

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electrotechnique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commandes Electriques
Thème

**Effet des particules sur le champ électrique d'un convoyeur
à ondes mobiles**

Présenté Par :

- 1) Mr KADDOURI Walid
- 2) Melle DRISS Chaimaa

Devant le jury composé de :

YOUNES Mohammed	Pr	UAT.B.B	Président
BERRACHED Djelloul	MCB	UAT.B.B	Examineur
ZELMAT Samir	Pr	UAT.B.B	Encadrant

Année universitaire 2021/2022

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A mes chers parents qui m'ont encouragé durant ces années d'études.

A mes frères et ma sœur

A mes chers cousines FATIMA, NAWEL, FAIZA

A celui qui est loin des yeux mais jamais loin du cœur, qui m'a trop aidé et m'encouragé durant toute cette période.

A toute personne qui m'a aidé de près ou de loin.

DRISS Chaimaa



DÉDICACE

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

À LA LUMIÈRE DE MA VIE QUI N'À JAMAIS CESSÉ DE M'ÉCLAIRER ET
DE TOUT SACRIFIER POUR MON BONHEUR ET MA RÉUSSITE, MA TRÈS
CHÈRE MÈRE QUE J'ADORE PLUS QUE TOUT AU MONDE ;

À MON PÈRE QUI À TOUT FAIT POUR MA RÉUSSITE ET QUI M'À
APPORTÉ SOUTIEN, AMOUR, ATTENTION, JE TE REMERCIE D'AVOIR ÉTÉ
À MES CÔTÉS, QUE DIEU TE PROTÈGE ET TE GARDE POUR NOUS;

À MON CHER FRÈRE, ET MA CHÈRE SŒUR POUR LEUR AFFECTION,
COMPRÉHENSION ET PATIENCE ;

À LA MÉMOIRE DE MA COUSINE RAZIKA (QUE DIEU BÉNISSE SON
ÂME).

À MES CHERS AMI(E)S

À MA BINÔME CHAIMAA ET TOUTE SA FAMILLE
À TOUS CEUX QUE JE CONNAIS D'ICI ET D'AILLEURS ;
À TOUS CEUX QUI M'AIMENT ET QUE J'AIME.



WALID

REMERCIEMENT

Nous adressons avant tout nos remerciements à ALLAH, le Tout Puissant pour la santé et la patience qu'il nous a donnée durant toutes ces années d'études

Nous remercions notre encadrant Mr Zelmat Samir pour tout ses efforts, sa patience, sa disponibilité tout le temps, et surtout pour son aide sérieux

Nous tenons également à remercier les membres du jury, Mr Younes qui a fait l'honneur de présider le jury, ainsi que notre examinateur Mr Berrached.

Enfin, un remerciement éternel à nos parents, nos frères et sœurs, et tous nos amis

Sommaire

Introduction :

Chapitre I: Généralité sur l'électrostatique

I.1 Introduction:	2
I.2 Définition :	2
I.3 Le champ électrostatique	2
I.3.1 Le champ électrique :	2
I.3.2 La loi de coulomb :	3
I.3.3 Le champ électrique uniforme :	3
I.3.4 Lignes de champ électrostatique :	4
I.3.5 Moment dipolaire :	4
I.3.6 Polarisation électrostatique :	5
I.3.7 Phénomène de charge :	5
I.4 Mécanisme de la charge électrique :	5
I.4.1 Effet couronne :	6
I.4.2 Electrification par frottement :	6
I.4.3 Electrification par contact :	7
I.4.4 Electrification par influence :	7
I.5 Séparation électrostatique :	7
I.6 Conclusion :	8

Chapitre II: Généralité sur les convoyeurs à ondes mobiles

II.1 Introduction :	10
II.2 Les ondes mobiles :	10
II.3 Les convoyeurs à ondes mobiles :	11
II.4 Types de convoyeurs à ondes mobiles :	12
II.4.1 Convoyeurs multi-phase :	12
II.4.2 Convoyeurs à ondes stationnaires :	12
II.5 La géométrie des électrodes :	14
II.6 Les modes de transport :	15
II.6.1 Mode de glissement :	15
II.6.2 Mode sauts:	15
II.6.3 Mode cycloïdal:	15
II.7 Conclusion :	16

Chapitre III: Présentation du modèle étudié

III.1 Introduction :	17
III.2 Présentation du logiciel FLUX 2D :	19
III.3 Présentation des modèles de simulation	20
III.3.1. Cas 1 : Modèle sans particule:	20
III.3.2. Cas 2 : Modèle avec particule en cuivre:	22
III.3.3. Cas 3 : Modèle avec particule en plastique :	23
III.4 Paramètres physiques :	25
III.4.1 Matériaux et régions surfaciques :	25
III.4.2 Régions linéiques :	26
III.5 Conclusion :	26

Chapitre IV: Analyses de l'étude de simulation

IV.1 Introduction :	27
IV.2 Zone analysée du convoyeur	27
IV.3 Distribution des lignes équipotentielles :	28
IV.4 Calcul du champ électrique:	32
IV.4.1 Convoyeur sans particule (cas N°1)	33
IV.4.2 Convoyeur avec particule cuivre (cas N°2)	34
IV.4.3 Convoyeur avec particule PVC (cas N°3)	35
IV.5 Conclusion	36

Liste des figures

Figure I.1 : La loi de coulomb.....	3
-------------------------------------	---

Figure I.2 : Exemple d'un champ uniforme.....	4
Figure I.3 : Les lignes de champ électrostatique d'une charge (+) et (-).....	4
Figure I.4 : Moment dipolaire entre deux charges opposées.....	5
Figure I.5 : Effet de couronne.....	6
Figure I.6 : Electrification par frottement.....	6
Figure I.7: Electrification par contact.....	7
Figure I.8 : Electrification par influence.....	7
Figure I.9 : Séparateur électrostatique haute tension.....	8
Figure II.1 : Exemple d'un convoyeur à ondes mobiles.....	11
Figure II.2 : Représentation schématique d'un convoyeur biphasé sous forme de deux peignes.....	12
Figure II.3 : Schéma de convoyeur biphasé.....	13
Figure II.4 : Schéma de convoyeur triphasé.....	13
Figure II.5 : schéma de convoyeur à quatre phases.....	14
Figure II.6 : Exemples des convoyeurs à configuration 2D d'électrodes.....	14
Figure II.7 : Exemples des convoyeurs à configuration 3D d'électrodes.....	15
Figure III.1 : Présentation du convoyeur étudié.....	17
Figure III.2 : Vue de coupe en 2D du convoyeur.....	18
Figure III.3 : Paramètres géométriques du modèle étudié.....	18
Figure III.4 : Logo du logiciel Flux.....	19
Figure III.5: Les étapes d'une étude dans le FLUX.....	19
Figure III.6 : Menu « Géométrie » du logiciel Flux 2D.....	20
Figure III.7 : Géométrie 2D du modèle sans particule.....	20
Figure III.8 : Vue globale sur le maillage du modèle sans particule avec un vue agrandie sur le maillage du coin d'une électrode.....	21
Figure III.9: Géométrie 2D du modèle avec particule cuivre.....	22
Figure III.10 : Vue agrandie sur le maillage de la particule cuivre.....	22
Figure III.11 : Maillage fin sur le coin supérieur droit de la particule cuivre.....	23
Figure III.12 : Géométrie 2D du modèle avec particule plastique (PVC).....	23

Figure III.13 : Vue agrandie sur le maillage de la particule plastique (PVC).....	24
Figure III.14: Maillage fin sur le coin supérieur droit de la particule plastique.....	24
Figure III.15: Paramètres créés dans le menu « Physique » du logiciel Flux 2D.....	25
Figure III.16: Potentiel électrique affecté aux électrodes et à la particule de cuivre.....	25
Figure IV.1: Partie centrale du convoyeur considérée dans l'étude.....	27
Figure IV.2 : Vue d'ensemble sur la répartition des lignes équipotentielles.....	28
Figure IV.3 : Illustration de l'effet de bord au niveau de l'extrémité du convoyeur.....	28
Figure IV.4 : Potentiel électrique des sept électrodes de la partie centrale du convoyeur.....	29
Figure IV.5 : Distribution des lignes équipotentielles dans la zone centrale du convoyeur pour les trois cas étudiés.....	31
Figure IV.6 : Vue agrandie de la distribution des lignes équipotentielles autour de l'électrode N°4 pour les trois cas étudiés	32
Figure IV.7 : Exemple d'un chemin tracé dans l'isolant passant par le haut des électrodes.....	33
Figure IV.8 : Position des points repère pour le calcul du champ électrique au niveau des pointes de la particule.....	33
Figure IV.9 : Variation du champs électrique dans l'isolant en haut des électrodes (cas1).....	34
Figure IV.10 : Variation du champs électrique dans l'isolant en haut des électrodes (cas2).....	35
Figure IV.11 : Variation du champs électrique dans l'isolant en haut des électrodes (cas3).....	36
Figure IV.12 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'isolant au niveau des électrodes du convoyeur pour les trois cas étudiés.....	38
Figure IV.13 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'air au niveau des coins de la particule pour les trois configurations.....	38
Figure IV.14 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'isolant Kapton au niveau des coins de la particule pour les trois cas étudiés.....	39

Liste des tableaux

Tableau III.1 Matériaux affectés aux faces du model (régions surfaciques).....	25
Tableau IV.1 : Valeurs du champ électrique au niveau des point repères (cas N°1).....	34
Tableau IV.2 : Valeurs du champ électrique aux coins de la particule cuivre (cas N°2).....	35
Tableau IV.3 : Valeurs du champ électrique aux coins de la particule PVC (cas N°3).....	36
Tableau IV.4 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'isolant au niveau du coin de l'électrode N°2.....	37

Introduction

Générale

Introduction :

Le besoin humain de trier les déchets d'équipements électriques et électroniques, le pousse à créer de nouvelles technologies pour répondre à cette demande et rentabiliser la production de ces produits d'équipement. Recycler les matières plastiques des appareils à la fin de son cycle de vie est un domaine prioritaire pour la recherche mondiale. Dans ce contexte, il existe une technologie basée sur des convoyeurs à ondes mobiles qui peut s'avérer intéressante pour la séparation des mélanges de matériaux conducteurs et isolants.

L'objectif de notre travail est de déterminer la valeur du champ électrique dans un convoyeur à ondes mobiles biphase en comparant trois configurations qui peuvent être rencontrées durant son fonctionnement: sans particule sur le convoyeur, avec une particule en PVC et avec particule en cuivre.

Dans ce mémoire, on a organisé ce manuscrit en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, on a introduit l'électrostatique d'une façon générale.

Dans le deuxième chapitre on a parlé des convoyeurs à ondes mobiles et leurs différents types.

On a présenté dans le troisième chapitre notre modèle d'étude avec la simulation à l'aide du logiciel FLUX 2D. On a expliqué la manière et les étapes de construction de notre modèle, sa géométrie, son maillage, l'affectation des lignes et les paramètres physiques utilisés et finalement la résolution du projet.

Enfin, dans le dernier chapitre, on a présenté l'analyse des résultats de notre étude avec une comparaison entre les trois configurations étudiées.

Chapitre I

Généralités sur l'électrostatique

I.1 Introduction:

Bien que l'électrostatique soit une discipline physique ancienne, il est difficile d'imaginer les différents domaines d'études couverts par cette discipline de pointe aujourd'hui. Cette recherche sur le piézoélectrique et l'électret, la technologie des microsystèmes actionneurs électromécaniques, de décharge aérodynamique, de filtration et de précipitation électrostatique, séparation électrostatique des particules, injection de charge et dopage, revêtements et le traitement de surface, l'étude des protéines en biophysique, a finalement montré que ce la science ancienne est aussi la science future.

I.2 Définition :

L'électrostatique est l'étude des phénomènes provoqués par l'électricité statique, observable par l'humain dans son environnement. C'est une branche de la physique. Consiste en une force provoquée par un objet chargé d'électricité sur un autre objet. Elle traite des charges électriques immobiles et des forces exercent entre elles, c'est-à-dire de leurs interactions [1].

I.3 Le champ électrostatique :**I.3.1 Le champ électrique :**

Un champ électrique est une région de l'espace où une charge électrique est soumise à une force électrique d'un corps chargé agit sur d'autres corps chargé environnants [2].

Un corps chargé électriquement peut exercer à distance une force d'attraction ou de répulsion sur un autre corps chargé. L'espace dans lequel la force s'exerce se nomme le champ électrique. Pour présenter schématiquement le champ électrique, on trace des lignes de champs autour du corps chargé. Par convention, le champ électrique s'éloigne de la charge positive alors qu'il se dirige en direction de la charge négative. Ainsi, le champ électrique se déplace toujours de la charge positive vers la charge négative. Le champ de deux charges de même signe s'oppose, alors que celui de deux charges opposées s'attire [3].

L'intensité du champ électrique dépend de la charge de l'objet qui le produit et de la distance par rapport à l'objet chargé selon l'équation suivante :

$$E=k.q/r^2$$

Avec :

E: l'intensité de champ électrique

K: la constante de coulomb

q: la charge de particule (C)

r= la distance par rapport à la particule chargée (m)

I.3.2 La loi de coulomb :

Elle est nommée d'après le physicien français Charles augustin coulomb, qui l'a énoncé en 1785 et elle forme la base de l'électrostatique. Aujourd'hui, l'électrostatique est largement utilisée dans la recherche des matériaux antistatiques.

La loi de coulomb permet de calculer la force électrique qui s'exerce entre deux objets immobiles et chargés [4]

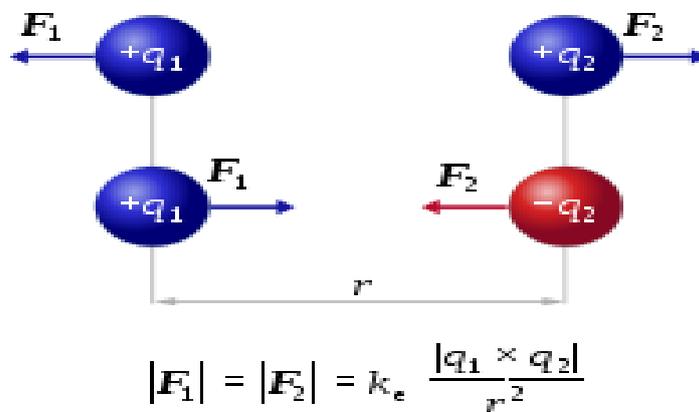


Figure I.1 : La loi de coulomb [4]

I.3.3 Le champ électrique uniforme :

Un champ électrique est dit uniforme dans une zone de l'espace ou il est constant en direction, en sens, et en valeur. Les lignes de champs sont alors toutes parallèles [5].

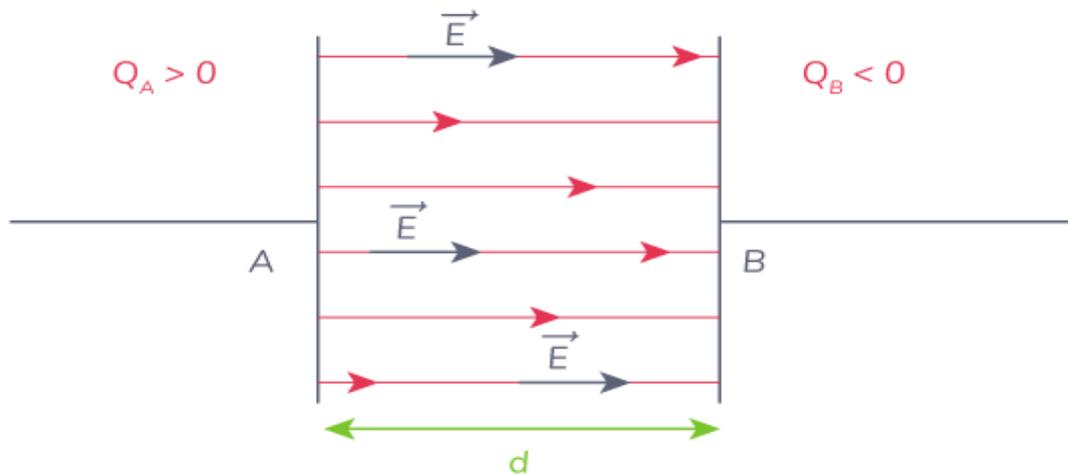


Figure I.2 : Exemple d'un champ uniforme [6]

I.3.4 Lignes de champ électrostatique :

Une ligne de champ est une courbe telle qu'en chaque point de celle-ci, le champ électrostatique est porté par la tangente de la courbe.

Il existe d'innombrables lignes de force dans l'espace, et une ligne de force traverse chaque point de l'espace. Chaque ligne de champ électrique pointe dans la direction du vecteur. Les lignes de champ s'éloignent de la source chargée positivement et se rapproche de la source chargée négativement. [7]

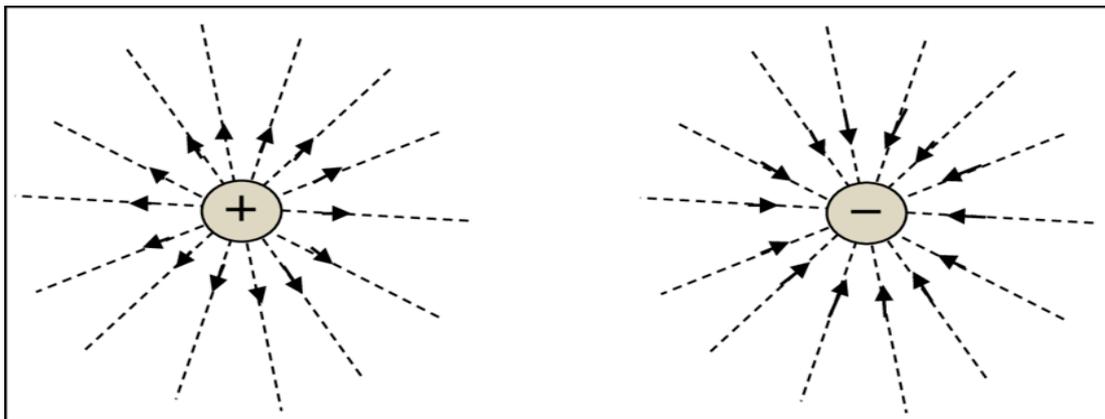


Figure I.3 : Les lignes de champ électrostatique d'une charge (+) et (-)

I.3.5 Moment dipolaire :

Le moment dipolaire est une grandeur vectorielle, il est orienté du pôle négatif vers le pôle positif et mesure la polarité de la molécule. Pour qu'une molécule soit polaire, il faut qu'elle

possède au moins une liaison polarisée et que le barycentre des charges négative ne coïncide pas avec le barycentre des charges positives [8].

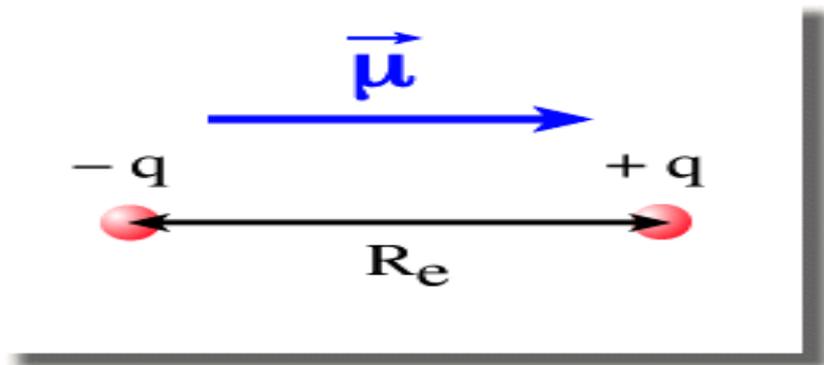


Figure I.4 : Moment dipolaire entre deux charges opposées

I.3.6 Polarisation électrostatique :

La polarisation est une grandeur physique macroscopique vectorielle utilisée dans l'étude des propriétés des matériaux diélectriques. Elle désigne la densité volumique de moment dipolaire électrostatique. Son unité dans le système international est le C/m². Ce concept a été introduit par Faraday, alors qu'il étudie le comportement des isolants électriques dans des champs électrostatiques. La particule conductrice va se polariser, c.à.d. les charges positives seront regroupées à l'opposé des charges négatives ; il y aura un léger déplacement du nuage d'électrons par rapport au noyau [3].

I.3.7 Phénomène de charge :

Le phénomène le plus courant est l'effet triboélectrique et ses effets. L'effet triboélectrique est généralement associé à l'apparition d'une charge électrique après frottement entre deux matériaux, mais sa définition s'étend généralement au transfert de charge électrique par contact [9].

Le phénomène d'influence correspond à l'apparition d'une charge électrostatique sur un corps de matériau due à la proximité d'un objet déjà chargé sans contact entre les deux. En effet, la présence d'un corps chargé induit un champ électrique à l'intérieur du corps affecté, créant des forces qui vont s'exercer sur les porteurs de charge libres [9].

I.4 Mécanisme de la charge électrique :

La séparation électrostatique d'un mélange de matériaux pulvérulents est possible si les constituants de celui-ci portent des charges électriques différentes. Ces charges peuvent être générées par un ou plusieurs des trois mécanismes physiques différents. Il s'agit de l'effet couronne, de l'induction électrostatique et de l'effet tribo-électrique [10].

I.4.1 Effet couronne :

L'effet couronne aussi appelé «effet corona», est un phénomène de décharge électrique partielle entraînée par l'ionisation du milieu entourant un conducteur. Il apparaît quand la tension appliquée à un conducteur isolé dépasse une valeur critique qui provoque un courant de fuite, mais pas assez pour causer un claquage de l'isolant [11].

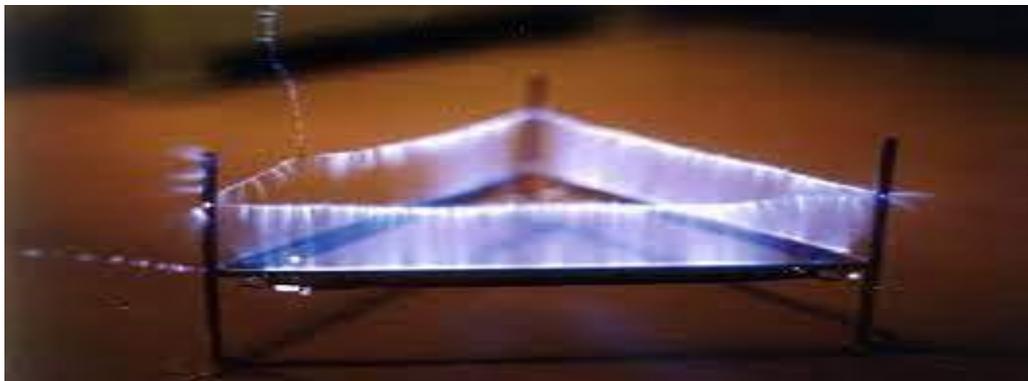


Figure I.5 : Effet de couronne [12]

I.4.2 Electrification par frottement :

Si l'on frotte une baguette (verre, matière plastique..) contre un chiffon quelconque, on observe la baguette est capable d'attirer de menus objets. C'est le frottement qui a provoqué l'électrification [13].

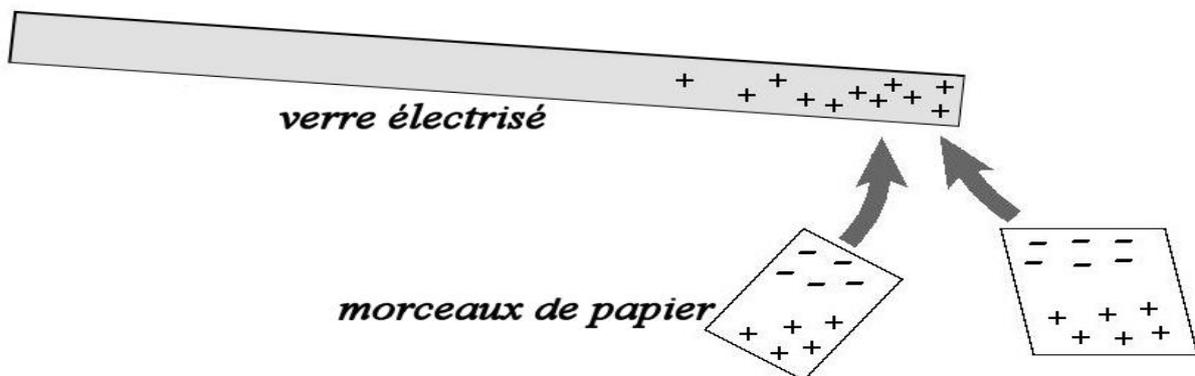


Figure I.6 : Electrification par frottement

I.4.3 Electrification par contact :

Un pendule électrostatique est constitué d'une boule légère recouvert d'une couche conductrice suspendue à une potence par un fil. Lorsqu' on approche une baguette électrisée du pendule, la boule est attirée par la baguette. Après contact avec la baguette, la boule est repoussée [13].

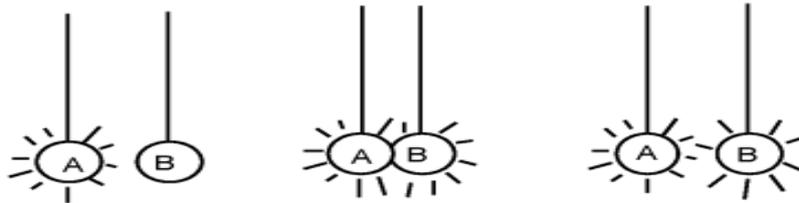


Figure I.7: Electrification par contact

I.4.4 Electrification par influence :

Un électroscope à feuilles est constitué d'une tige métallique supportant deux feuilles étroites et très fin d'or ou d'aluminium. L'ensemble est placé dans une enceinte transparente et isolante lorsque on approche une baguette électrisée de l'électroscope, les feuilles de l'électroscope s'écartent si on éloigne la baguette les feuilles retombent [13]

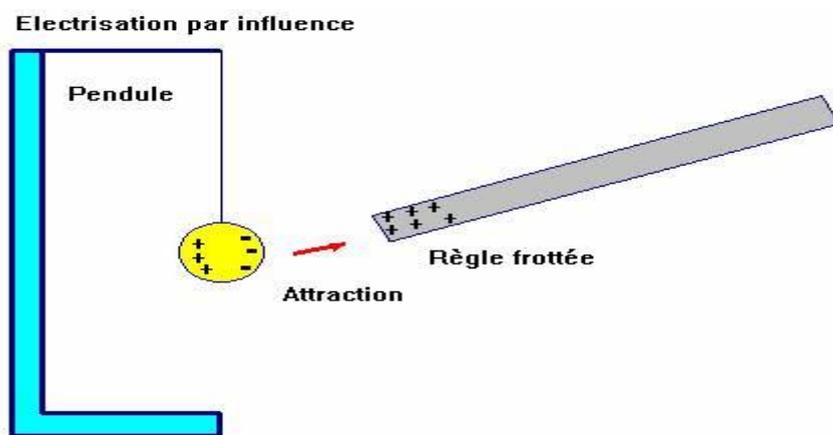


Figure I.8 : Electrification par influence

I.5 Séparation électrostatique :

La séparation électrostatique des métaux et des matériaux isolants contenus dans un mélange granulaire est une technique de plus en plus utilisée dans l'industrie du recyclage des déchets. Une fois les particules introduites dans les séparateurs électrostatiques, elles acquièrent une charge électrique et selon leurs propriétés conductrices ou isolantes, ils se comportent différemment. Il y a également la séparation avec la technologie à ondes mobiles pour le tri

des particules micronisées en milieu liquide ou air. La méthode a fait ses preuves dans de multiples domaines d'application, qui est basé sur l'effet de la force diélectrique.



Figure I.9 : Séparateur électrostatique haute tension [20]

Historiquement, la firme américaine CARPCO Inc était la première compagnie qui pratiqua avec succès l'électro-séparation PVC-Cuivre à cylindre tournant en utilisant la décharge couronne. Les technologies de séparation électrostatiques ont été largement utilisées pour le recyclage des déchets industriels et la purification des produits minéraux. Les forces du champ électrique sont extrêmement efficaces pour le tri sélectif des mélanges granulaires de matériaux conducteurs et isolants à partir de déchets d'équipements électriques (DEEE). La variété des installations conçues pour la séparation de mélanges granulaires peut être perçue en examinant les nombreux travaux techniques et scientifiques publiés durant les deux dernières décennies [10].

I.6 Conclusion :

Le recyclage des déchets industriels devient une activité de plus en plus importante du fait de l'augmentation de quantité d'équipements électriques en fin de vie ,ces déchets contenant des matériaux conducteurs et isolants de différentes natures, il fallait trouver des moyens de les séparer. Parmi les solutions envisagées, la séparation électrostatique s'est avéré une solution

adéquate : propre et avec une faible consommation d'énergie, elle assure une bonne récupération des matériaux avec une pureté élevée ; aussi à la demande, l'élévation de la pureté au détriment de la récupération est possible. Les dispositifs actuels sont efficaces et perfectibles. C'est pour cela que la recherche continue et des nouveaux brevets d'invention sont déposés à l'échelle mondiale, en s'appuyant toujours sur les forces qui s'exercent en champ électrique intense et les principes de base de l'électrostatique.

L'objectif de ce chapitre, est de donner une idée générale sur le champ électrostatique et la séparation des matériaux métaux et isolants, en utilisant les convoyeurs à ondes mobiles.

Chapitre II :
Généralités
sur les
convoyeurs à
ondes mobiles

II.1 Introduction :

L'évolution de l'industrie pousse les fabricants à s'engager dans la recherche technologique pour alléger et rentabiliser l'activité. Les convoyeurs à ondes mobiles (COM) sont souvent utilisés pour créer un mouvement de matériau isolant micronisé. Le COM intègre des électrodes parallèles avec 2 ou 3 ou 4 phases alternées déphasées entre elles.

II.2 Les ondes mobiles :

La technique des ondes mobiles est une technologie qui a été proposée par la première fois en 1967 pour le dépoussiérage électrique.

Une onde mobile est un phénomène électrique qui déplace les particules grâce à l'interaction entre les particules polarisées et un champ électrique multi-phase. Ceci est produit par un système d'électrodes parallèles, qui se trouve dans le même plan et produit des potentiels alternatifs en 2, 3 ou 4 phases [14].

Il y a plusieurs processus qui pourraient contribuer ou expliquer comment les ondes mobiles créées par le convoyeur affectent les particules. Tout le phénomène est question de chargement électrostatique des particules. Les explications données par des travaux de recherche antérieurs montrent qu'il y a deux façons d'interpréter le processus, dont les auteurs font référence dans leurs articles. Cependant au total il y a trois explications [15] :

Processus1 : chargement triboélectrique provoqué par la force de coulomb et force diélectrique, les particules mouvantes et roulantes sont responsables de leur propre chargement par frottement.

Processus2 : perte de charge surfacique nécessaire pour régénérer l'état neutre de la surface du film diélectrique aidée par l'injection de charge depuis la surface.

Processus3 : chargement par micro-décharges filamenteuses (décharge à barrière diélectrique) au sein du film électrique qui va charger les particules sur la surface du convoyeur avec une polarité positive.

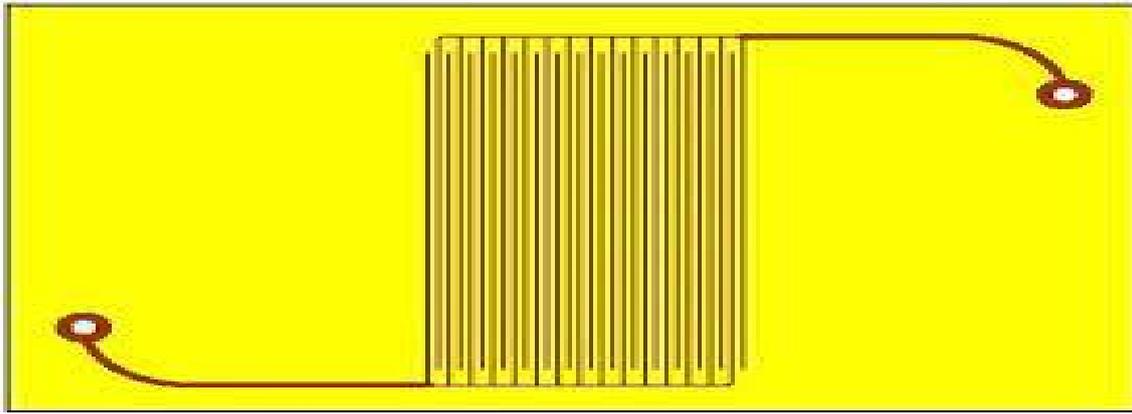


Figure II.1 : Exemple d'un convoyeur à ondes mobiles.

II.3 Les convoyeurs à ondes mobiles :

Il est possible de le définir comme un équipement mécanique permettant d'assurer l'acheminement de matières premières, de produits finis ou semi-finis à l'intérieur d'une carrière, d'une mine, d'une usine, d'un entrepôt, d'un complexe industriel ou d'une plateforme logistique. Le convoyage industriel permet d'assurer sans intervention des opérateurs la manutention en continu et le transfert sur des distances très réduites de produits seuls ou en lot.

Le convoyeur à ondes mobiles a eu plusieurs appellations différentes, appelé rideau électrique par Masuda ; lors de ses premières expériences, il a utilisé des électrodes spirales dans un tube pour créer une onde mobile qui a donné le nom de « effet des rideaux électriques » au phénomène des ondes mobiles.

Les rideaux électriques ou convoyeurs sont des réseaux d'électrodes rectilignes, parallèles généralement en cuivre prenant la forme d'un peigne, séparés par un intervalle, isolés entre eux par un diélectrique pour minimiser le risque de claquage entre électrodes.

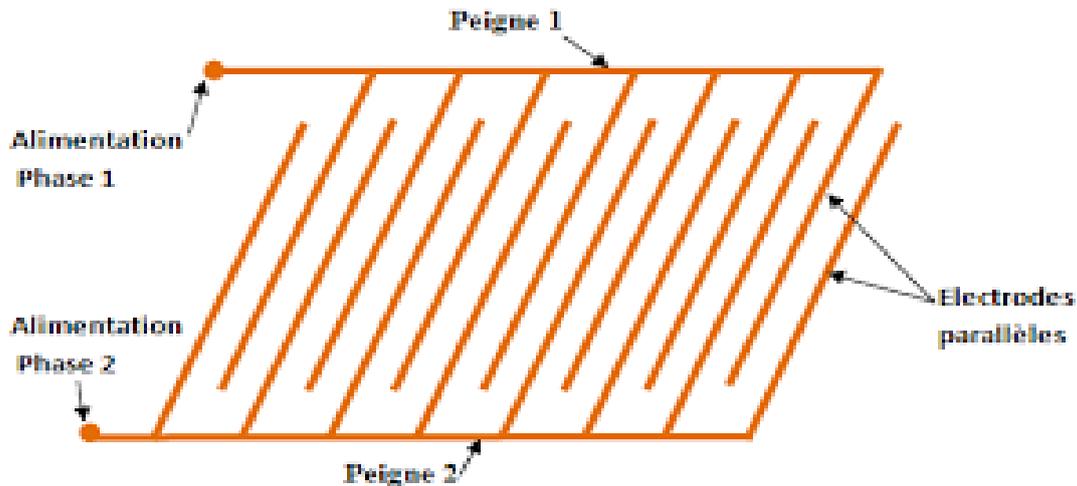


Figure II.2 : Représentation schématique d'un convoyeur biphasé sous forme de deux peignes

II.4 Types de convoyeurs à ondes mobiles :

II.4.1 Convoyeurs multi-phase :

Le rideau électrique multi-phases à un champ électrique tournant. On pourrait s'attendre à un mouvement cyclique des particules chargées. Mais le champ électrique diminue avec la distance au plan des électrodes de façon que le cycle n'est pas fermé; sur une période du champ alternatif, l'analyse du mouvement d'une particule chargée a établi que la force exercée sur la particule a une composante verticale qui peut compenser la force de gravitation et une composante horizontale dont la direction dépend du signe de la charge. La force résultante est proportionnelle à la charge de la particule et au champ électrique et dépend aussi du gradient de champ. Ceci explique le balayage horizontal des particules chargées qui sortent ainsi de la zone soumise au champ [16].

II.4.2 Convoyeurs à ondes stationnaires :

Masuda a également considéré le cas plus simple où deux "peignes" entrelacés sont Tension monophasée, une pour la tension alternative et une pour la tension alternative qualité. Dans ce cas, le champ électrique oscille et, à un certain point, le champ électrique a une direction et une amplitude définies qui oscillent pendant la période d'application. Par conséquent, une seule particule chargée a un mouvement oscillatoire. Pour les appareils horizontaux, une force verticale résultante se produit qui peut repousser les particules chargées ; cependant, pour des amplitudes de mouvement de particules suffisamment petites, la composante horizontale moyennée dans l'espace est nulle, et une seule particule doit être piégée dans la zone autour de

la position initiale entre les deux milieux des électrodes les plus proches. Si la magnitude du champ est plus élevée, le mouvement peut être plus complexe et on observe des déplacements plutôt aléatoires de particules qui finissent par quitter la zone affectée par le champ [18].

On peut classer les convoyeurs à ondes mobiles selon le nombre de phases :

Les convoyeurs biphasés ayant deux peignes intercalés, alimentés par des tensions périodiques à deux phases ayant un déphasage de π .

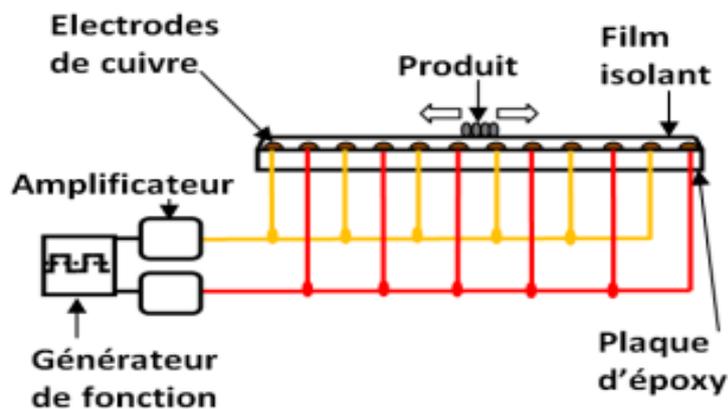


Figure II.3 : Schéma de convoyeur biphasé

Les convoyeurs triphasés ayant trois séries d'électrodes intercalés, chacune reliée à une source de tension périodique ayant un déphasage de $2\pi/3$ entre elles [17]

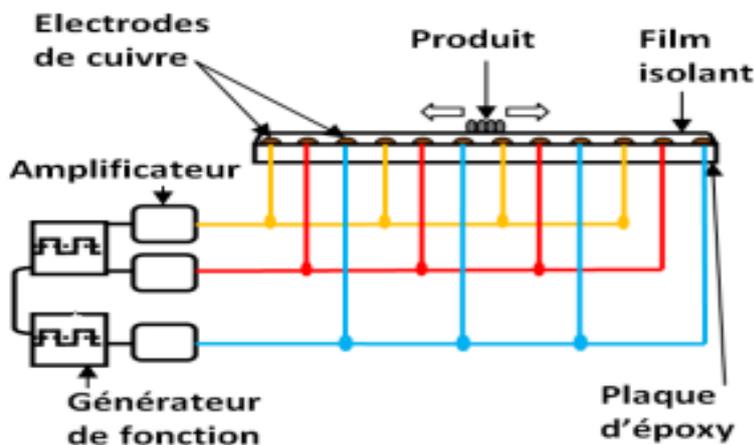


Figure II.4 : Schéma de convoyeur triphasé

Les convoyeurs à quatre phases constitués d'un réseau d'électrodes ayant quatre séries intercalés alimenté par des sources tension ayant un déphasage de $\pi/2$ [17].

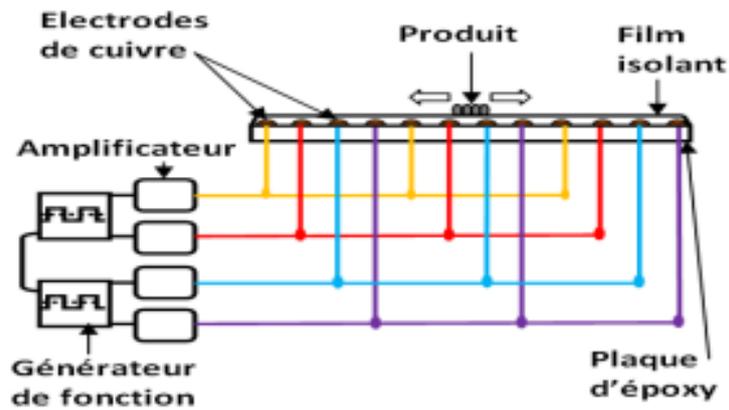


Figure II.5 : schéma de convoyeur à quatre phases

II.5 La géométrie des électrodes :

Les rideaux électriques peuvent avoir des configurations d'électrodes en 2D ou 3D comme illustré dans les figures suivantes.

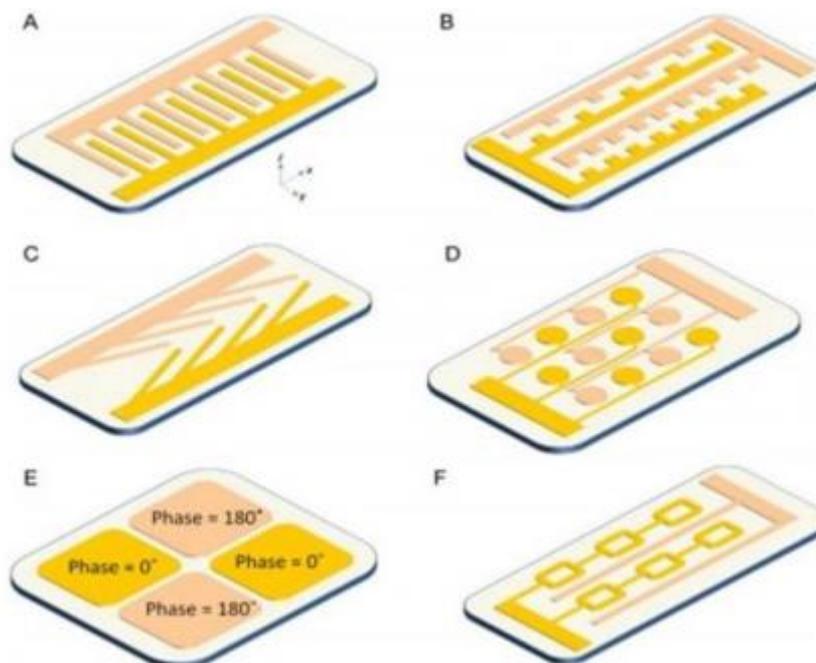


Figure II.6 : Exemples des convoyeurs à configuration 2D d'électrodes

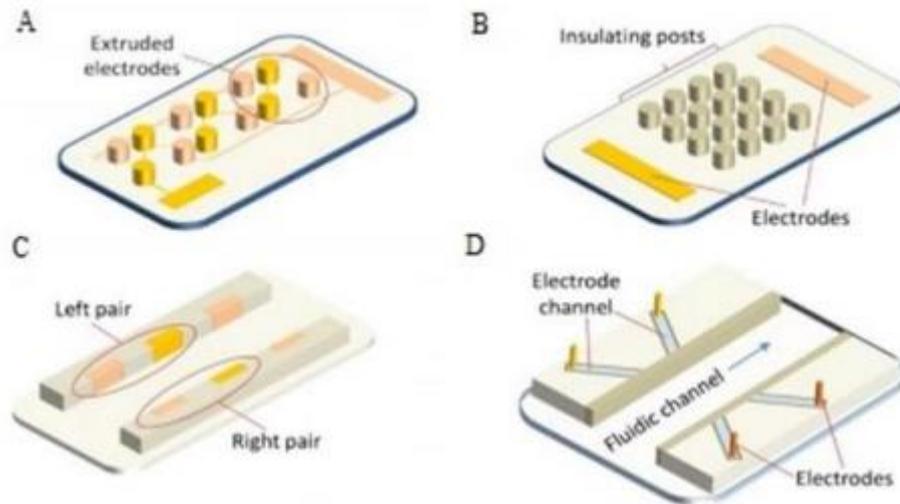


Figure II.7 : Exemples des convoyeurs à configuration 3D d'électrodes [14]

II.6 Les modes de transport :

Plusieurs modes de transport ont été décrits ; mais en général il y a trois modes distincts. Plusieurs facteurs influencent cela comme la fréquence, la forme d'onde, la tension, la forme et la configuration des électrodes, ainsi que les propriétés physiques des particules et leurs positions initiales [14].

II.6.1 Mode de glissement :

Les particules roulent ou glissent sur le convoyeur en un mouvement synchrone (vitesse particule = vitesse onde) [14].

II.6.2 Mode sauts:

Les particules sont transportées à travers des sauts successifs, entre lesquels elles restent fixées à la surface. La distance de transport de chaque saut peut varier en fonction de conditions particulières ainsi qu'entre les différents sauts de la particule. Dans certains cas, une particule peut effectuer plusieurs petits sauts, ou même un saut en arrière, avant de reprendre un grand saut en avant [14].

II.6.3 Mode cycloïdal:

Les particules sont en permanence suspendues au-dessus de la plaque (restent en lévitation). Leur mouvement est cycloïdal périodique avec une vitesse beaucoup plus faible que la vitesse de l'onde [14].

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté la définition des ondes mobiles et les convoyeurs à ondes mobiles, et leurs différents types (biphasé, triphasé, à quatre phases).

Chapitre III :
Présentation
du modèle
étudié

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va présenter la simulation considérée dans notre étude en utilisant FLUX 2D, un logiciel de simulation d'éléments finis. Le convoyeur à ondes mobiles étudié sert à la séparation électrostatique des mélanges de particules de cuivre/plastique. Le but de notre travail est de voir l'influence de la nature de la particule sur la répartition du champ électrique à la surface du convoyeur. Ainsi, on va étudier trois cas principalement :

- Cas 1 : Convoyeur à vide ; sans aucune particule déposée dessus.
- Cas 2 : Particule de cuivre déposée à la surface du convoyeur.
- Cas 3 : Particule en plastique (PVC) déposée à la surface du convoyeur.

Le convoyeur étudié dans notre travail est présenté dans la figure III.1 qui montre également la zone qui sera particulièrement considérée dans la simulation.

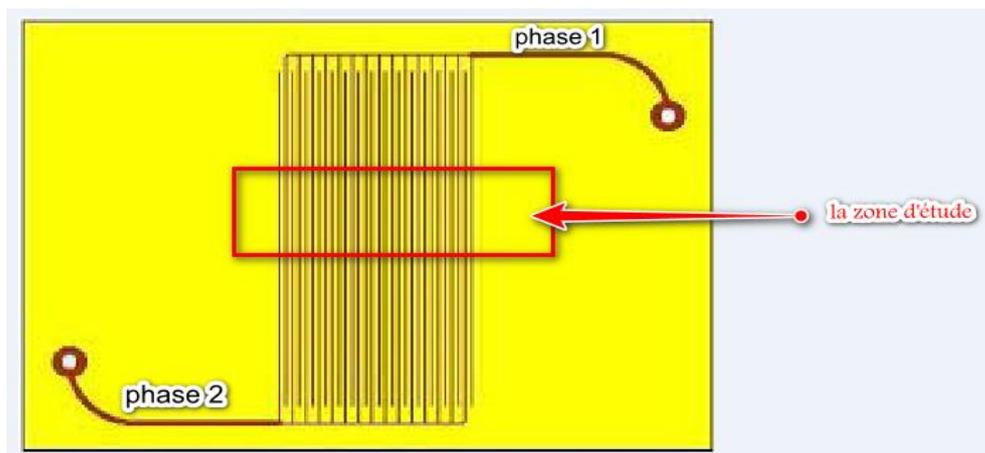


Figure III.1 : Présentation du convoyeur étudié.

Ainsi, on va étudier le champ électrique dans un convoyeur à ondes mobiles biphasé. Les électrodes se présentent sous forme de deux peignes inter-digités et reliés à deux sources de tension déphasées de 180 degré. Ces tensions sont alternatives de forme rectangulaire avec des amplitudes de +2kV (Phase 1) et -2kV (Phase 2).

Donc, on a réalisé une coupe 2D d'un convoyeur constitué de 18 électrodes en cuivre déposées sur un support en FR4 d'une épaisseur de 2mm. La Figure III.2 présente cette vue de coupe qui sera utilisée comme modèle géométrique pour notre travail de simulation avec le logiciel Flux 2D. Les électrodes du convoyeur ont une longueur de 1mm et une hauteur de 35 μ m. Entre deux électrodes successives on a une distance de 2mm. L'ensemble de ces électrodes est protégé par un film isolant (KAPTON) d'une épaisseur de 100 μ m. Le rôle de

cet isolant est d'éviter le claquage entre électrodes successives souvent portées à des potentiels différents.

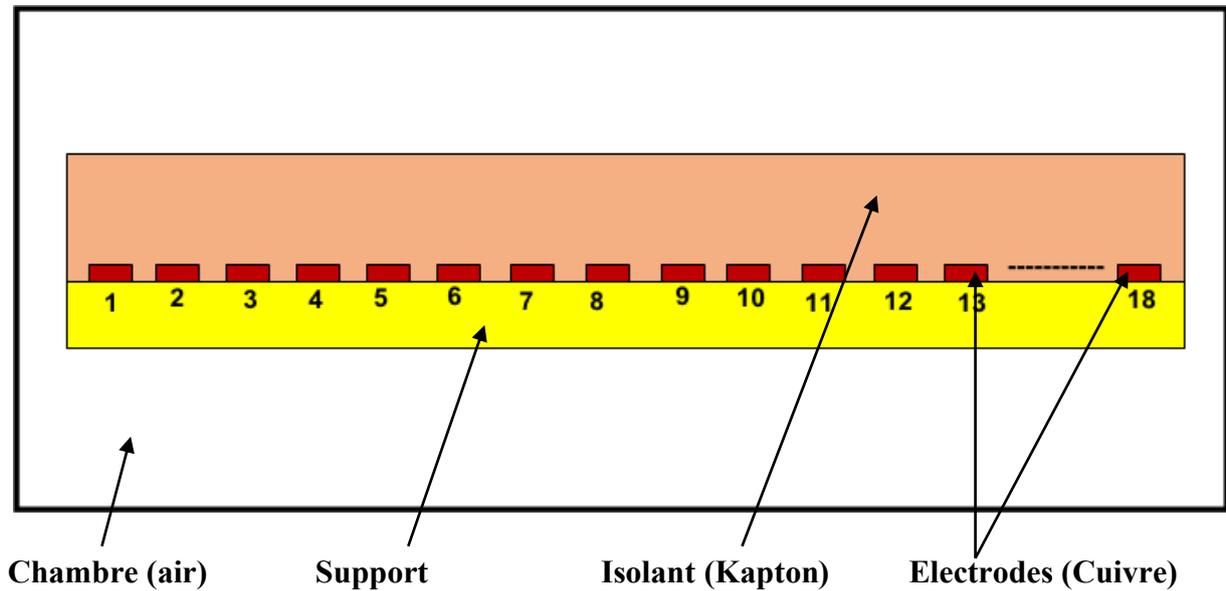


Figure III.2 : Vue de coupe en 2D du convoyeur

Les paramètres géométriques utilisés dans le modèle sont présentés dans la Figure III.3 et sont définis comme suit :

- Ch : chambre isolante (l'air qui entoure le convoyeur)
- E : distance entre deux électrodes successives (2 mm)
- I : épaisseur d'isolant (100 μm)
- S : épaisseur du support FR4 (2 mm)
- X : longueur d'électrode (1 mm)
- Y : hauteur d'électrode (35 μm)

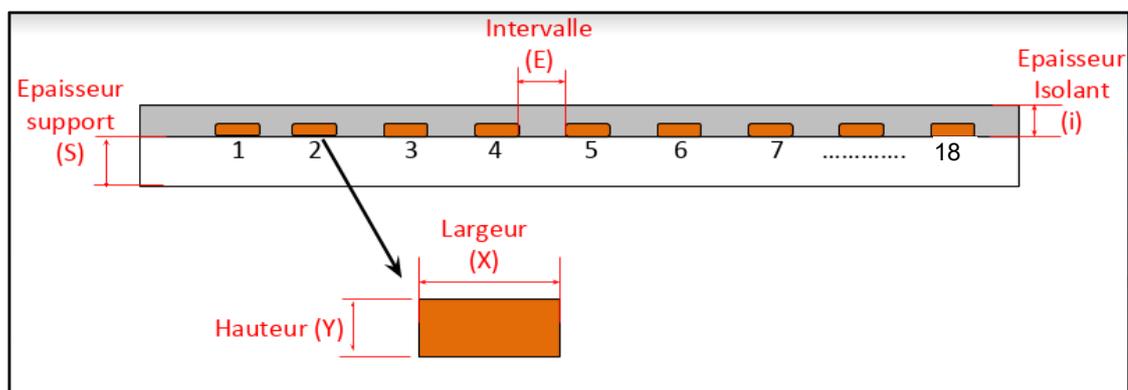


Figure III.3 : Paramètres géométriques du modèle étudié [20].

III.2 Présentation du logiciel FLUX 2D :

Flux est un logiciel basé sur la méthode des éléments finis, spécialisé dans la simulation des dispositifs électromagnétiques. Il est le fruit de 35 années de collaboration entre l'équipe MAGE du G2ELab et la PME Grenobloise CEDRAT et est une référence mondiale dans son domaine.



Figure III.4 : Logo du logiciel Flux

En 2016, la société ALTAIR Engineering, un des leaders mondiaux des outils de simulation pour l'ingénierie, a fait l'acquisition de la société CEDRAT et de la suite logiciel Flux. Aujourd'hui, l'équipe MAGE continue à travailler activement au développement de nouvelles méthodes de modélisation électromagnétique avec ALTAIR. L'équipe bénéficie d'un rayonnement accru par la diffusion de ses recherches vers un nombre d'utilisateurs potentiels encore plus important. [19]

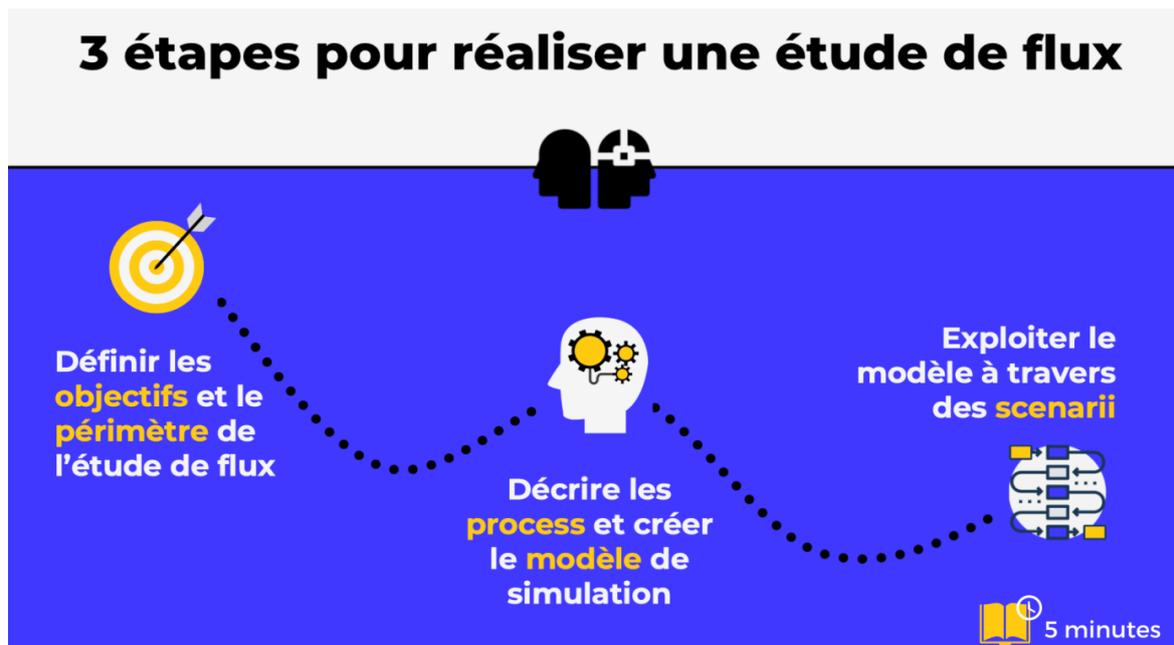


Figure III.5: Les étapes d'une étude dans le FLUX

III.3 Présentation des modèles de simulation

Comme expliqué précédemment, on va traiter dans notre étude trois situations qu'on peut rencontrer dans le processus de séparation électrostatique des mélanges de particules de cuivre et particules plastiques. Ces trois situations vont être représentées dans le logiciel Flux2D en utilisant des géométries en 2D dessinées à l'aide des outils de dessins propres au logiciel. Pour dessiner ces géométries selon la coupe 2D du convoyeur présentée précédemment dans la Figure III.2, nous avons d'abord créé des points identifiés par leur coordonnées cartésiennes (x, y). En reliant ces points, on crée ainsi des lignes qui représentent les contours de la géométrie. Ensuite, chaque contour fermé va donner lieu à ce qu'on appelle des « faces ». Ces faces vont représenter par exemple les différentes vues de coupe ; du support du convoyeur, des électrodes supérieures ainsi que la couche de l'isolant qui les recouvre. La Figure III-6 montre un exemple avec le menu géométrie du logiciel Flux2D.

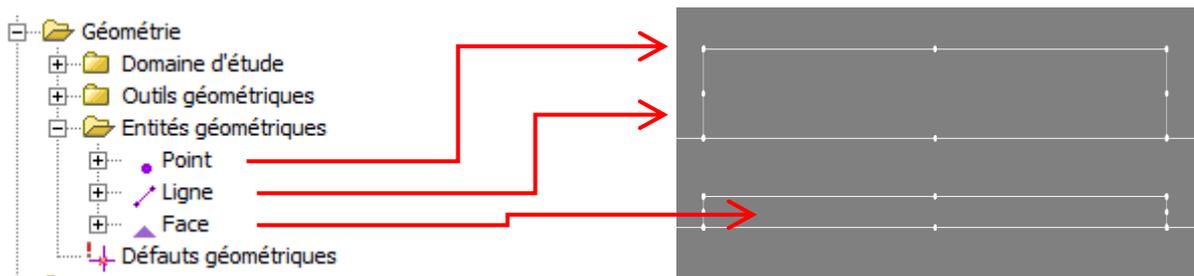


Figure III.6 : Menu « Géométrie » du logiciel Flux 2D.

III.3.1. Cas 1 : Modèle sans particule:

Dans cette partie, on considère le cas dans lequel le convoyeur est vide avec aucune particule à sa surface. La géométrie utilisée dans ce cas est illustrée dans la figure suivante.

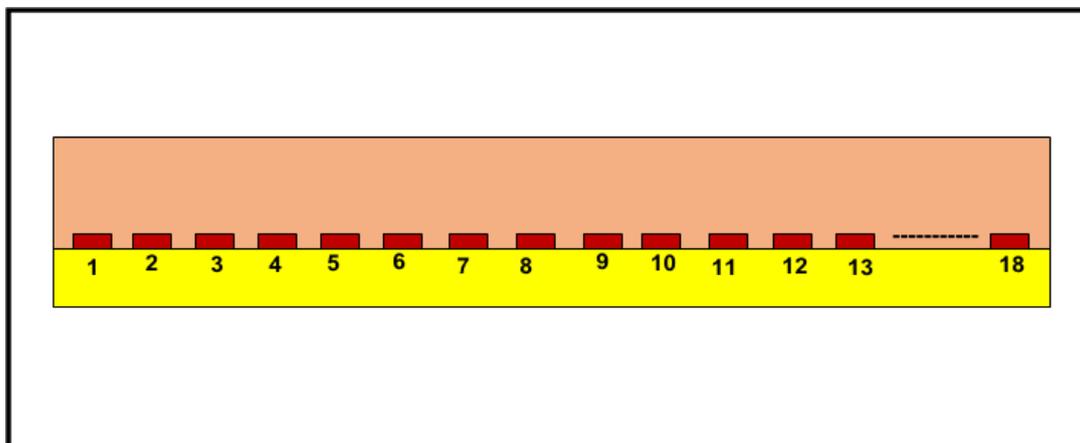


Figure III.7 : Géométrie 2D du modèle sans particule.

La Figure III.8 présente le maillage de la géométrie dans sa globalité. On a donné une attention particulière aux zones les plus intéressantes en leur affectant un maillage plus dense et plus serré afin que les calculs du champ électrique dans ces zones soient les plus précis possible. Ces zones sont les coins des électrodes supérieures autour desquels le champ électrique est théoriquement le plus élevé à cause de l'effet de pointe engendré par leur forme géométrique (angles de 90° aux niveaux des 4 coins de l'électrode de forme rectangulaire).

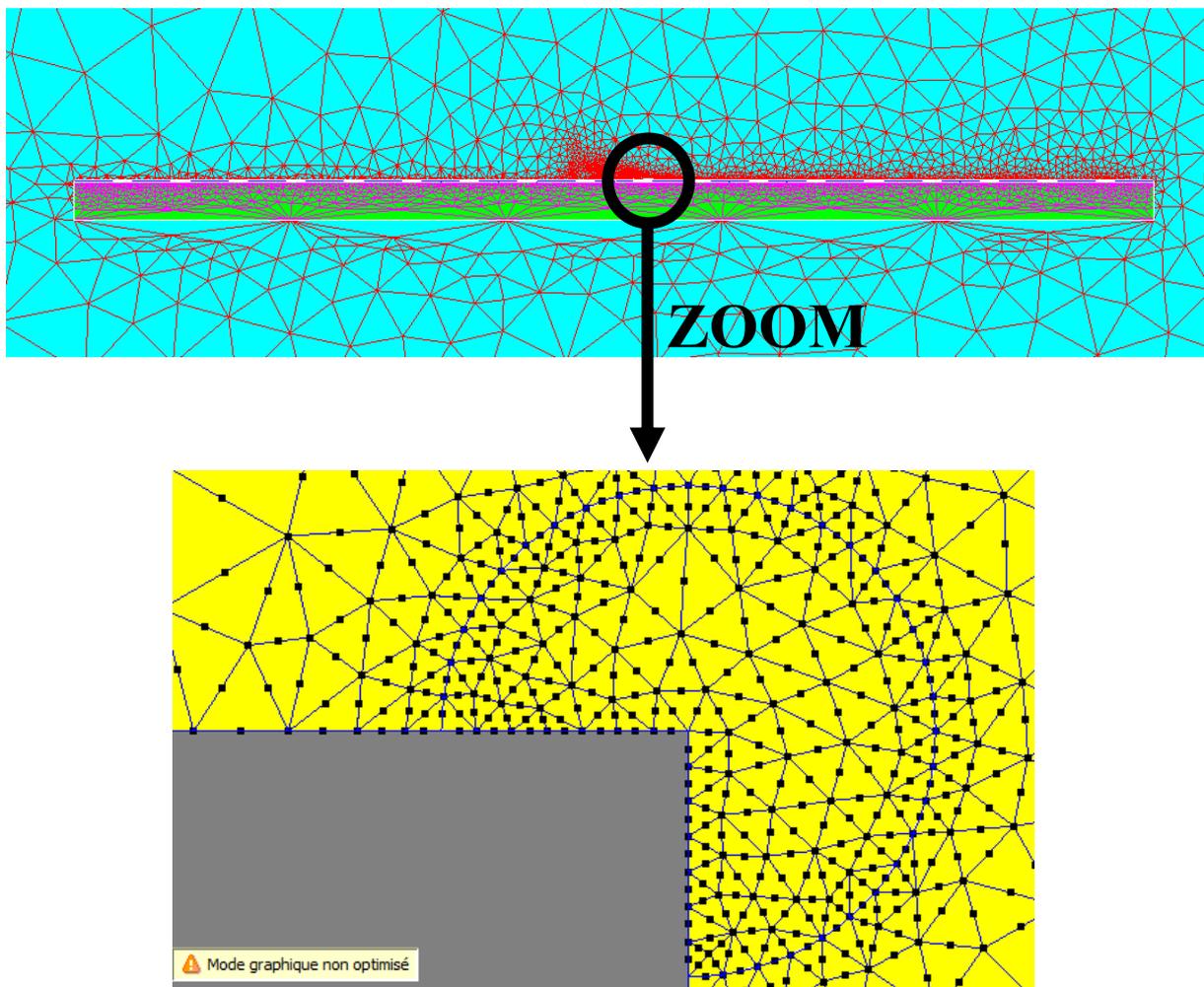


Figure III.8 : Vue globale sur le maillage du modèle sans particule avec un vue agrandie sur le maillage du coin d'une électrode

III.3.2. Cas 2 : Modèle avec particule en cuivre:

On considère ici le cas dans lequel une particule en cuivre se trouve en surface du convoyeur. On a fait l’hypothèse que la particule possède une forme rectangulaire avec une hauteur de 100µm et une largeur de 1mm. On a également supposé que sa position est approximativement au milieu de la surface du convoyeur, juste au-dessus de l’électrode N°9 comme indiqué dans la Figure III. 9.

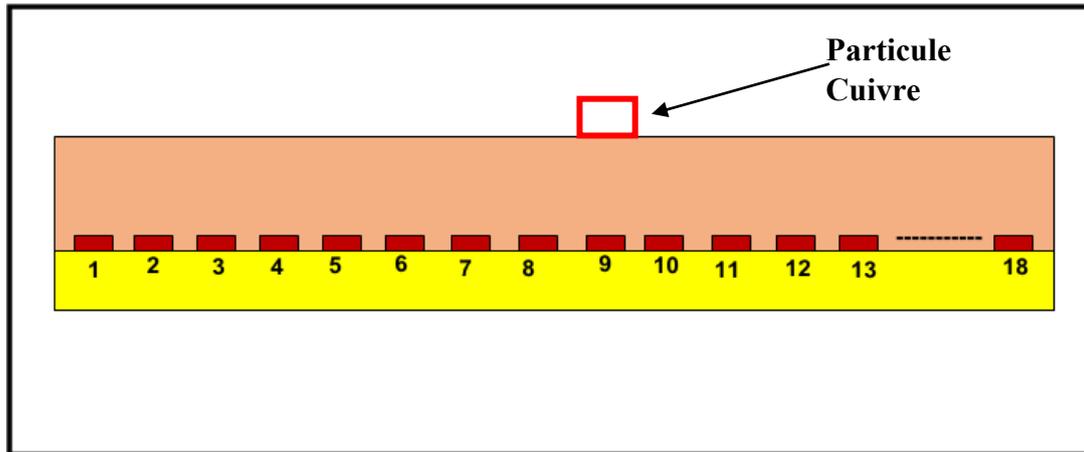


Figure III.9: Géométrie 2D du modèle avec particule cuivre

La Figure III.10 présente une vue rapprochée du maillage de la particule cuivre placée sur l’isolant juste au-dessus de l’électrode N°9. Comme le champ électrique est nul à l’intérieur d’un matériau conducteur, la surface intérieure de la particule n’a pas été maillée comme d’ailleurs pour les 18 électrodes du convoyeur. Les coins des électrodes ainsi que les quatre coins de la particule représentent les zones où le champ électrique est théoriquement le plus élevé et ont été donc maillés encore finement comme illustré sur la Figure III.11 qui montre le maillage au niveau du coin supérieur de la particule.

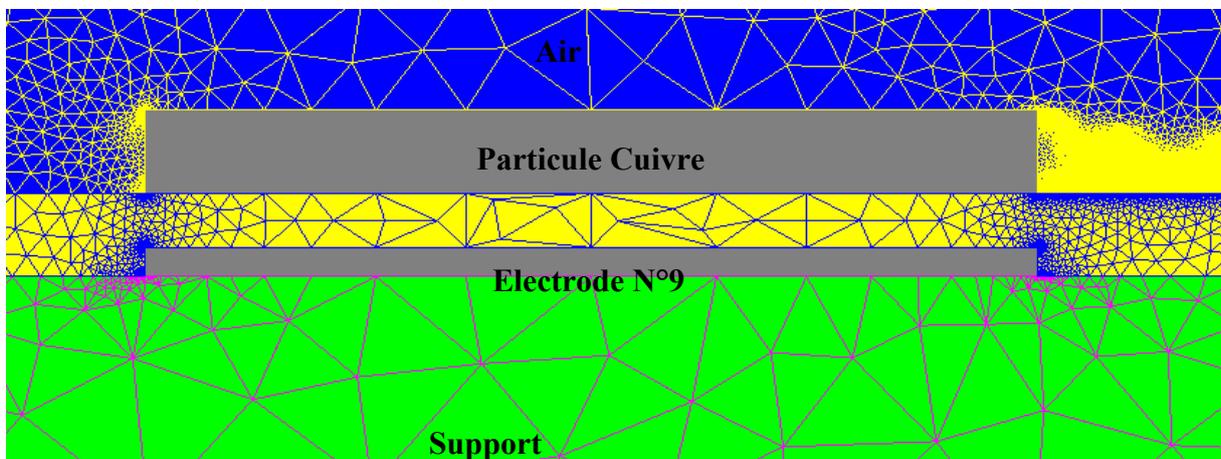


Figure III.10 : Vue agrandie sur le maillage de la particule cuivre.

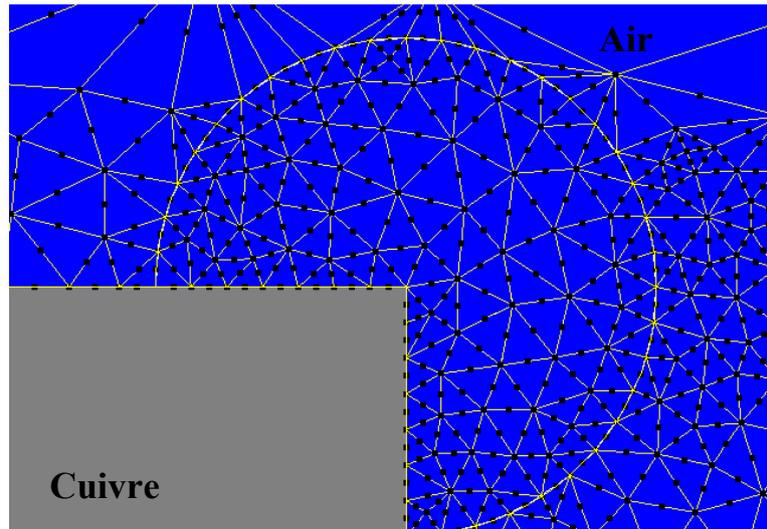


Figure III.11 : Maillage fin sur le coin supérieur droit de la particule cuivre

III.3.3. Cas 3 : Modèle avec particule en plastique :

Dans cette partie, on considère qu'une particule en plastique (en matériau PVC) se trouve en surface du convoyeur. On suppose que la forme, les dimensions ainsi que la position de la particule sur le convoyeur sont les mêmes que ceux utilisés précédemment pour la particule cuivre. La Figure III. 12. montre la géométrie utilisée pour ce modèle avec particule PVC.

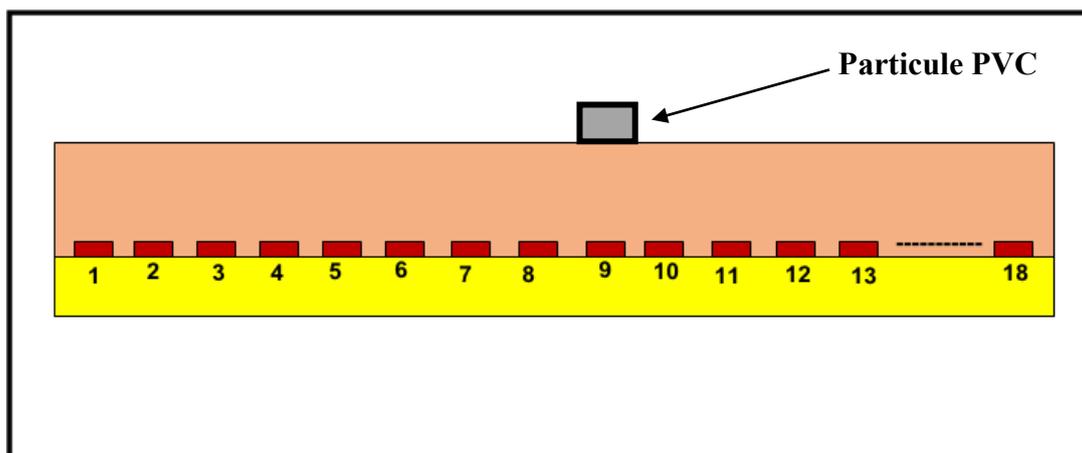


Figure III.12 : Géométrie 2D du modèle avec particule plastique (PVC).

Comme pour le cas de la particule cuivre, on fait le maillage de la particule plastique mais cette fois-ci en maillant également l'intérieur de sa surface. La Figure III.13 présente une vue

rapprochée du maillage de la particule plastique placée sur l'isolant juste au-dessus de l'électrode N°9. Les coins des électrodes ainsi que les quatre coins de la particule PVC maillés encore finement comme illustré sur la Figure III.14 qui montre le maillage au niveau du coin supérieur de la particule.

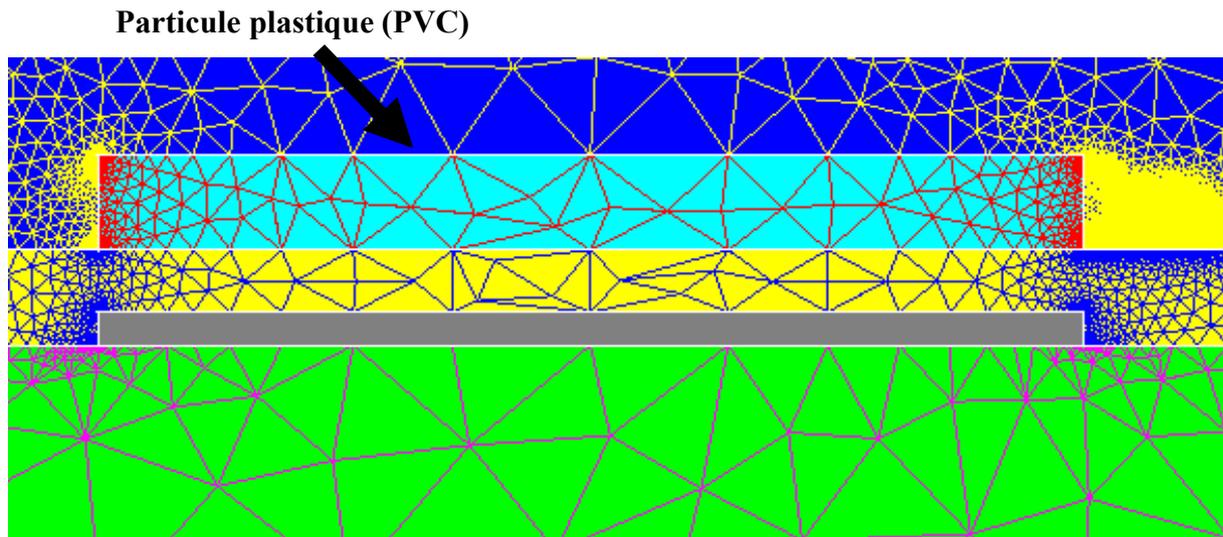


Figure III.13 : Vue agrandie sur le maillage de la particule plastique (PVC).

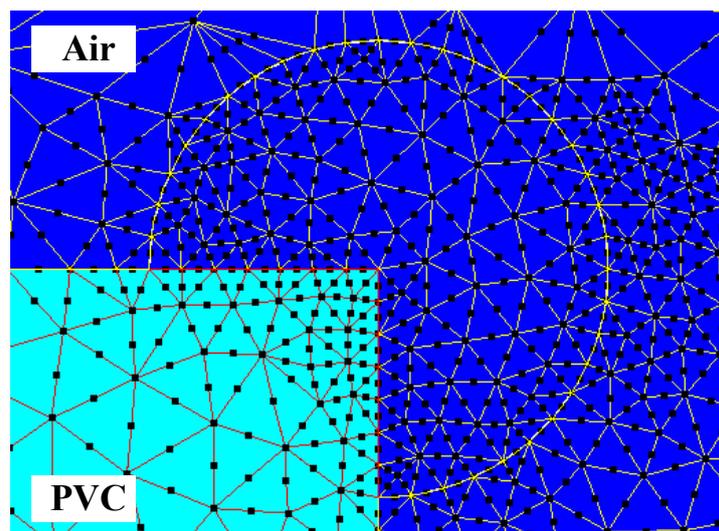


Figure III.14: Maillage fin sur le coin supérieur droit de la particule plastique

III.4 Paramètres physiques :

Cette partie est la dernière étape avant la résolution du modèle. Elle consiste à affecter des propriétés physiques aux éléments de la géométrie de notre simulation. Nous avons donc créé différents paramètres physiques nécessaires pour résoudre nos modèles de simulations comme illustré dans la Figure III.15

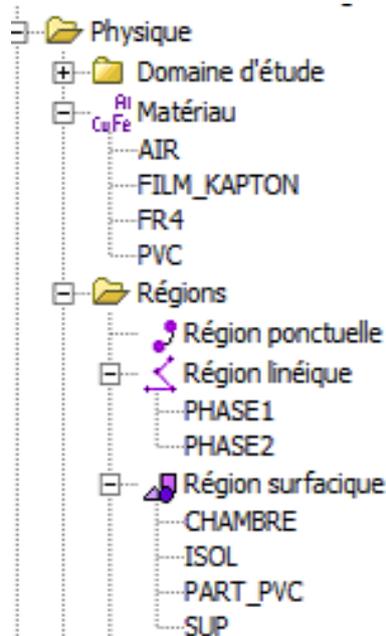


Figure III.15: Paramètres créés dans le menu « Physique » du logiciel Flux 2D

III.4.1 Matériaux et régions surfaciques :

Dans notre étude on va utiliser quatre matériaux isolants. Une plaque de FR4 utilisée comme support du convoyeur, un film de Kapton® pour la couche isolante qui recouvre les électrodes, du PVC pour la particule plastique et enfin de l’air qui entoure le convoyeur. Chacun de ces matériaux sera affecté aux différentes faces de la géométrie appelées « régions surfaciques » dans nos modèles Flux 2D. Le tableau III.1 montre les permittivités relatives de ces matériaux qui ont été introduites dans le logiciel pour la résolution des modèles de simulation.

Matériau	Permittivité relative	Région surfacique
Air	1	Chambre (espace autour du convoyeur)
FR4	4,70	Support du convoyeur
Kapton	3,35	Isolant qui recouvre les électrodes
PVC	3,39	Matière de la particule plastique

Tableau III.1 Matériaux affectés aux faces du model (régions surfaciques)

III.4.2 Régions linéiques :

Cette partie consiste à affecter des potentiels électriques aux lignes des éléments conducteurs de la géométrie et qui sont les électrodes de cuivre et la particule cuivre du cas N°2. Ces lignes qui constituent le contour des électrodes ainsi que celles qui constituent le contour de la particule cuivre sont appelées « régions linéiques ».

Comme expliqué précédemment, le convoyeur considéré dans notre étude est un convoyeur biphasé. On a créé donc deux régions linéiques qui représentent les deux groupes d'électrodes qui sont portées à une tension de +2kV et de -2kV respectivement pour la phase 1 et la phase 2 du convoyeur. Concernant le cas N°2 en particulier, on a rajouté une troisième région linéique afin d'affecter un potentiel flottant aux lignes qui constituent le contour de la particule cuivre déposée à la surface du convoyeur. La Figure III.16 donne l'exemple du cas N°2 et illustre les potentiels électriques attribués aux 18 électrodes du convoyeur ainsi qu'à la particule de cuivre.

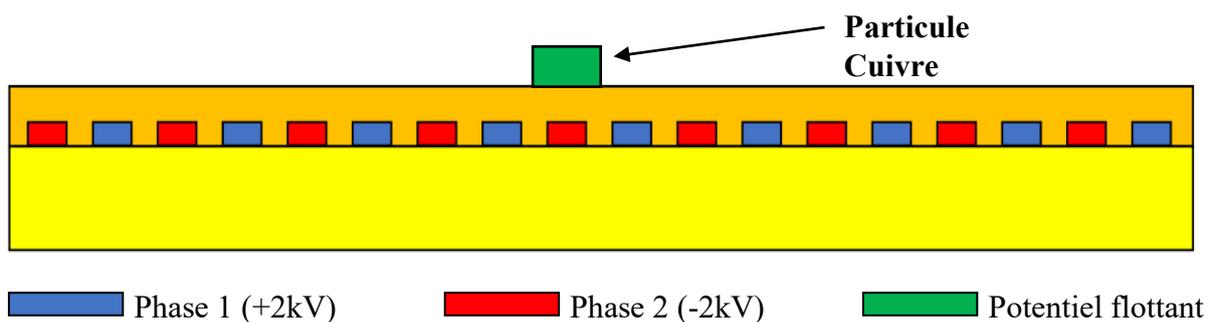


Figure III.16: Potentiel électrique affecté aux électrodes et à la particule de cuivre (cas N°2).

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté notre modèle de simulation d'un convoyeur à ondes mobiles biphasé dans le logiciel Flux 2D, et on a montré les étapes de configuration des trois cas étudiés. Les résultats et les calculs de ces cas sont présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV :
Analyse de
l'étude de
simulation

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va analyser et comparer les résultats de simulation qu'on a présenté dans le chapitre précédent. On a un convoyeur à ondes mobiles biphasé qui a été étudié dans notre travail, on a fait la simulation de trois cas différents afin de calculer le champ électrique et déterminer sa valeur maximale dans l'isolant qui recouvre les électrodes du convoyeur.

Le but final étant d'identifier la configuration qui donne des valeurs faibles de champ électrique afin de minimiser le risque de claquage électrique entre électrodes.

IV.2 Zone analysée du convoyeur

Le convoyeur considéré dans notre étude est constitué de 18 électrodes au total mais dans la suite de ce travail, on ne présentera que les résultats de simulation des sept électrodes centrales qui se trouvent au milieu du convoyeur. En effet, les électrodes aux deux extrémités du convoyeur sont sujet à l'effet de bord qui peut perturber les calculs dans ces deux zones et donner des résultats non représentatifs ou erronés. Ainsi, en choisissant la partie centrale du convoyeur, on se met suffisamment loin de cet effet de bord et on obtient une fiabilité suffisante dans les résultats de calcul. La Figure IV.1 montre la zone centrale qui sera analysée dans la suite de notre étude.

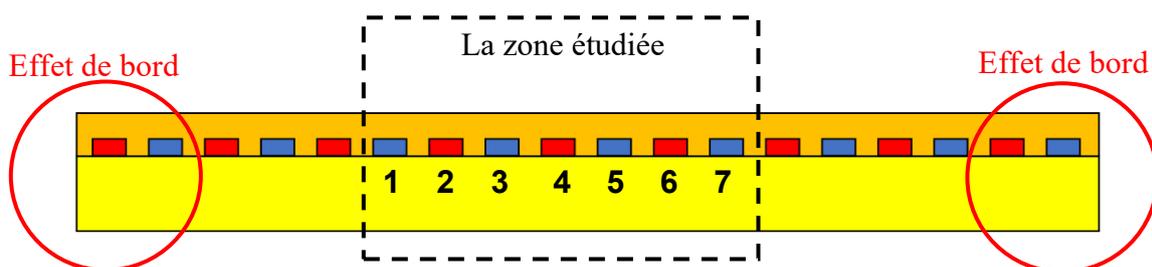


Figure IV.1: Partie centrale du convoyeur considérée dans l'étude.

L'effet de bord sur la répartition des lignes équipotentielles est montré dans la figure IV.2. On voit clairement la distorsion des lignes équipotentielles aux extrémités du convoyeur et on voit aussi que la partie centrale est suffisamment loin de cet effet.

La Figure IV.3 montre une vue agrandie de l'extrémité du convoyeur au niveau de laquelle l'effet de bord est clairement visible.

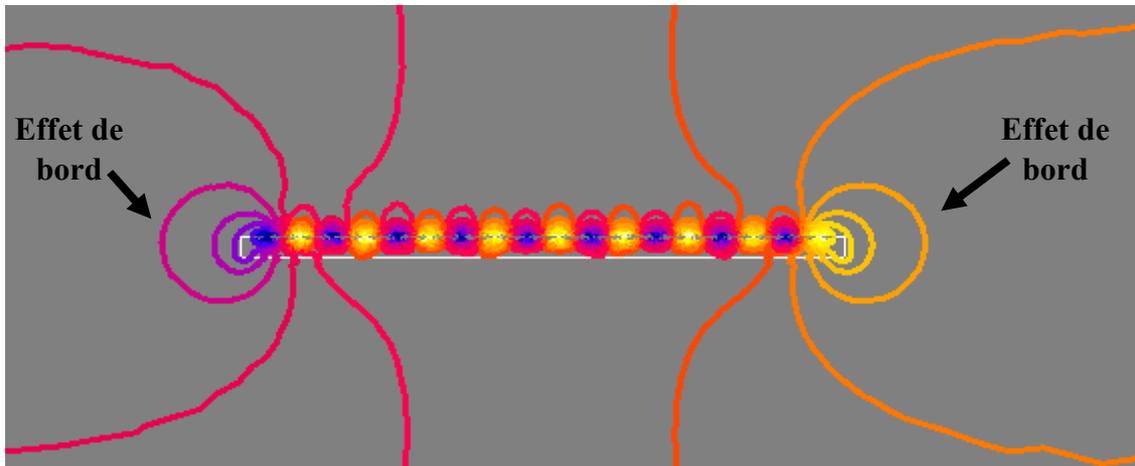


Figure IV.2 : Vue d'ensemble sur la répartition des lignes équipotentiels

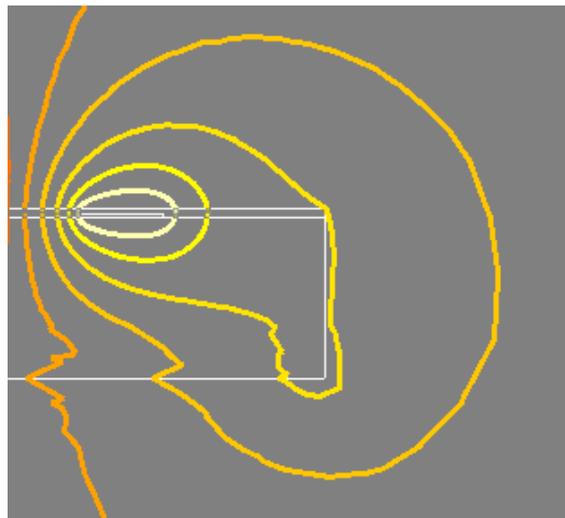


Figure IV.3 : Illustration de l'effet de bord au niveau de l'extrémité du convoyeur.

IV.3 Distribution des lignes équipotentiels :

Le convoyeur à ondes mobiles étudié dans notre travail est un convoyeur biphasé. Il comporte 18 électrodes regroupées sous forme de deux peignes inter-digités et reliés à deux sources de tension déphasées de 180 degré. Ces tensions sont alternatives de forme rectangulaire avec des amplitudes de +2kV (Phase 1) et -2kV (Phase 2). Donc à chaque instant « t », une moitié des électrodes aura un potentiel de +2kV et l'autre moitié aura -2kV, et inversement à chaque demi période. Ainsi, quand une électrode donnée aura un potentiel de +2kV, l'électrode

adjacente aura -2kV et ainsi de suite. La Figure IV.4 illustre bien cette alternance dans le potentiel des électrodes et montre sa variation le long des sept électrodes de la zone centrale considérée dans notre étude. On voit par exemple que la tension de l'électrode N°4 est de +2kV tandis que les deux électrodes adjacentes N°3 et N°5 ont un potentiel de -2kV.

Par ailleurs, la tension dans l'espace situé entre deux électrodes successives évolue progressivement entre les valeurs du potentiel de celles-ci.

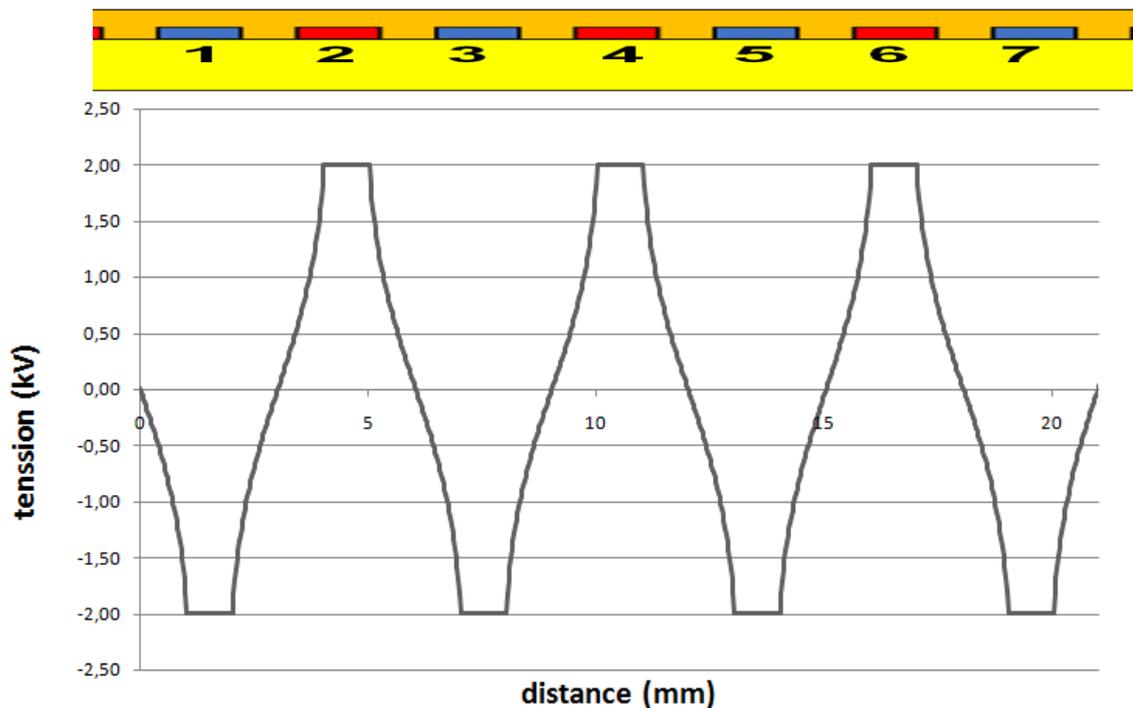
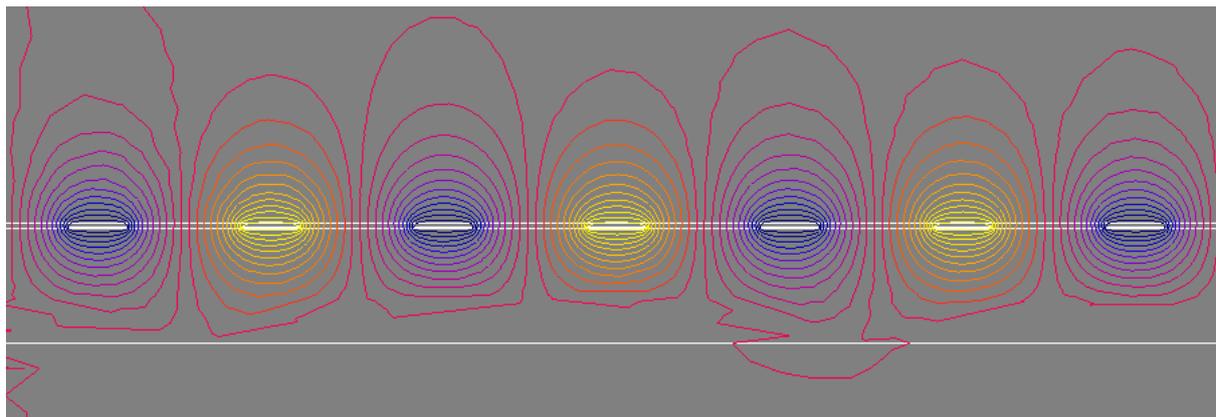
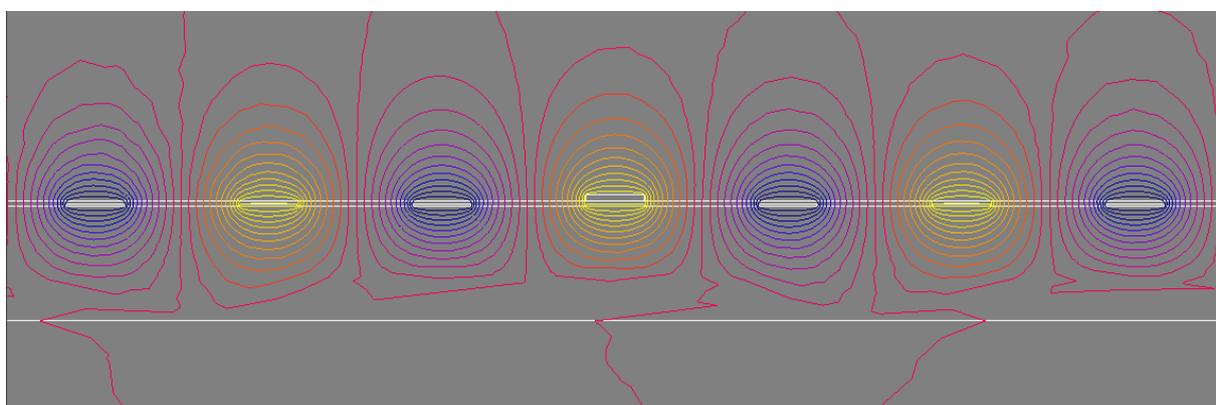


Figure IV.4 : Potentiel électrique des sept électrodes de la partie centrale du convoyeur.

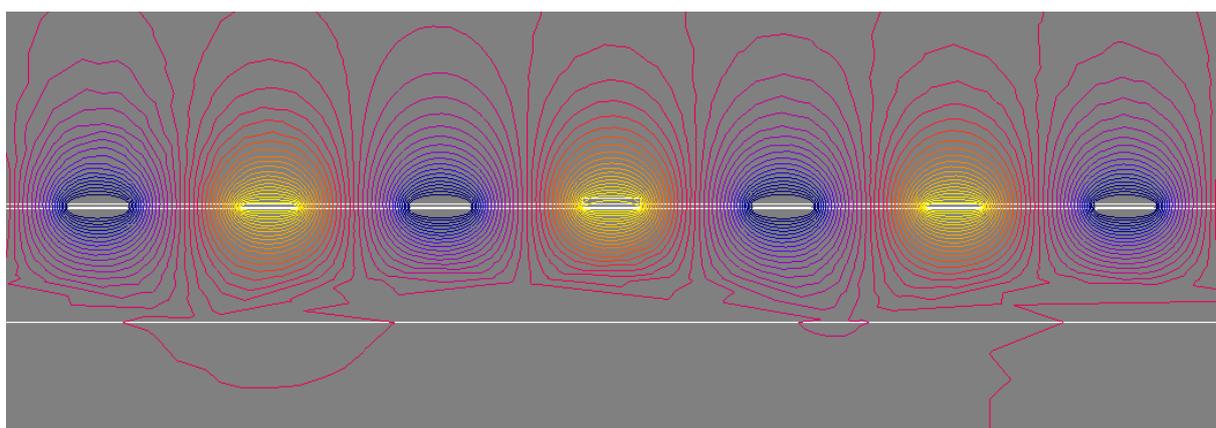
La Figure IV.5 présente la répartition des lignes équipotentielles dans la zone centrale du convoyeur pour les trois cas étudiés (sans particule, avec particule cuivre et avec particule PVC). On voit que la distribution du potentiel dans le convoyeur varie en fonction de la présence (ou non) de la particule ainsi que de sa nature (conductrice ou isolante). Cette différence entre les trois cas est illustrée dans la Figure IV.6 qui montre une vue agrandie de la distribution du potentiel autour de la position de la particule. Elle montre également que les lignes équipotentielles se resserrent autour des angles (coins) des électrodes ainsi que ceux de la particule, ce qui se traduit généralement par un champ électrique élevé dans ces coins à cause de l'effet de pointe. C'est donc dans ces zones qu'on va calculer les valeurs maximales du champ électrique afin de les comparer pour les trois cas.



a)



b)



c)

Figure IV.5 : Distribution des lignes équipotentielles dans la zone centrale du convoyeur pour les trois cas étudiés : a) Sans particule b) Particule cuivre c) Particule PVC.

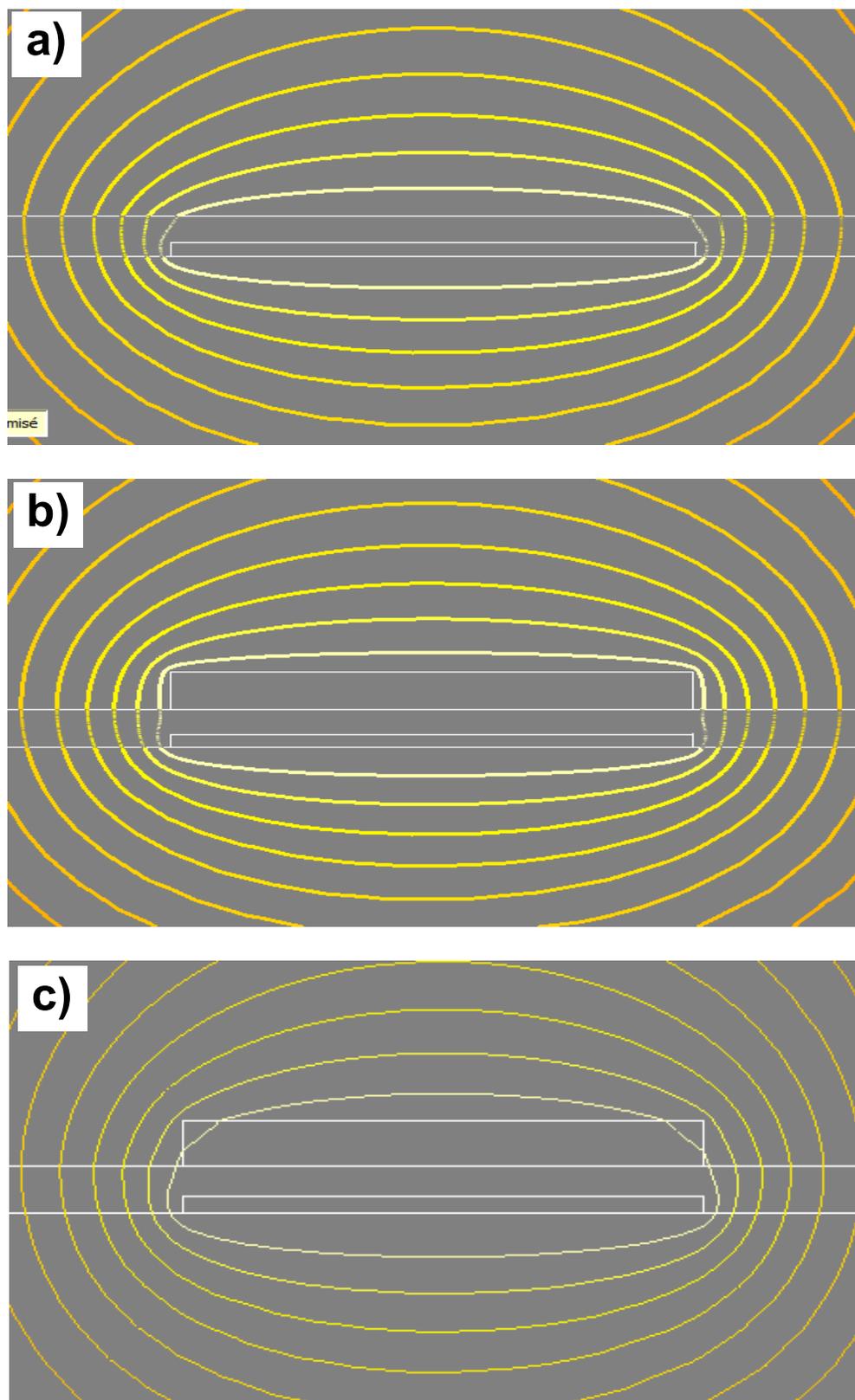


Figure IV.6 : Vue agrandie de la distribution des lignes équipotentiels autour de l'électrode N°4 pour les trois cas étudiés : a) Sans particule b) Particule cuivre c) Particule PVC.

IV.4 Calcul du champ électrique:

Afin de calculer le champ électrique dans Flux 2D, on trace un chemin (une ligne) dans la zone qui nous intéresse et on mesure le champ électrique en tout point de cette ligne de chemin. La Figure IV.7 montre l'exemple d'un chemin qu'on a tracé sur Flux 2D qui passe par le haut des électrodes afin de tracer la variation du champ électrique dans l'isolant Kapton le long de ce chemin. Ainsi, parmi les valeurs obtenues on obtient aussi les valeurs maximales du champ électriques exactement au niveau des coins supérieurs des électrodes.

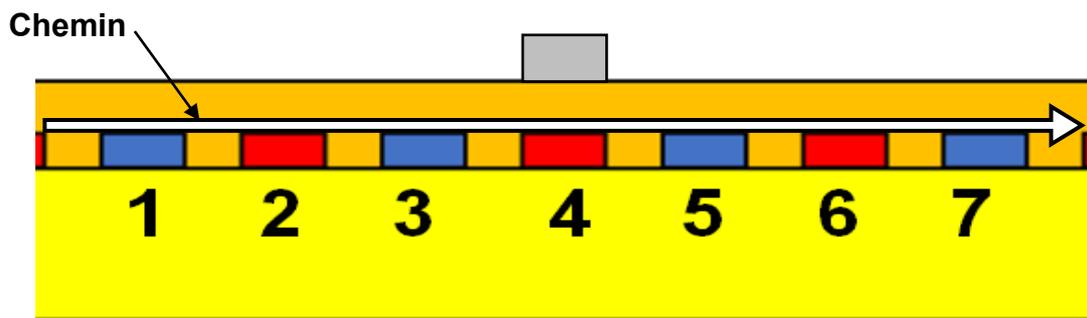


Figure IV.7 : Exemple d'un chemin tracé dans l'isolant passant par le haut des électrodes

Concernant les valeurs maximales du champ électrique au niveau des quatre coins de la particule, nous avons placé des points repères sur chacun de ses coins. Le champ électrique est ensuite mesuré sur ces repères afin d'évaluer l'accroissement du champ électrique du à l'effet de pointe au niveau de ces coins. A noter que les points A et B donnent des valeurs du champ électrique uniquement dans l'air, alors que les points C et D permettent de donner des valeurs dans l'air et dans l'isolant car ces deux points se trouvent à l'interface de ces deux matériaux.

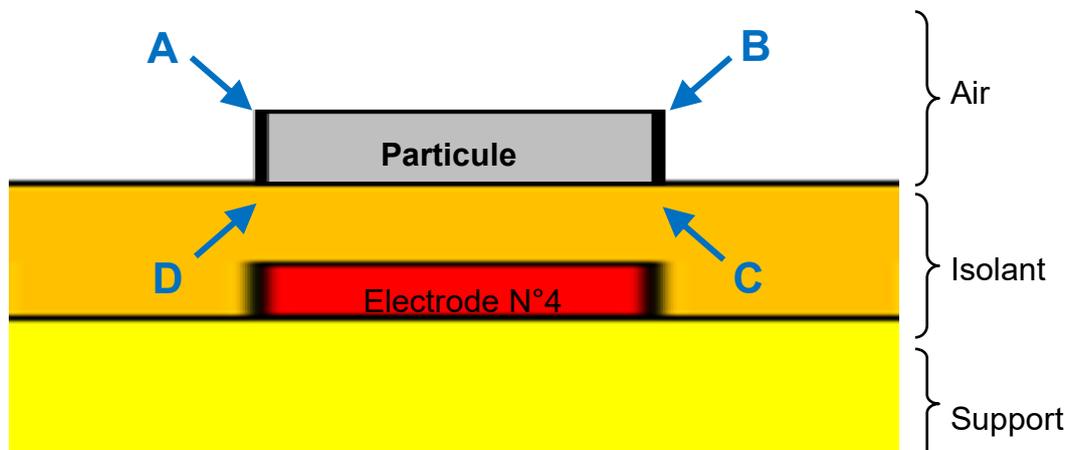


Figure IV.8 : Position des points repère pour le calcul du champ électrique au niveau des pointes de la particule

IV.4.1 Convoyeur sans particule (cas N°1)

Le champ électrique dans l'isolant en haut des électrodes est calculé selon le chemin décrit précédemment dans la Figure IV.7. La variation du champ électrique dans l'isolant le long des sept électrodes centrales montre qu'il atteint une valeur maximale de 72,9 kV/mm au niveau de la pointe supérieure gauche de l'électrode numéro 2 comme indiqué sur la Figure IV.9.

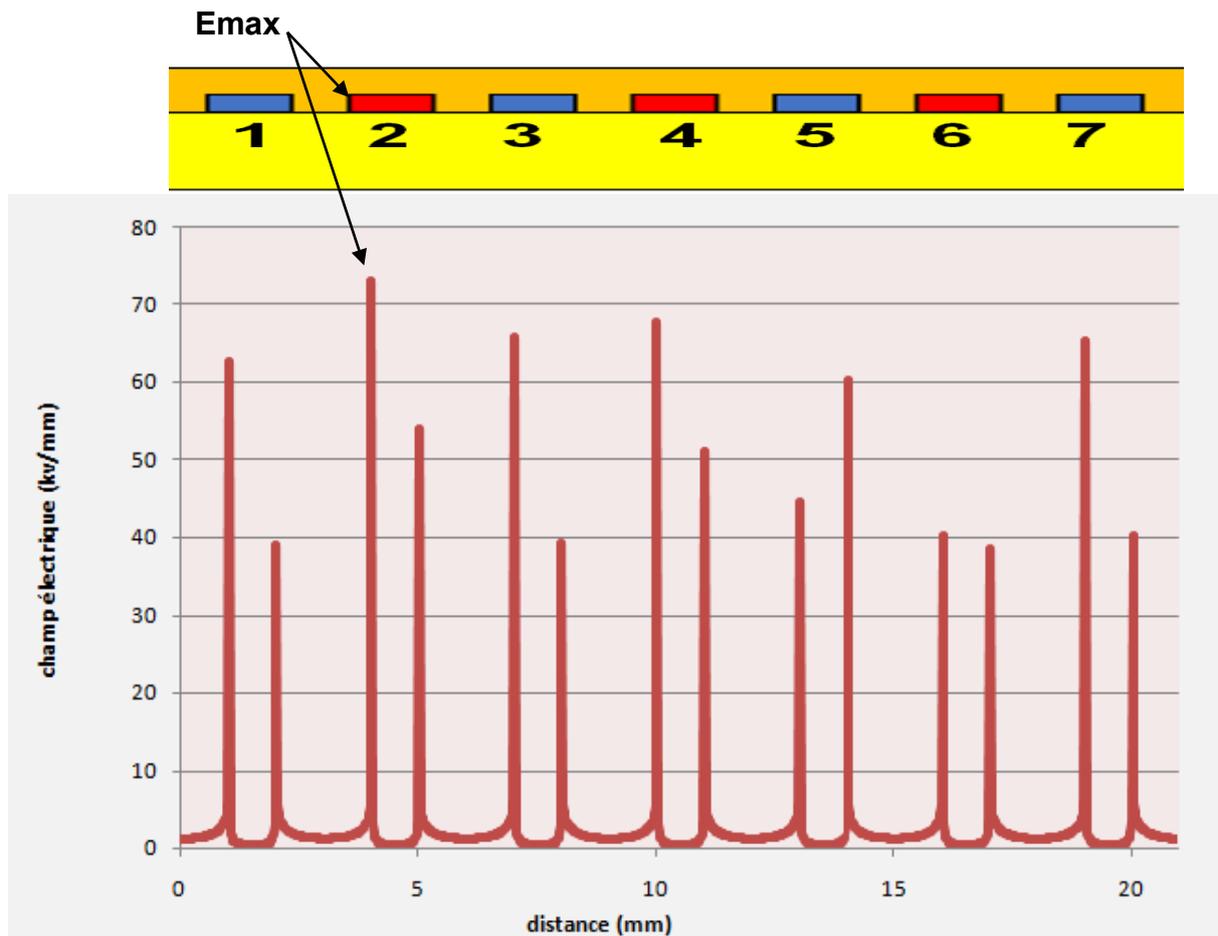


Figure IV.9 : Variation du champs électrique dans l'isolant en haut des électrodes (cas 1).

Par ailleurs, les valeurs du champ électrique au niveau des points repères décrits dans la Figure IV.8 sont données au Tableau IV.1. A noter que pour les points A et B, il n'y a pas de valeur dans l'isolant car ces deux points se trouvent uniquement dans l'air.

Champs E (kV/mm)	A	B	C	D
Air	2,70	2,71	4,39	4,36
Isolant (Kapton)			2,66	2,64

Tableau IV.1 : Valeurs du champ électrique au niveau des point repères (cas N°1).

IV.4.2 Convoyeur avec particule cuivre (cas N°2)

En rajoutant une particule cuivre sur le convoyeur, la variation du champ électrique dans l'isolant reste sensiblement la même à hauteur des électrodes avec une valeur maximale toujours au niveau de l'électrode N°2 avec une valeur de 72,70 kV/mm. Cependant, on note une différence au niveau de l'électrode N°4 avec une légère diminution comme le montre la Figure IV.10. Ceci est dû au fait que l'électrode N°4 se trouve au plus près et juste en dessous de la particule cuivre ce qui a par conséquent de modifier la répartition des lignes équipotentielles dans cette zone.

Ceci a d'ailleurs affecter les valeurs du champ électrique au niveau des coins de la particule cuivre avec une augmentation assez sensible comme le montre le Tableau IV.2.

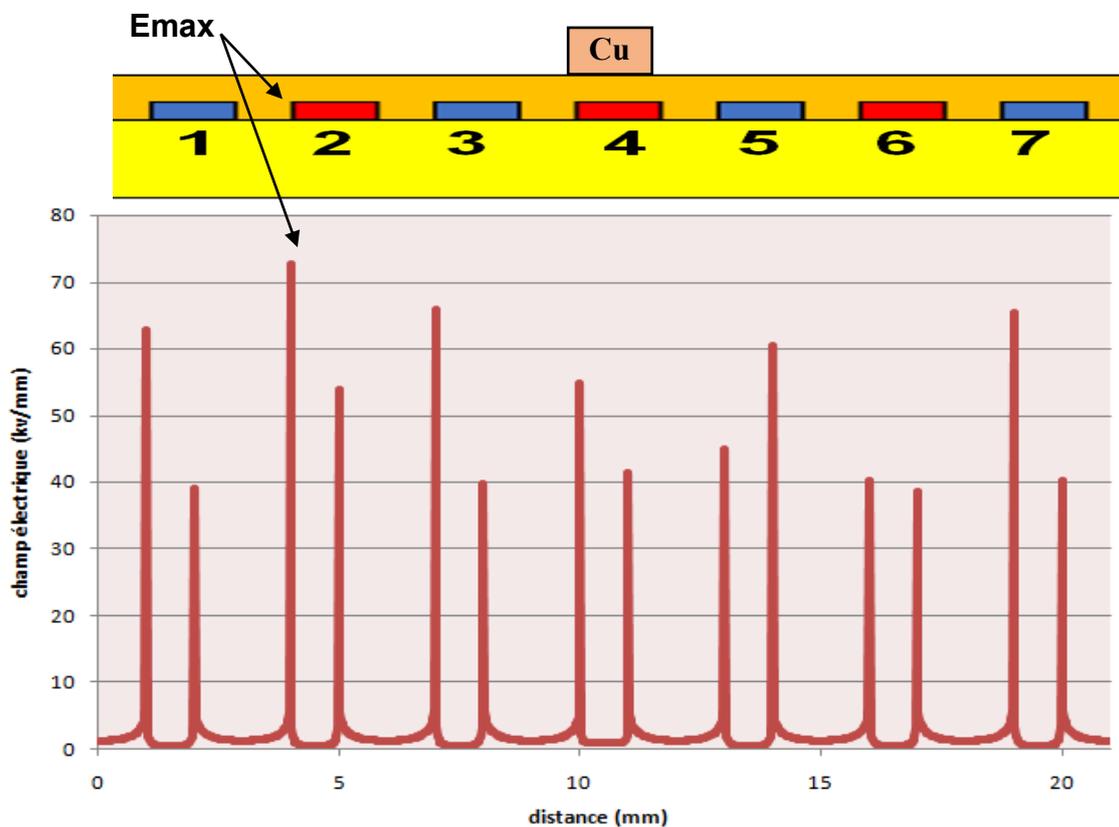


Figure IV.10 : Variation du champs électrique dans l'isolant en haut des électrodes (cas 2).

Champ E (kV/mm)	A	B	C	D
Air	61,78	43,39	55,53	49,8
Isolant (Kapton)			11,01	11,16

Tableau IV.2 : Valeurs du champ électrique aux coins de la particule cuivre (cas N°2).

IV.4.3 Convoyeur avec particule PVC (cas N°3)

Lorsqu'on remplace la particule de cuivre avec une particule plastique en PVC, on voit que la variation du champ électrique reste globalement similaire aux deux précédents cas mais toujours avec une différence au niveau de l'électrode N°4 qui se trouve en dessous de la particule (Figure IV.11). On note aussi que les valeurs de champ électrique au niveau des coins de la particule sont similaires au cas N°1 sans particule et beaucoup plus faibles que celles trouvées aux coins de la particule cuivre comme le montre le Tableau IV.3.

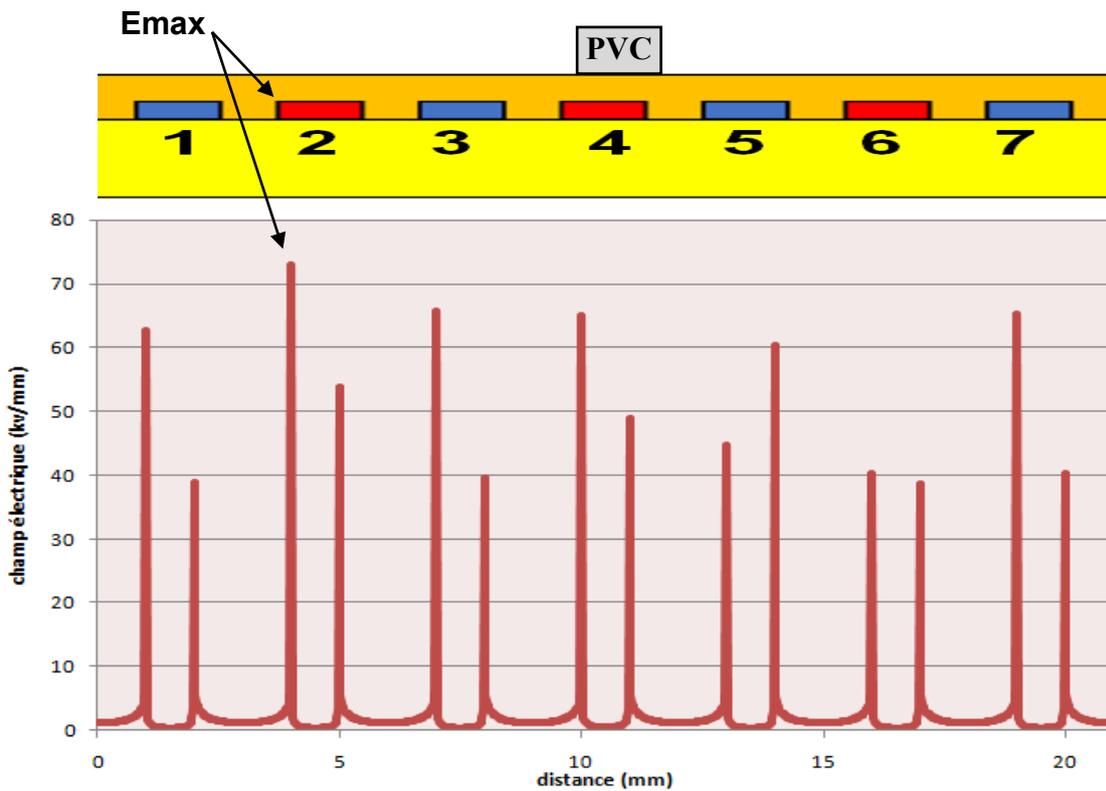


Figure IV.11 : Variation du champs électrique dans l'isolant en haut des électrodes (cas 3).

Champ E (kV/mm)	A	B	C	D
Air	3,43	3,34	11,26	13,28
Isolant (Kapton)			2,15	2,16

Tableau IV.3 : Valeurs du champ électrique aux coins de la particule PVC (cas N°3).

IV.5 Conclusion

Les résultats obtenus des différents calculs de champ électrique des trois configurations nous amènent à faire les conclusions suivantes:

- L'effet de la particule n'affecte que localement la distribution des équipotentielles dans le convoyeur. En effet, pour les trois cas, la variation du champ électrique dans l'isolant dans la partie centrale du convoyeur est restée quasi-similaire avec une valeur maximale toujours au niveau du coin de l'électrode N°2 et quasiment inchangée comme le montre le tableau IV.4.

	Détails	E max (kV/mm)
Cas N°1	Sans particule	72,90
Cas N°2	Particule Cuivre	72,70
Cas N°3	Particule PVC	72,87

Tableau IV.4 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'isolant au niveau du coin de l'électrode N°2.

- L'effet localisé de la présence de la particule et de sa nature n'est clairement visible qu'au niveau de l'électrode N°4 qui se situe au plus près et juste en dessous de la particule comme le montre la Figure IV.12.

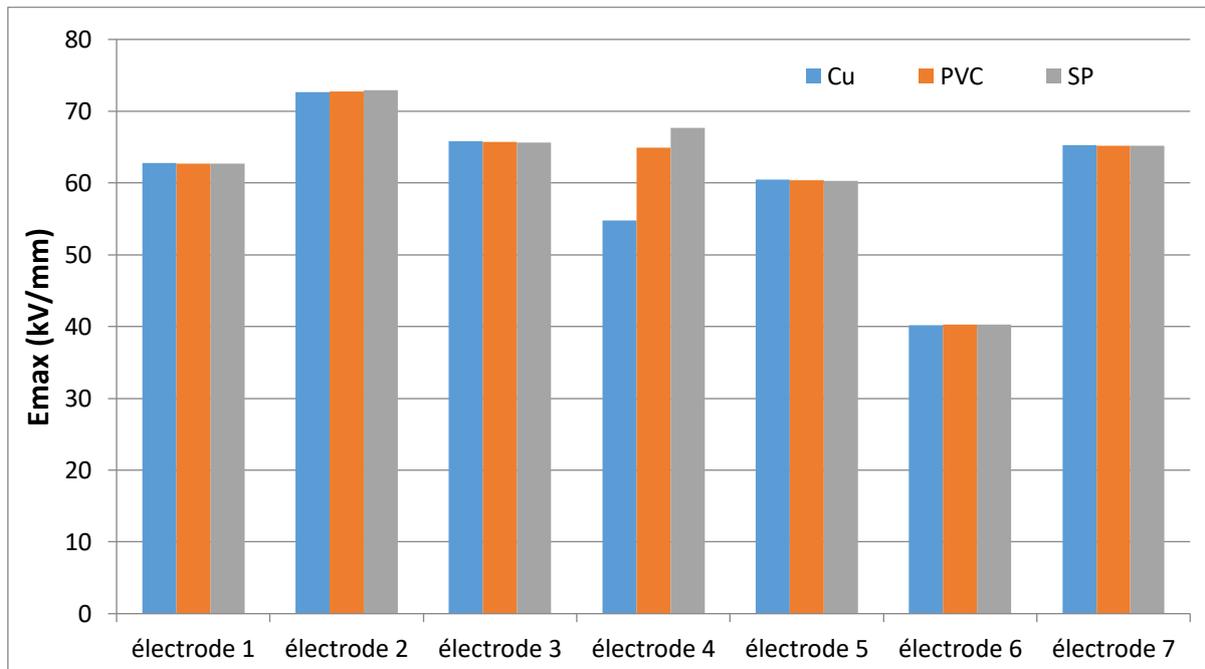


Figure IV.12 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'isolant au niveau des électrodes du convoyeur pour les trois cas étudiés.

- La configuration avec une particule en cuivre (Cas N°2) est celle qui présente les valeurs maximales du champ électrique au niveau de ses coins (dans l'isolant Kapton et dans l'air). Ceci est dû à la forte distorsion des lignes équipotentielle engendrée par sa présence sur le convoyeur comparativement avec les deux autres cas comme le montre les figures suivantes.

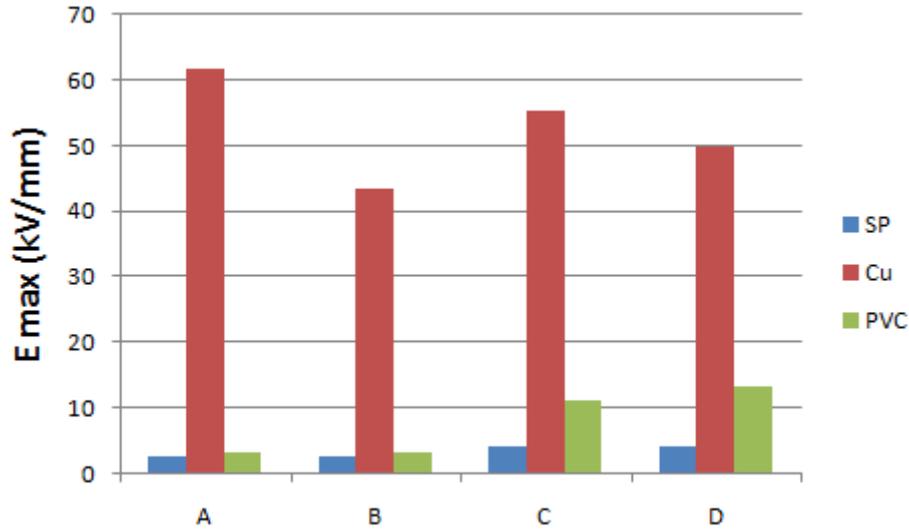


Figure IV.13 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'air au niveau des coins de la particule pour les trois configurations.

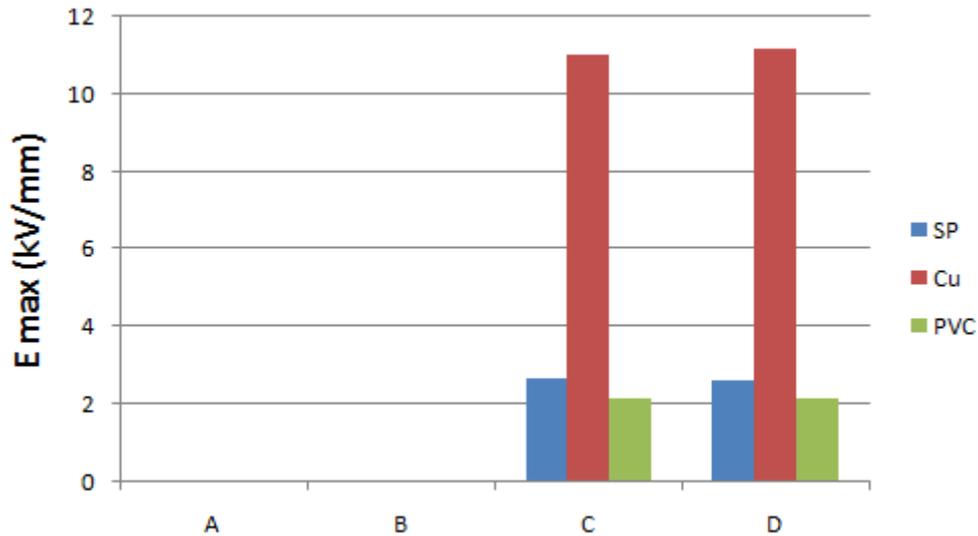


Figure IV.14 : Valeurs maximales du champ électrique dans l'isolant Kapton au niveau des coins de la particule pour les trois cas étudiés.

Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons réalisé une étude de simulation de l'effet des particules sur le champ électrique d'un convoyeur à ondes mobiles biphasé. Nous avons fait un petit rappel sur le champ électrique et les convoyeurs, ainsi que les techniques de séparation électrostatique.

Ensuite, on a présenté le modèle étudié par FLUX 2D qui est un logiciel de simulation par éléments finis et nous avons présenté les résultats obtenus de notre simulation avec l'analyse des différentes configurations étudiées.

Tout d'abord nous avons fait la configuration sans particule et obtenu les valeurs de champ électrique au niveau des électrodes, puis nous avons ajouté une particule en cuivre, puis une particule en PVC.

La valeur maximale de champ électrique dans tous les cas était au niveau de la pointe gauche d'électrode numéro 2.

Par ailleurs, les résultats de simulation ont également montré l'effet très localisé de la présence de la particule et de sa nature sur la répartition des équipotentielle. En d'autres termes, le fait de rajouter une particule (isolante ou conductrice) n'affecte que la zone proche ou elle est posée. En tout cas ceci est valable pour les dimensions de particules qui ont été considérées dans notre étude. Il est en effet tout à fait possible que les résultats puissent être différents pour une particule de dimensions géométriques plus grandes.

L'effet de pointe a également été mis en évidence dans nos résultats à travers les pics de champ électrique très localisés au niveau des angles des particules. Les valeurs maximales ont été atteintes notamment quand la particule était en cuivre.

Ce travail devrait être complété par d'autres simulations pour étudier d'autres paramètres tels que la forme de la particule, ses dimensions ainsi que sa position par rapport aux électrodes afin de voir leur effet sur le champ électrique dans le convoyeur et enrichir ainsi les conclusions de ce présent travail.

Bibliographie

- [1] **site internet** : www.techno_science.net consulté 06/2022
- [2] cours champ électrique :<http://ww.al.lu/physics/deuxième/moussat/champ-électrique-pdf>
- [3] <https://ww.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/science/le-champ-électrique-et-la-loi-de-coulomb-s1156>
- [4] **site internet** : fr.wikipedia.org
- [5] **site internet** : <https://ww.superprof.fr> consulté 06/2022
- [6] Victor de Sepausy kartable.fr.cours- kartable.fr.cours-06/12/2013
- [7] <https://uef.unisciel.fr> consulté le 06/2022
- [8] Zennani Imane Merdoud Mourad << Optimisation d'une nouvelle technique de séparation électrostatique à ondes mobiles métal / plastique>> (page 55). Université Djilali Liabes . Sidi Bel Abbès 2019.
- [9] SMILI Karima << Etude Des Propriétés Dielectriques Des Matériaux Isolants Soumis A Des Champs Très Intenses >> Université Badji Mokhtar – Annaba 2018.
- [10] Gontran Richard « Étude expérimentale et optimisation fonctionnelle des installations de séparation électrostatique de mélanges de matériaux granulaires » thèse de doctorat, Université Poitiers 2018.
- [11] **site internet** : www.immotech.ca consulté 06/2022
- [12] **site internet**: formu-futura-sciences.com consulté 06/2022
- [13] **site internet**: webetab-ac-bordeaux.fr consulté 06/2022
- [14] M. N. Horenstein, M. Mazumder and all, "Modeling of Trajectories in an Electrodynamic Screen for Obtaining Maximum Particle Removal Efficiency". IEEE Transactions on industry applications, VOL. 49, NO. 2, 2013.
- [15] séparation électrostatique-Science Direct journal of electrostatics may 2004
- [16] séparation avec ondes mobiles: thèse doctorat université mustapha stambouli mascara 2018
- [17] Yahiaoui Ilies, Khechab Mohamed Lakhdar "Simulation du champ électrostatique dans un convoyeur à ondes mobiles", PFE M2, Université Ain Temouchent 2020
- [18] Patricia ARLABOSS « séchage industriel-aspects pratiques » publié le 10 décembre 2008. site internet : www.techniqueingenieur.fr Ref : j2455
- [19] Site Internet : <http://www.cao.fr/rubrique-toutes/actu/5322/Cedrat-annonce-la-version-11-2-de-son-logicielFlux.html>
- [20] **site internet**: made-in-china.com connecting buyers with Chinese suppliers. Consulté 06/2022

Résumé

Résumé :

L'objectif de cette étude est de présenter la simulation de l'effet des particules isolantes ou conductrices sur le champ électrique dans un convoyeur à ondes mobiles.

Les résultats de simulation ont montré l'effet très localisé de la présence de la particule et de sa nature sur la répartition des équipotentielle. En d'autres termes, le fait de rajouter une particule (isolante ou conductrice) n'affecte que la zone proche ou elle est posée. En tout cas ceci est valable pour les dimensions de particules qui ont été considérées dans ce travail.

Mots clé : simulation, champ électrique, ondes mobiles, isolant, conducteur, équipotentielle.
Flux 2D

Abstract:

The objective of this study is to present the simulation of insulating or conducting particle effect on the electric field in a travelling wave conveyor.

The modeling results showed the very localized effect of the presence of the particle and its type on the distribution of the equipotential lines. In other words, adding a particle (insulating or conducting one) affects only the area near where it is placed. Anyway, this is valid for the particle sizes that have been considered in this work.

Key words: Modeling, electric field, Travelling waves, insulator, conducting, Flux2D.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقديم محاكاة لتأثير الجسيمات على المجال الكهربائي في ناقل موجة متحركة

أظهرت نتائج المحاكاة التأثير الموضعي للغاية لوجود الجسيم وطبيعته على توزيع القوى الكامنة. بمعنى آخر، فإن إضافة جسيم (عازل أو ناقل) يؤثر فقط على المنطقة القريبة من مكان وضعه. على أي حال، هذا صالح لأحجام الجسيمات التي تم النظر فيها.

الكلمات المفتاحية محاكاة- الجسيمات- المجال الكهربائي- موجة متحركة- عازل- ناقل-

Flux2D القوى الكامنة

