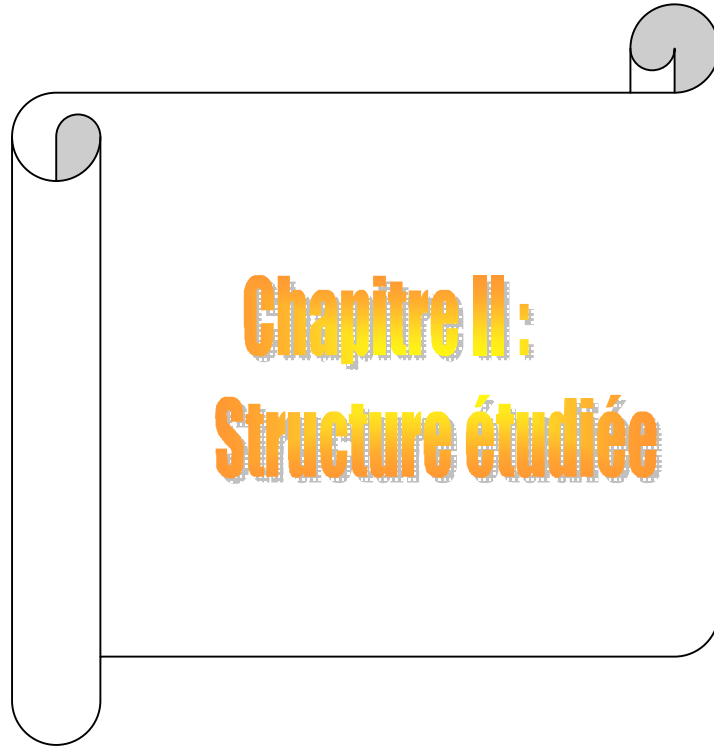
En plus de ces deux gaz polluants, on peut citer :

- L'ozone (O_3)
- Les oxydes de carbone (CO et CO_2)
- Les composés organiques volatiles (COV)

I.3.2. Dépollution des gaz et autres polluants par décharge couronne :

La dépollution des effluents gazeux par les plasmas non thermiques (plasmas froids) s'effectue par l'intermédiaire de décharges électriques. L'une des décharges les plus adaptées est la décharge couronne. Elle permet de traiter des gaz au sein même des conduits d'évacuation. Le traitement s'effectue soit en détruisant les espèces toxiques soit en les transformant en espèces moins nocives et/ou plus facilement traitables par d'autres méthodes de dépollution. Les espèces toxiques traitées peuvent être des oxydes de soufre ou d'azote du type SO_x et NO_x ou des composés organiques volatiles (COV).

Le principe de cette méthode est la création de radicaux (espèces chimiques très réactives) par la décharge couronne. Ces radicaux vont ensuite réagir avec les espèces toxiques. A titre d'exemple les COV sont fractionnés en espèces plus petites et moins nocives. Les oxydes seront plutôt transformés en acides puis neutralisés sous forme de sels solides. [1]



Le chapitre deux constitue une initiation au travail à effectuer. Dans ce chapitre nous allons définir la structure étudiée, c'est-à-dire, nous allons donner les dimensions de la structure pointe-plan à étudier en premier lieu. Après nous allons passer à la définition du problème à étudier tout en précisant le plan de coupe car, nous allons travailler avec un logiciel éléments finis qui nous permettra de travailler sur un demi-plan. En dernier lieu, nous allons justement faire une introduction au logiciel utilisé qui est femm 4.2, et définir aussi l'outil utilisé par ce logiciel, en l'occurrence l'outil de programmation (lua scripting).

II.1. structure pointe plan étudiée :

Les dimensions de la structure étudiée sont exposées sur la figure ci-après :

A noter que les dimensions sont en millimètre.

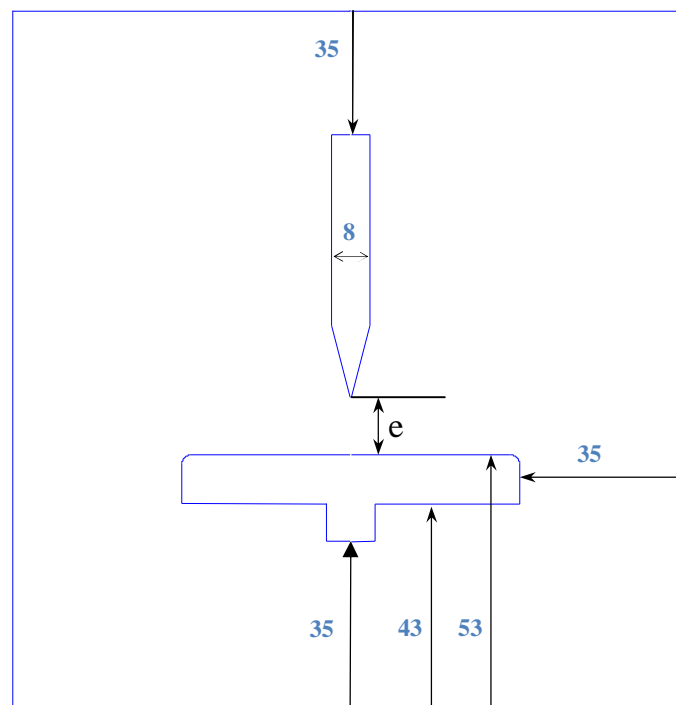


Fig .1. Les principales dimensions de la structure étudiée

II.2. Etude par la méthode des éléments finis en régime électrostatique :

II.2.1. Problème étudié et domaine d'étude:

Nous allons étudier la décharge pointe plan par le logiciel éléments finis « femm », cette étude sera faite en régime électrostatique, et en mode axisymétrique.

Du moment que le problème étudié est de type axisymétrique, il en découle que l'étude sera faite sur un demi-plan. Le plan de coupe est donné sur la figure ci-après :

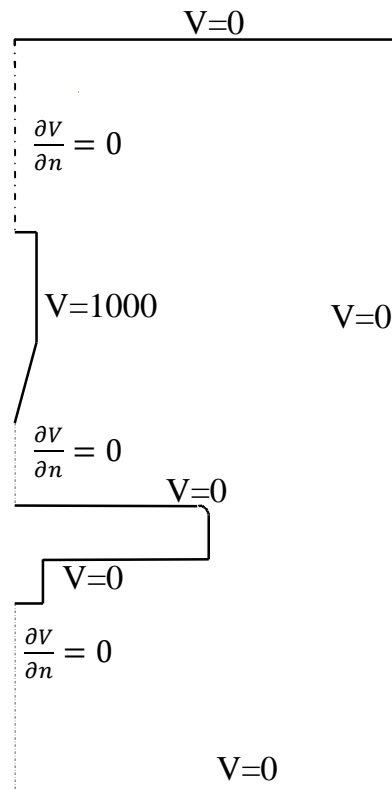


Fig.2 : domaine d'étude de la structure étudiée et conditions aux limites.

II.2.2. Conditions aux limites appliquées :

Nous allons appliquer deux conditions aux limites de type Dirichlet (voir figure 2):

-L'une sera appliquée à l'électrode pointe (Dirichlet 1000), l'électrode pointe sera portée à un potentiel de 1000 volts.

-L'autre sera appliquée à l'électrode plan (Dirichlet 0), l'électrode plan sera portée à zéro volt. Cette condition sera aussi appliquée aux bornes délimitant le domaine d'étude.

A noter que les contours de la structure auxquels ces deux conditions ne sont pas appliquées, seront portés à la condition de Neumann. C'est une condition de symétrie de coupe qui indique que les lignes de potentiel sont perpendiculaires à ces contours.

$$\frac{\partial V}{\partial n} = 0$$

II.2.3. le maillage :

Nous allons appliquer à la structure étudiée un maillage de type triangulaire. Le maillage ainsi obtenu est composé de 74791 éléments reposant sur 37920 nœuds. Ce maillage est représenté en partie sur la figure suivante :

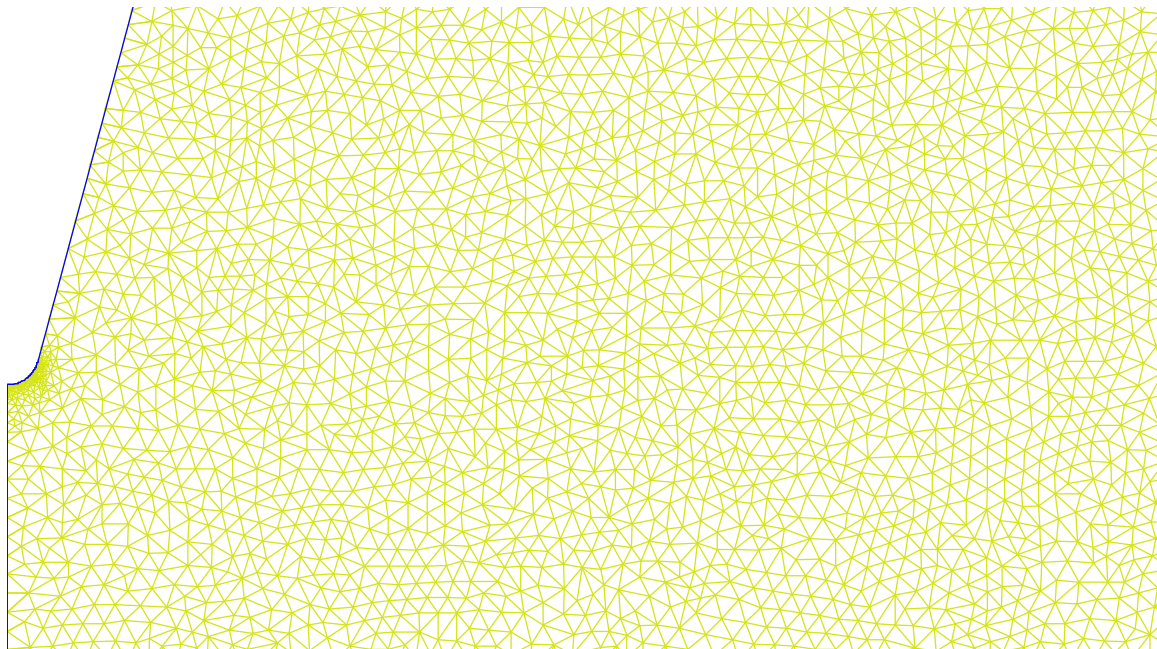


Fig.3 : Maillage triangulaire.

II.3.logiciel éléments finis femm :

II.3.1.Introduction à femm 4.2 :

Le logiciel femm « Finite Element Method magnetic » est logiciel libre et gratuit, disponible sur le réseau internet, c'est un freeware développé par David MEEKER, qui a aussi écrit et publié ce logiciel. Ce logiciel est devenu un outil très convoité par les chercheurs. La méthode qu'il utilise est celle des éléments finis, méthode appliquée aux structures électromagnétiques depuis 1968. Ce logiciel permet la résolution des problèmes de type : magnétique, électrostatique...etc.

Le logiciel femm est composé de trois modules essentiels, un module d'édition qui permet de définir le type de problème, de tracer la géométrie, de définir les différents milieux, ainsi que les termes sources et les conditions aux limites, de mailler la structure proposée (préprocesseur). Un deuxième module permet de résoudre le problème (processeur). Et un troisième module qui permet d'exploiter les résultats du calcul (post processeur). Le logiciel est utilisé généralement en compagnie d'un outil de programmation (lua scripting), qui sera d'ailleurs présenté dans les paragraphes à venir.

II.3.2.La procédure de mise en œuvre de femm :

a-Définition du type de problème :

On commence toujours par cette étape, avant d'entamer le calcul à faire, il faut définir d'abord sa nature, problème magnétique ou électrostatique ...etc. Préciser le plan d'étude, plan cartésien (x,y) ou plan axisymétrique (r , θ).

b-Définition de la géométrie :

Pour tracer la géométrie à étudiée, on utilise ce qu'on appelle « modes dessins », qui sont représentés sur la figure suivante :



Fig.4 : les modes dessins.

La figure représentée au-dessus contient cinq modes, qui sont respectivement, le mode point, segment, arc, milieux, groupe de modes. Les quatre premiers modes suffisent pour définir la géométrie à étudiée.

Le mode point : c'est le premier mode qu'on utilise pour commencer à définir la géométrie, il sert à placer les nœuds de liaison des segments et des arcs. Il ya deux façons de placer les nœuds :

Soit en cliquant sur le curseur gauche de la souris, ce procédé est aléatoire et peu précis ; soit en pressant la touche tabulation, cela fait apparaitre une boite de dialogue ou il suffit d'insérer les coordonnées du point désiré.

Pour supprimer un point, il suffit d'un clic droit sur le point pour le sélectionner (un objet sélectionné prend toujours la couleur rouge) et de le supprimer par la touche suppr.

A noter que le mode point est actif par défaut.

Le mode segment : ce mode sert à dessiner un segment, une fois que les nœuds sont placés, il suffit de désigner un début et la fin du segment par un clic gauche de la souris. La procédure de sélection et d'effacement sont les mêmes que pour les points.

Le mode arc : ce mode sert à dessiner un arc entre deux points déjà existant. Il S'applique exactement comme le mode segment.

Le mode milieux : ce mode sert à définir les propriétés des milieux utilisés, par exemple pour choisir un point du milieu air, on clique avec le bouton gauche sur un point. Un point none apparait. On sélectionne ce point puis on appuie sur la barre espace, une boite de dialogue apparait. Dans la case block type on choisit « air » puis on clique sur ok. Cette opération se répétera pour le nombre de milieux utilisés.

Le mode groupe d'objets : On désignera dans ce qui suit un objet comme étant soit un nœud, soit un segment, soit un arc soit un milieu. il sert à regrouper plusieurs objets pour faciliter les différentes manipulations.

c- Les différentes instructions permettant la manipulation du logiciel via clavier :

Nous allons dresser des tableaux qui contiennent les différentes actions exécutables via clavier pour chaque mode.

Les touches des modes sélectionnés.	
touche	Fonction
Espace	Editer les propriétés de l'objet (ou groupe d'objets sélectionné.)
Tabulation	Créer de nouveaux nœuds (ou milieux) en faisant entrer leurs coordonnées dans une boîte de dialogue activée à cet effet.
Echap	Désélectionner tous les objets sélectionnés
Suppr	Supprimer les objets sélectionnés

Tableau1 : commandes touches clavier du préprocesseur

Touches manipulation de la vue	
Touche	Fonction
Flèche gauche	Gauche
Flèche droite	Droite
Flèche haut	Haut
Flèche bas	Bas
page haut	Zoom avant
page bas	Zoom arrière
Home	Zoom "naturel"

Tableau2 : commandes touches clavier du préprocesseur pour visualisation

d- Manipulation du logiciel via la souris :

Les actions des boutons de la souris servant à manipuler le logiciel, sont répertoriées sur les tableaux ci-dessous :

Mode point	
Action	Fonction
Bouton du clic gauche	Créer un nouveau point sur le lieu de positionnement du pointeur de la souris
Bouton du clic droit	Sélectionner le point proche
Bouton double clic	Afficher les coordonnées du point proche

Segment /arc segment mode	
Touche	Fonction
Bouton du clic gauche	Sélectionner les points début / fin pour un nouveau segment
Bouton du clic droit	Sélectionner segment /arc segment proche
Bouton du double clic droit	Afficher la longueur de l'arc/ligne segment

Mode milieu	
Action	Fonction
Bouton du clic droit	Créer un nouveau milieu sur la l'actuel position du pointer de la souris
Bouton du clic gauche	Sélectionner le milieu proche
Bouton du double clic droit	Afficher les coordonnées du milieu proche

Mode groupe	
Action	Fonction
Bouton du clic droit	Sélectionner le groupe associé avec l'objet proche

Tableau 2 : les actions des boutons de la souris du processeur magnétique.

e- la manipulation du grillage de l'écran :

Le grillage l'écran est outil important, il aide beaucoup l'utilisateur à dessiner la géométrie. Lorsque l'option grillage est activée, un grillage de couleur bleu s'applique à l'écran. La taille du grillage peut être régler par l'utilisateur, en cliquant sur la barre d'outils avec la souris, Cette barre d'outils est représentées sur la figure suivante :

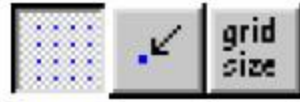


Fig.6 : la barre d'outils de la manipulation du grillage

- Le premier bouton est pressé par défaut, il nous donne un premier grillage.
- Le second bouton n'est pas pressé par défaut, une fois on clique dessous
- Le troisième bouton nous permet de régler la taille de la grille via la boîte de dialogue suivante :



Fig.7 : La boîte de dialogue des propriétés de la grille.

f-Définition du type de problème :

Pour définir le type de problème à étudier, on doit remplir la boîte de dialogue sur la figure ci-après :

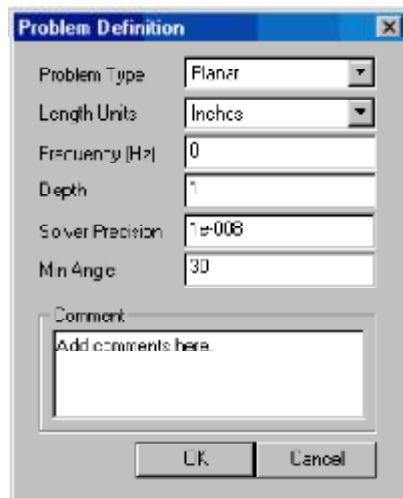


Fig.8 : la boîte de dialogue de la définition du problème.

-Sur la première case, on met le type de problème à étudié, soit la sélection plan cartésien ou la sélection axisymétrique.

-Sur la deuxième case, on met l'unité des dimensions du modèle géométrique étudié. Généralement ces unités sont : le millimètre, centimètre...etc.

-Sur la troisième case, on met la fréquence, cette fréquence vaut zéro pour les cas magnétostatique, si cette fréquence est différente de zéro, le programme tiendra compte des analyses d'harmoniques.

g-conditions aux limites :

La boîte de dialogue des propriétés des limites est utilisée pour spécifier les propriétés des segments ou des arcs de segments qui seront les limites du domaine de solution. Cette boîte de dialogue est schématisée sur la figure ci-après :

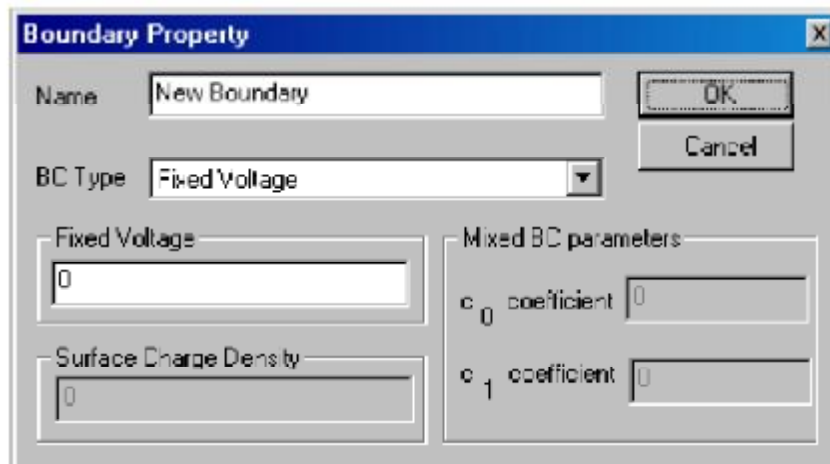


Fig.9 : boîte de dialogue des conditions aux limites.

La première sélection de cette boîte est le nom de la propriété. Le nom par défaut est “New boundary “ mais vous pouvez changer ce nom par la condition aux limites que vous définissiez.

La seconde sélection est BC type. Il est utilisé pour spécifier le type de condition aux limites. Généralement dans les problèmes électrostatiques de femm, le type utilisé est : un voltage fixe.

h-Opération de calcul de champ et de visualisation :

Pour cette opération, une barre d’outils composée de trois icônes est proposée :



Fig.10: barre d’outils pour le début des analyses

-Première icône : création du maillage. Une fois le maillage effectué, il vous renseigne sur le nombre de nœuds utilisés.

-deuxième icône : calcul et résolution de l’équation de poisson.

-troisième icône : visualisation des résultats.

i- Le post processeur électrostatique :

La fonctionnalité du post processeur de femm est utilisée pour la génération des solutions des vues par le belasolv solver. Les différentes partions sont schématisées par la figure ci- après :



Fig.11 : Les boutons de la barre d'outils du mode graphe.

ü Les courbes contours : l'une des formes de visualisation les plus utiles pour avoir une bonne estimation de la solution est le dessin des lignes équipotentielles. Par défaut, 19 lignes équipotentielles sont dessinées quand la solution est initialement lancée dans le post processeur. Cette courbe est représentée par l'icône contours hachurée en noir (fig.11).

ü Les courbes densités : la cartographie du champ est utile pour estimer rapidement la densité du flux dans divers parties du domaine. Par défaut la courbe de la densité du flux n'est pas affichée quand le post processeur démarre la première fois. Mais elle peut être affichée en pressant la touche hachurée en couleurs (fig.11). L'utilisateur peut sélectionner entre les courbes de la densité du voltage(V) ou la magnitude de l'intensité du champ (E) ou la densité du flux électrique (D).

ü Les courbes vecteurs : Pour avoir une bonne estimation de la direction et la magnitude du champ, on a recours aux courbes des vecteurs champ. Une flèche est alors dessinée dont la direction indique la direction du champ et la taille de la flèche indique la magnitude du champ.

ü Les courbes lignes : quand le post processeur est sur le mode contours. De nombreuses valeurs du champ peuvent être dessinées le long du contour défini. En pressant l'une des icônes sur la fig ci-dessous :



Fig.12 : courbe ligne, integration, et boutons de la barre d'outils du résultats du conducteur.

II.4. introduction à Lua Scripting :

Lua Scripting est un langage évolué complet. Il remplit toutes les fonctionnalités remplies par les langages orientés objet.

La documentation détaillée de la programmation, dans Lua, peut être obtenue de la page d'accueil de Lua à <http://www.lua.org>.

Maintenant, nous allons faire un résumé des du contenu de Lua scripting, en exposant les instructions principales.

II.4.1. Tracé de la géométrie :

a-Les nœuds :

Pour placer un nœud on fait : `addnode (x1, y1)`

Avec `x1, y1` : coordonnées du nœud à placer. Par exemple :

`Addnode (0,0)`

`Addnode (0,R1)`

Pour sélectionner un nœud, il faudra activer l'instruction :

`Selectnode (x1,y1).`

b-Les segments :

Pour placer un segment on fait addsegment (x1,y1,x2,y2)

x1,y1,x2,y2 : les coordonnées des nœuds 1 et 2 à lier.

c-Les arcs de segments :

Pour placer un arc de segment on fait : addarc (x1,y1,x2,y2,tet,nt)

Avec :

tet : angle à placer.

Nt : ouverture angulaire des segments.

III.4.2. Autres instructions de Lua scripting :**a. Ouverture des fichiers :**

Pour entamer un fichier lua, on commence par ouvrir un nouveau fichier femm avec l'instruction :

```
newdocument ( )
```

Cette instruction permet d'ouvrir un nouveau fichier femm (fichier de travail)

b. Déclaration de variables :

Les variables qui seront utilisées seront dans ce qui suit concerne la dimension de la géométrie pointe-plan qu'on a étudié. Soit Re : rayon du plan ; Rpt : rayon de la pointe et hp : hauteur du pied du plan.

Les instructions deviennent alors simplement :

```
Re = 35
```

```
Rpt = 4
```

hp = 8

c. Définition du type de problème :

Cette instruction permet de définir le type de problème à traiter (fréquence, “dimension“, “type“, précision et longueur d’induit). On prend l’exemple suivant :

(0, “Millimeters“, “planar“, 1e-8, (lu)).

d. Déclaration des matériaux utilisés :

Pour déclarer un matériau on procède de la manière suivante : prenons la cas de l’air
addmaterial (“air“, 1,1,0,0,0,0,0,0,1,0)

A noter les zéro et les 1 sont les valeurs des grandeurs caractérisant le matériau comme la perméabilité relative par exemple.

e. Condition aux limites :

La seule condition aux limites que nous utiliserons sera la condition de Dirichlet que nous déclarerons comme suit :

Addboundprop (“Dirichlet 1000“, 1000,0,0,0,0,)

Addboundprop (“Dirichlet0“, 0,0,0,0,0,)

Pour appliquer cette condition nous allons procéder comme suit :

D’abord, il faut délimiter les contours externes de la structure. Par exemple on veut appliquer cette condition aux limites à un segment de notre structure, on fait :

Selectsegment (x, y) , x, y les coordonnées du segment sélectionné.

Setsegmentprop (“Dirichlet 1000“, 1000,0,0,0,0,)

II.5. Equations à résoudre :

Les équations ci-dessous sont celles caractérisant les problèmes électrostatiques.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0 \quad (2)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (3)$$

$$\vec{E} = - \vec{\nabla} V \quad (4)$$

$$-\epsilon \nabla^2 V = \rho$$

Les équations (1) et (3) donne :

$$\epsilon \vec{\nabla} \times \vec{E} = \rho \quad (5)$$

on remplace (4) dans (5) :

$$\epsilon \vec{\nabla} (- \vec{\nabla} V) = \rho$$

Qui devient :

$$\Delta V = \rho / \epsilon \quad \text{Equation de poisson}$$

En absence de charge d'espace :

$$\Delta V = 0 \quad \text{Equation de Laplace}$$

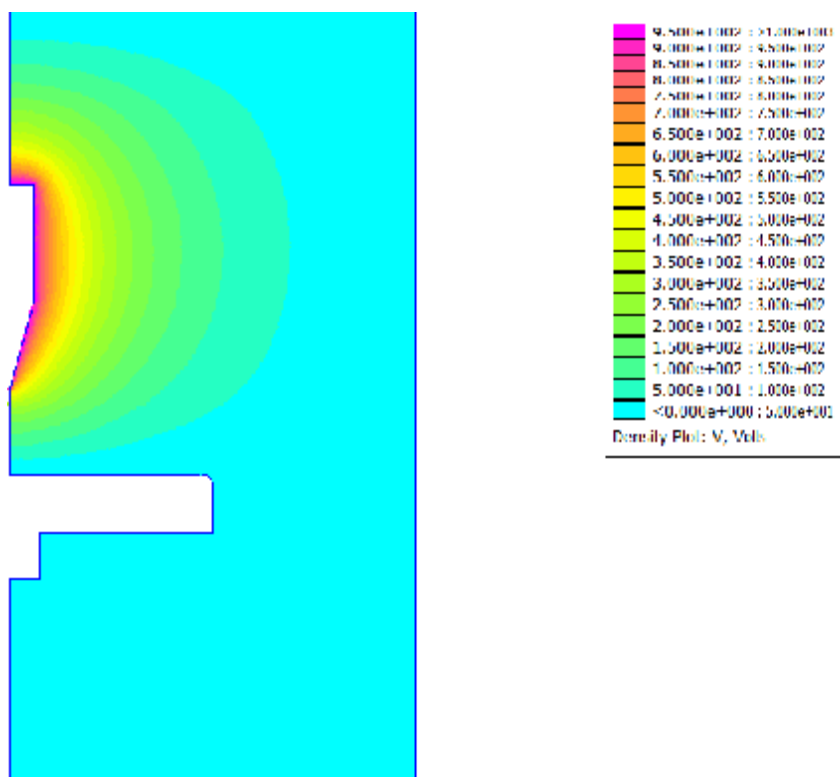


Dans ce chapitre nous allons présenter les différents résultats obtenus avec le logiciel femm. En premier lieu, nous allons commencer par donner des cartographies globales du potentiel, ensuite des cartographies des vues en loupe de la pointe de l'électrode et du champ. En second lieu, nous allons présenter les différentes courbes de la variation du champ en fonction du rayon de courbure de la pointe et en fonction de la distance inter-électrode. En troisième et dernier lieu, nous allons tirer les observations des cartographies et donner des interprétations et les conclusions essentielles des courbes.

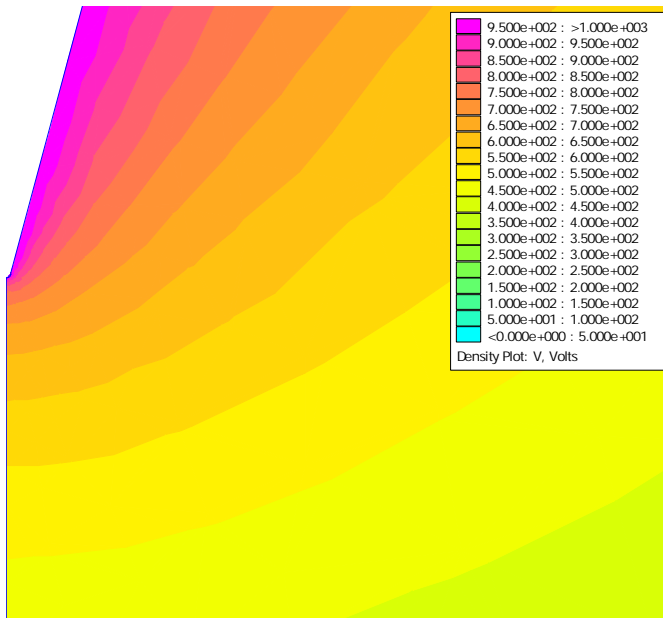
Pour ce qui est de la première étape, les cartographies présentées seront faites pour un petit, moyen et grand rayon de courbure et pour une distance inter-électrode fixe d.

III.1.cartographies du potentiel :

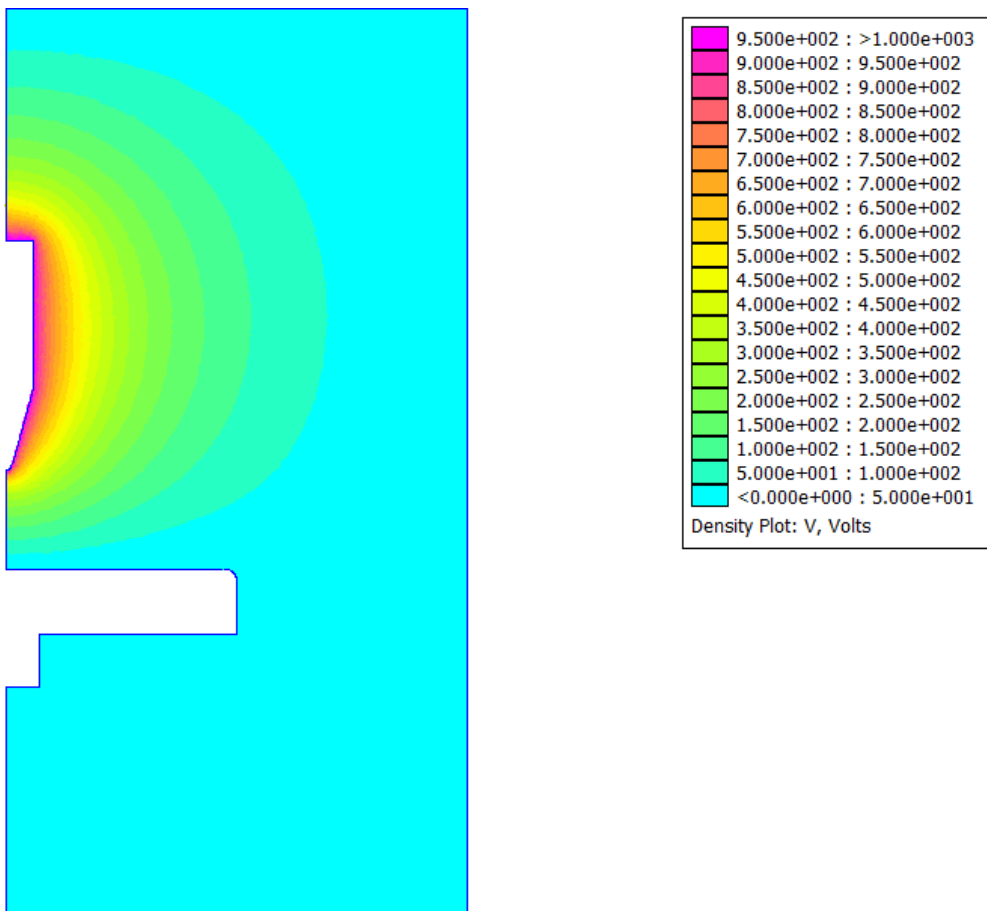
- rc= 0.02mm



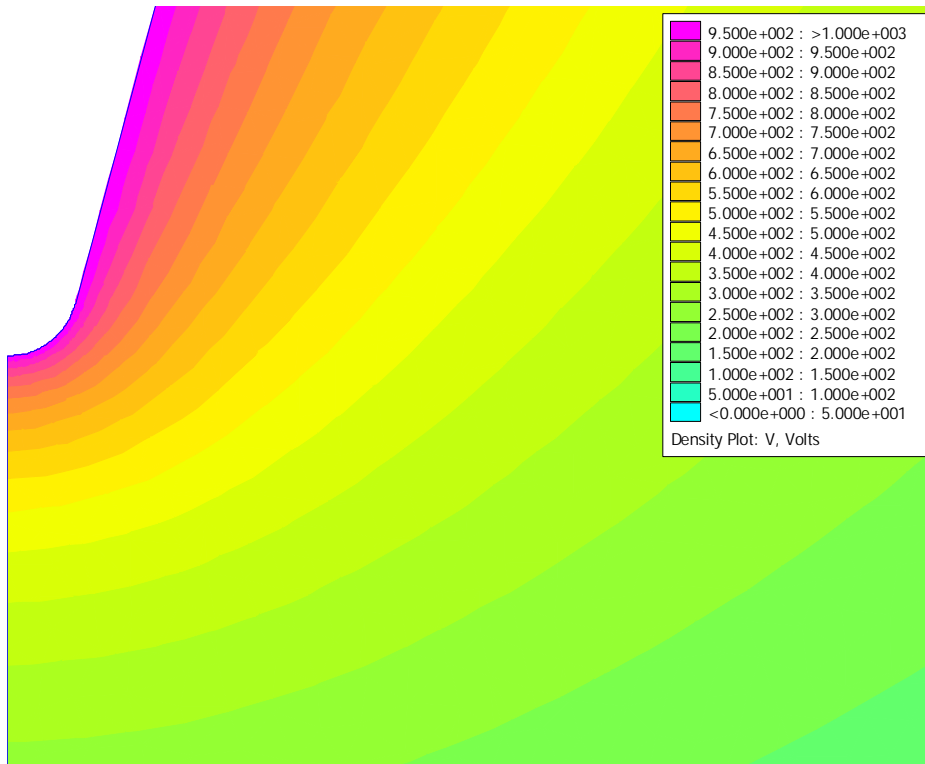
Effet loupe sur la pointe



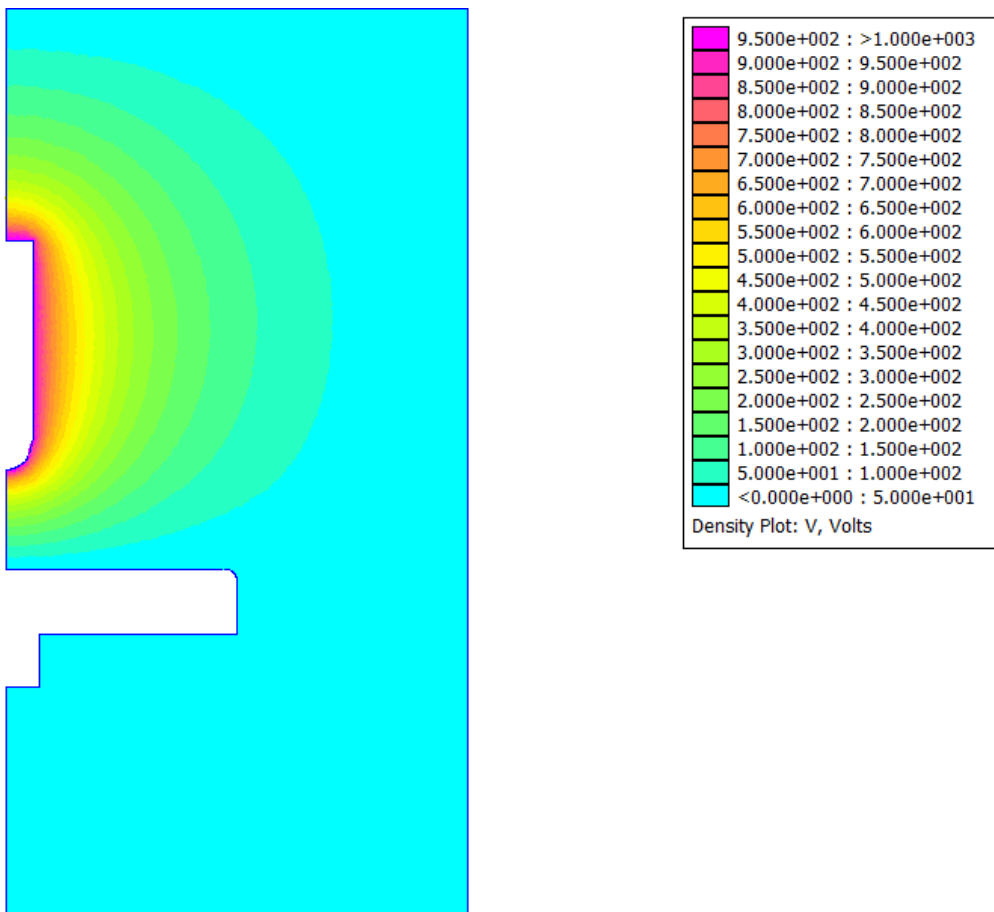
- $rc=0.85\text{mm}$



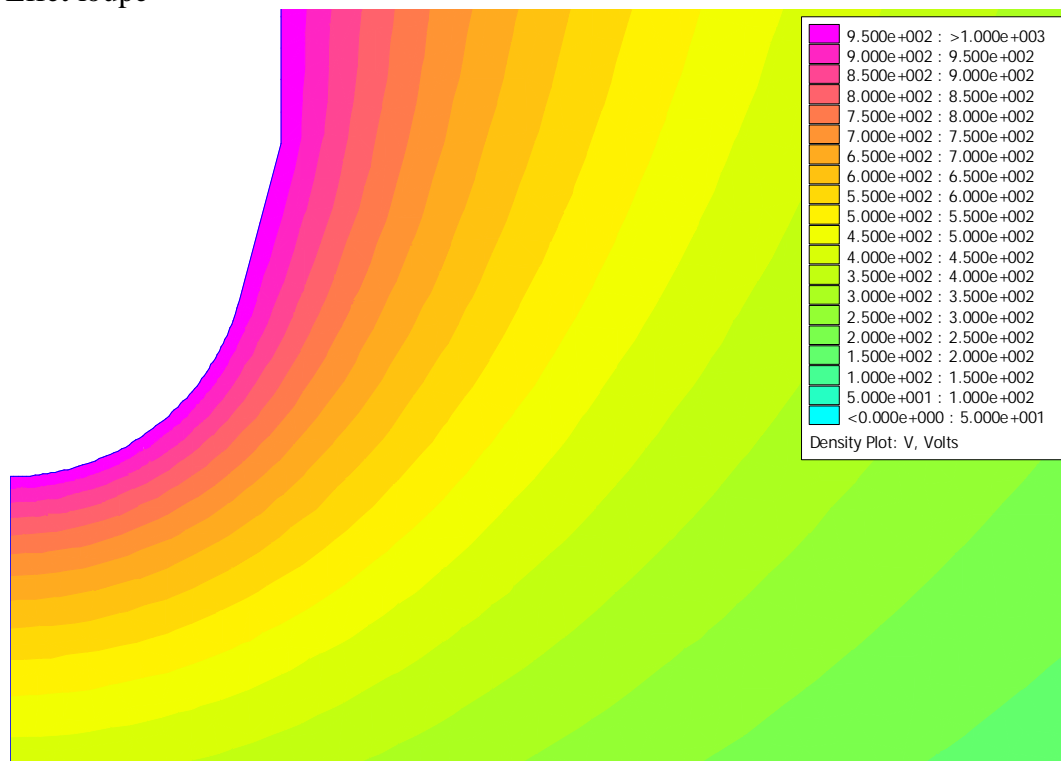
Effet loupe



- $rc=3.5$ mm



Effet loupe

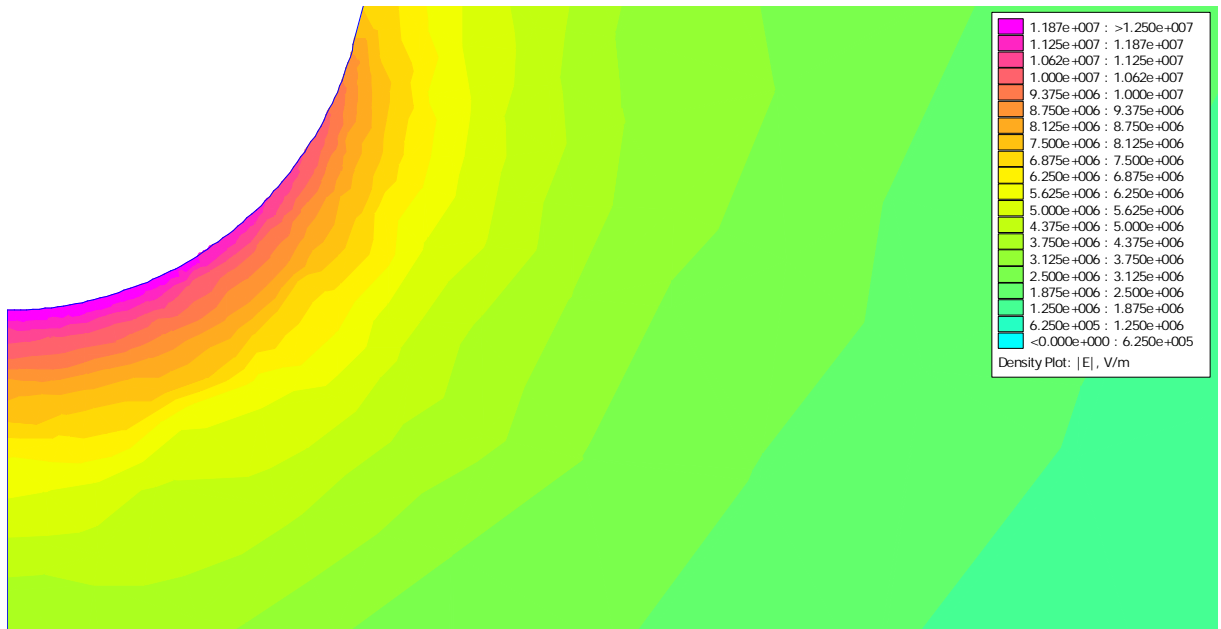


III.1.1. Commentaire sur les cartographies du potentiel :

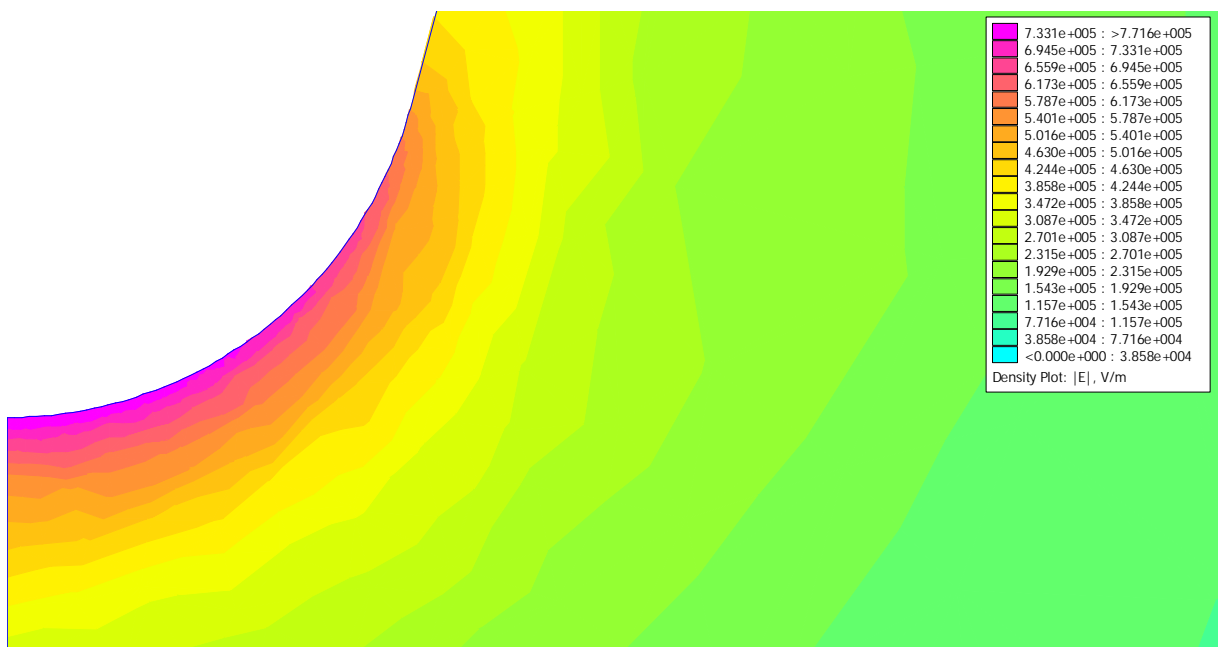
D'après les trois cartographies du potentiel représentées au-dessus, on remarque que le potentiel prend une valeur très grande aux alentours de la surface l'électrode pointe, tandis que cette valeur diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'électrode pointe, et ce quelque soit le rayon de courbure de cette dernière. Sur le périmètre de l'électrode pointe on note une valeur de 1000 volts et cette valeur diminue progressivement jusqu'à atteindre une valeur de 0 volts aux alentours de l'électrode plane. On peut aussi noter que la valeur élevée du potentiel caractérise toute l'électrode, pas seulement la courbure la pointe.

III.2.cartographie du champ électrique:

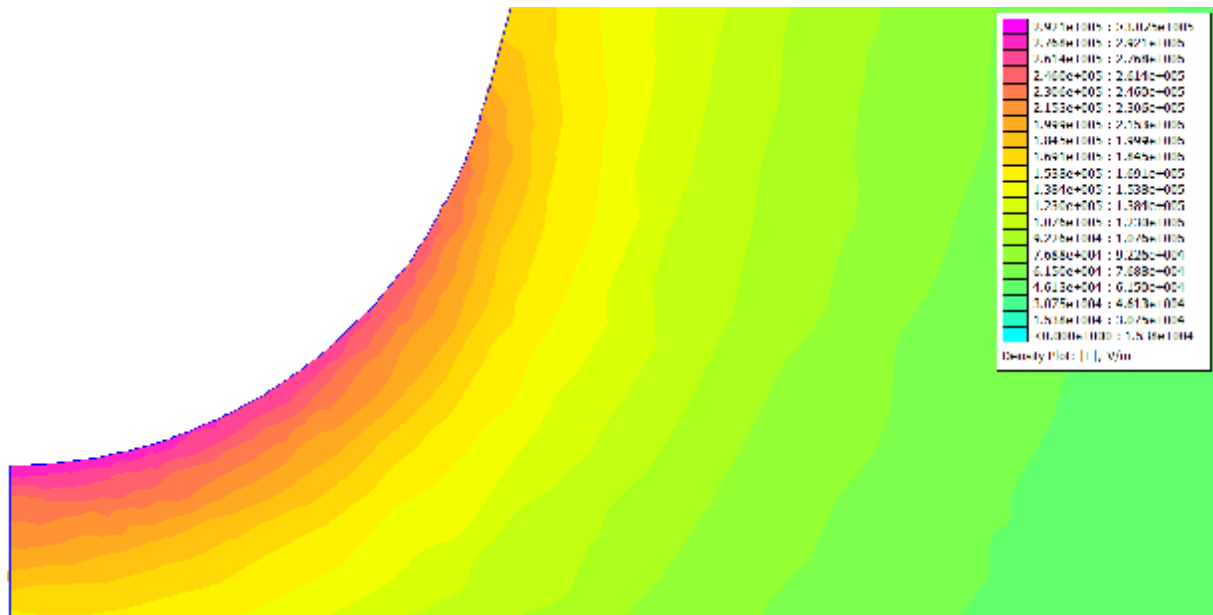
- $rc = 0.02 \text{ mm}$



- $rc = 0.85 \text{ mm}$



- $rc = 3.5\text{mm}$



III.2.1 Commentaire sur les cartographies du champ :

En analysant les trois cartographies, la première remarque à faire c'est que le champ est plus en moins uniforme pour la plus grande valeur du rayon de courbure ($rc = 3.5\text{m}$). Tandis le champ n'est pas uniforme pour les petites valeurs de rc , comme c'est illustré sur la troisième cartographie.

On remarque aussi que le champ dépend beaucoup du rayon de courbure de la pointe. La valeur du champ est inversement proportionnelle au rayon de courbure de la pointe. Par exemple, pour la première cartographie $rc = 0.02\text{ mm}$ on obtient un champ maximal de $1,25 \cdot 10^7\text{ v/m}$ soit 125 kv/cm , tandis que champ maximal dans la dernière cartographie (rc plus grand), est de $3,075 \cdot 10^5\text{ v/m}$ soit 3.07 kv/cm . L'écart entre les deux valeurs est assez grand.

III.3.Représentation des courbes :

Dans ce paragraphe nous allons convertir les résultats obtenus de la simulation sur femm, sous forme de courbes. Les premières courbes à représentées seront celles de la variation du champ en fonction du rayon de courbure de la pointe, en maintenant la distance inter-électrodes d fixe. Les secondes, seront celles de la variation du champ en fonction de la distance inter-électrodes d , en maintenant le rayon de courbure r_c fixe.

III.3.1.courbes $E = f(r_c)$ pour d fixe :

Nous allons fixer d à 15 mm, on varie le rayon de courbure r_c , pour chaque valeur on exécute le programme, les valeurs trouvées sont traduites sur la courbe de la fig.III.1.

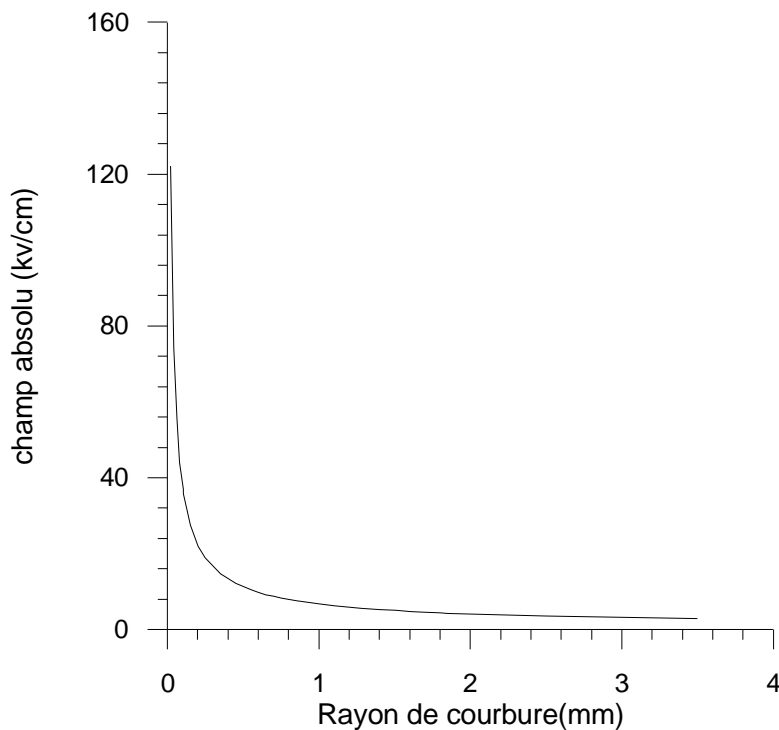


Fig.III.1 : Courbe $E = f(r_c)$ sur la pointe exactement et pour une distance inter-électrode $e=15$ mm.

Ø Afin d'appuyer le résultat précédent, nous allons refaire la même manipulation que précédemment pour cinq autres valeurs de la distance inter-électrodes d . Les résultats seront rassemblés sur la fig.III.2.

A noter, que cette étape a été réalisée à distance microscopique de la pointe ($10\ \mu\text{m}$), dans le but contourner les difficultés rencontrées par le logiciel lors de l'exécution du programme.

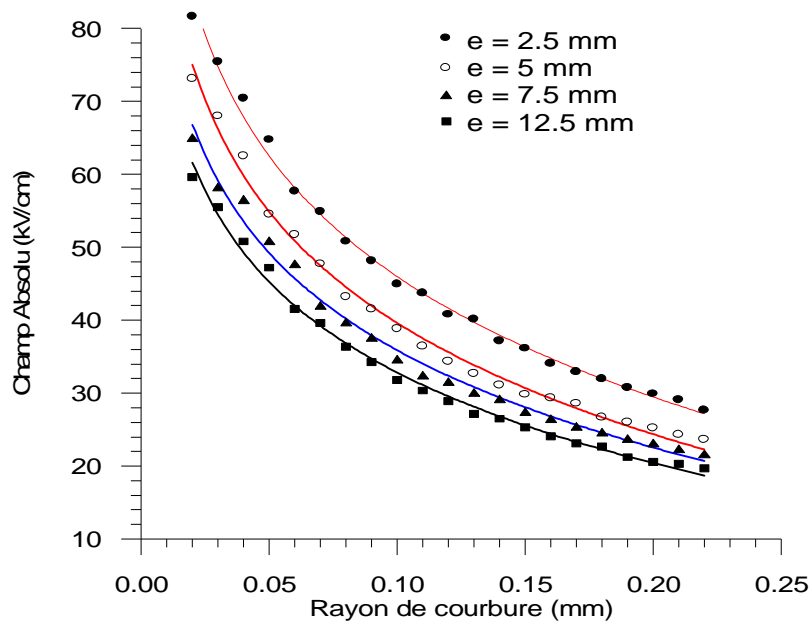


Fig.III.2 : Courbe $E = f(r_c)$ à $d = 10\ \mu\text{m}$ de la pointe pour différentes distances inter-électrodes

III.3.2. Courbes $E = f(d)$ avec r_c fixe :

Nous allons fixer r_c à $0.105\ \text{mm}$, on varie la distance inter-électrodes d , les résultats sont illustrés sur la fig.III.3 :

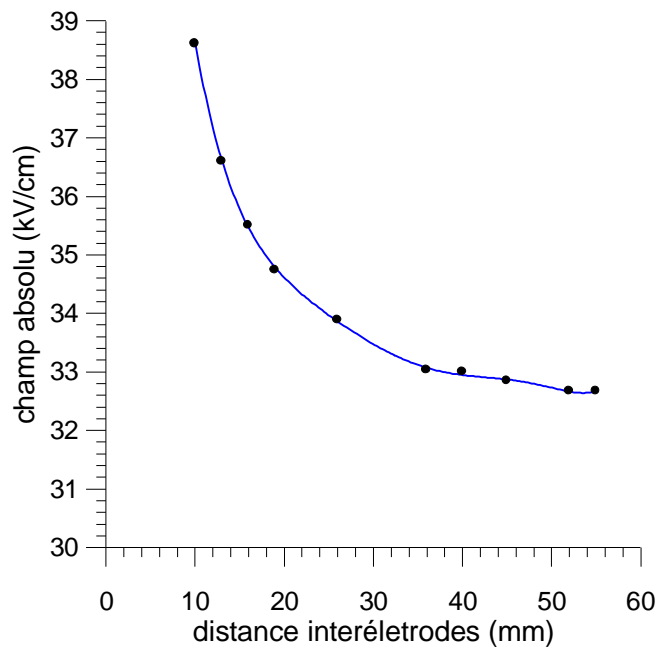


Fig.III.3 : courbe $E = f(d)$ pour $rc = 0.105\text{mm}$ sur la pointe exactement.

Ø Pour consolider le résultat précédent, nous allons refaire la manipulation précédente pour cinq autres valeurs de rc . Les résultats trouvés seront englobés sur la fig.III.4 :

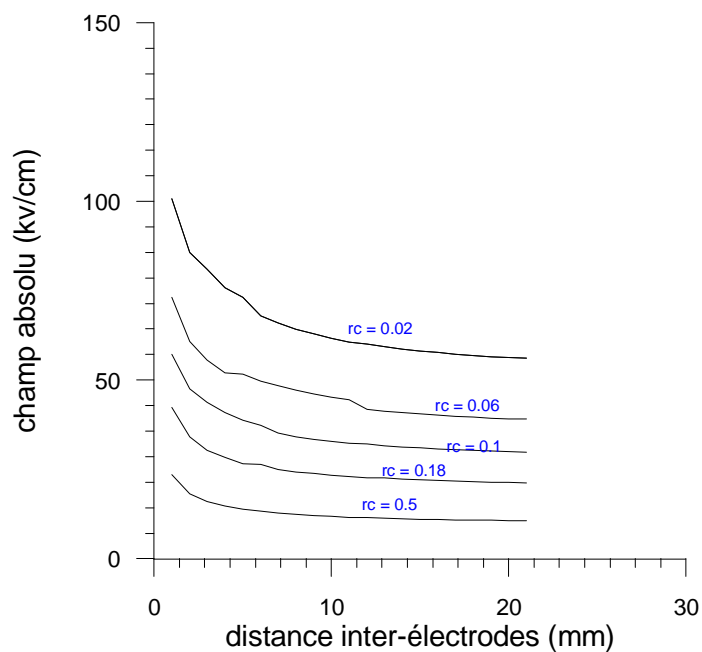


Fig.III.4 : courbe $E = f(d)$ pour $rc = 0.105\text{mm}$ réalisée à $10\mu\text{m}$ de la pointe.

III.4. Interprétation des courbes :**III.4.1. Interprétation des courbes $E=f(rc)$ pour d fixe :**

En analysant la courbe de la fig.III.1, fig.III.2 on constate que pour les faibles valeurs de rc , le champ prend des valeurs très importantes, allant jusqu'à dépasser 120kV/cm. Cette valeur est approximativement quatre fois plus grande que celle du champ disruptif de l'air. Alors que le champ perd en intensité pour les grandes valeurs de rc , jusqu'à atteindre une valeur de 2.8.kV/cm pour un $rc=3.5$ mm. Donc on peut en conclure que le champ est inversement proportionnel au rayon de courbure de la pointe, il diminue progressivement avec l'augmentation du rayon de courbure de la pointe.

Comme on peut tirer de la fig.III.1 la valeur de rc pour laquelle il ya rupture diélectrique de l'air, dans notre cas cette valeur est $rc =0.105$ mm. la valeur du champ correspondante est 35.81 kV/cm. Cette valeur correspond approximativement à celle du champ disruptif de l'air.

III.4.2. Interprétation des courbes $E=f(d)$ avec rc fixe :

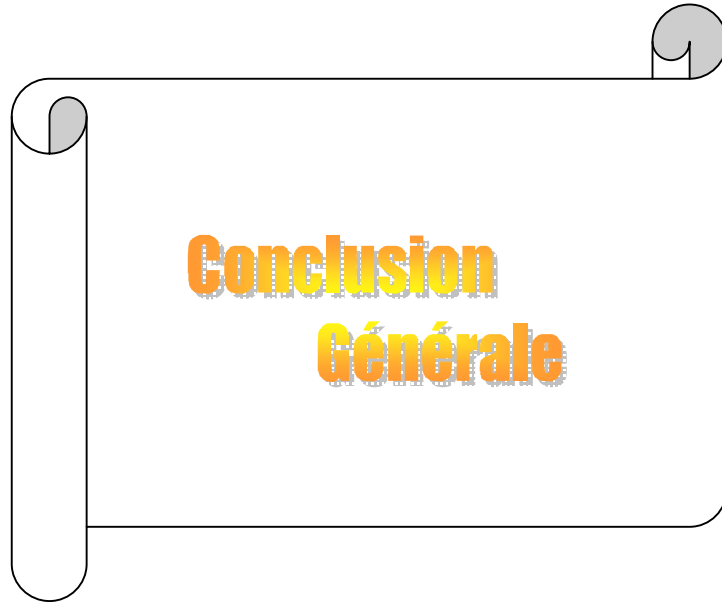
En analysant la courbe sur la fig.III.3, fig.III.4 on constate que le champ prend des valeurs relativement grandes, pour les petites distances inter-électrodes. Par exemple pour une distance inter-électrodes $d=10$ mm, le champ vaut 38.6 kV/cm. Alors la valeur du champ diminue jusqu'à 32.66 kV/cm pour $d=55$ mm.

Donc le champ est inversement proportionnel à la distance inter-électrodes, il diminue progressivement avec l'augmentation de la distance.

Comme on peut aussi vérifier le résultat du paragraphe précédent, concernant le champ disruptif de l'air. En faisant la projection de la courbe de la fig.III.3, on obtiendra la valeur du champ disruptif de l'air pour $d=15$ mm.

III.5. Les conclusions tirées des courbes :

- Ø Le champ est inversement proportionnel au rayon de courbure de pointe.
- Ø Le champ est inversement proportionnel à la distance inter-électrodes.
- Ø Le champ disruptif de l'air pour la structure étudiée, se produit pour une distance inter-électrode $d=15\text{mm}$, et un rayon de courbure de la pointe $r_c=0.105\text{mm}$.



Conclusion générale

Conclusion générale :

Le logiciel éléments finis femm nous a permis de faire un calcul rapide sur la décharge pointe-plan. Cette étude théorique est très bénéfique, dans la mesure où elle permet d'évaluer le degré d'influence des paramètres de la structure sur les grandeurs étudiées telle que le champ.

Le logiciel femm nous a permis en premier lieu, d'évaluer l'influence du rayon de courbure d'électrode pointe sur le champ et le potentiel. En fixant la distance inter-électrodes, on a fait varier le rayon de courbure ensuite, les résultats recueillis de femm nous ont bien montrés l'influence du rayon de courbure sur les deux grandeurs étudiées.

En second lieu, on a essayé d'évaluer l'influence de la distance inter-électrode sur le champ et le potentiel. On a fixé le rayon de courbure et on a fait varier la distance inter-électrodes. Les résultats obtenus nous ont bien montrés qu'il y a une grande influence de la distance inter-électrodes sur les deux grandeurs étudiées.

Notre étude a permis de montrer la grande influence du rayon de courbure de la pointe, et la distance inter-électrodes sur le champ et le potentiel. IL sera très utile de faire cette étude sur le système pointe-plan avec la présence d'une charge d'espace, et avec une mince barrière isolante.

BIBLIOGRAPHIE

[1] : D. DUBOIS, « Réalisation et caractérisation d'un réacteur plasma de laboratoire pour des études sur la dépollution des gaz d'échappement » : thèse de doctorat de l'université de Toulouse III, année 2006

[2] : Cours du module de TEC 424 « haute tension »

Université UMMTO de TIZI OUZOU, 2009, non édité.

[3] : C.GARY, G.LEROY « Les propriétés diélectriques de l'air et très haute tensions », Paris : EYROLLES ,1984 . Collection de la direction des études et recherche d'électricités de France.

[4] : M.AISSOU, A.LAIFAOU, Y.ZEBBOUDJ

« Etude expérimentale de la décharge couronne bipolaire », CNHT' 2011 à Tiaret, page 38, mai 2011

[6] : V. AXEL

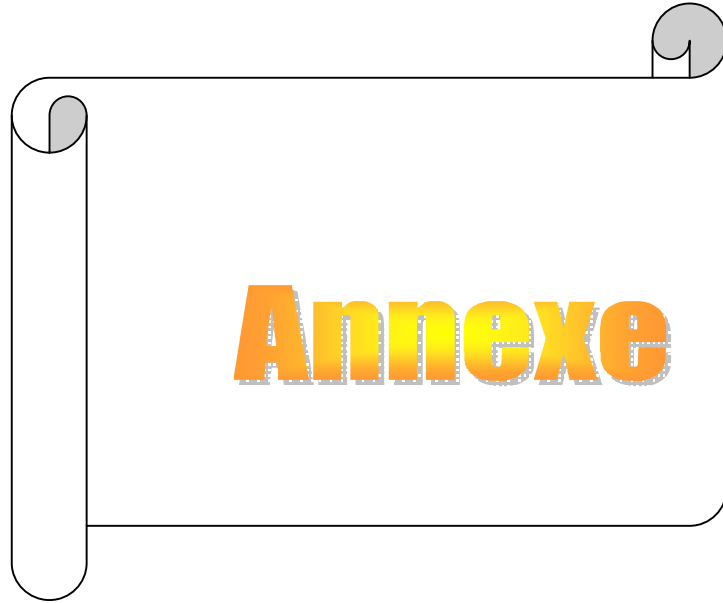
« Conception et simulation d'un réacteur fil-cylindre à décharge couronne avec barrière diélectrique adapté au traitement des oxydes d'azote dans des effluents marqués par un isotope », Thèse de doctorat de l'université de Paris VI Pierre et Marie Curie, décembre 2002.

[9] : J.P. SALANNE: « Contrôle du point de fonctionnement des décharges électriques par l'intermédiaire de leur alimentation. », Thèse doctorat de l'institut polytechnique de Toulouse, 2005.

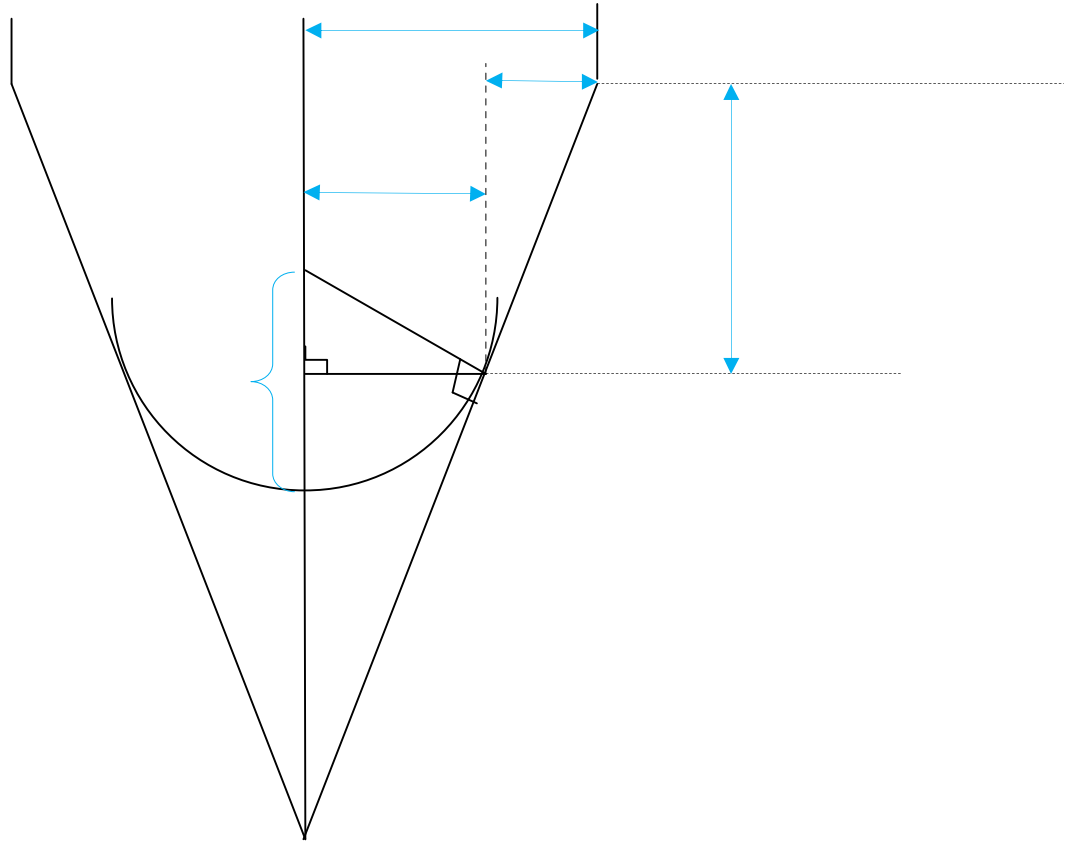
[8] :A. ABAHAZEM , « études expérimentales des décharges couronne pour la dépollution des gaz », Thèse doctorat de l'université de Toulouse III –Paul sabatier , décembre 2009.

[7] : Michel Moison et Jaques Pelletier, « physique des plasmas collisionnels, Application aux décharges haute fréquence ». Paris : EDF sciences, 2006. Collection Grenoble.

[5] : cours de A.Tilmatine , chapitre 3 : « Mécanismes de claquage des isolants gazeux », non édité.



- Calcul des coordonnées définissant le rayon de courbure de la pointe :



Pour ne pas encombrer la figure au –dessus, nous allons isoler la partie essentielle pour le calcul des coordonnées.

$$x = RC \cos \alpha$$

$$y = rc - rc \sin \alpha$$

$$\Rightarrow y = rc (1 - \sin \alpha)$$

$$X = Rpt - x$$

$$Y = \frac{x}{tga}$$

