

CHAPITRE 3 : ETUDE EXPERIMENTALE

Le présent chapitre traite principalement les matériaux et les méthodes utilisées dans l'étude expérimentale de la trajectoire des particules en plastiques dans un séparateur électrostatique à tapis convoyeur. Les dispositifs de chargements et les installations de séparation électrostatique utilisées dans cette étude sont des prototypes d'installation industrielle réalisée au sein des laboratoires APELEC & IRECOM de l'université de Sidi Bel Abbés/Algérie.

3.1 Séparateur à tapis roulant

3.1.1 Modèle du champ électrostatique

Le modèle du champ électrostatique dans un séparateur à tapis convoyeur est obtenu par la résolution de l'équation de Laplace (Eq.2.11) dans l'espace entourant le profil 2D du tapis et l'électrode elliptique.

Dans cette étude la solution de l'équation de Laplace est obtenue par la méthode des éléments finis implantée au niveau du logiciel COMSOL. L'utilisation de cette méthode exige la définition de la géométrie de l'espace d'étude et les conditions aux limites appliquées aux extrémités du domaine d'étude. Les dimensions de l'installation utilisée dans cette application sont représentées dans la figure 3.1.

Dans cette étude, la géométrie du domaine d'étude est représentée par le profil 2D de l'installation représentée au niveau du modèleur géométrique du COMSOL par plusieurs formes élémentaires. Une union entre cercles et rectangle est utilisé pour représenter le profil du tapis convoyeur et une ellipse est utilisée pour représenter le profil de l'électrode statique. Le résultat obtenu par cette méthode est représenté dans la figure 3.2.

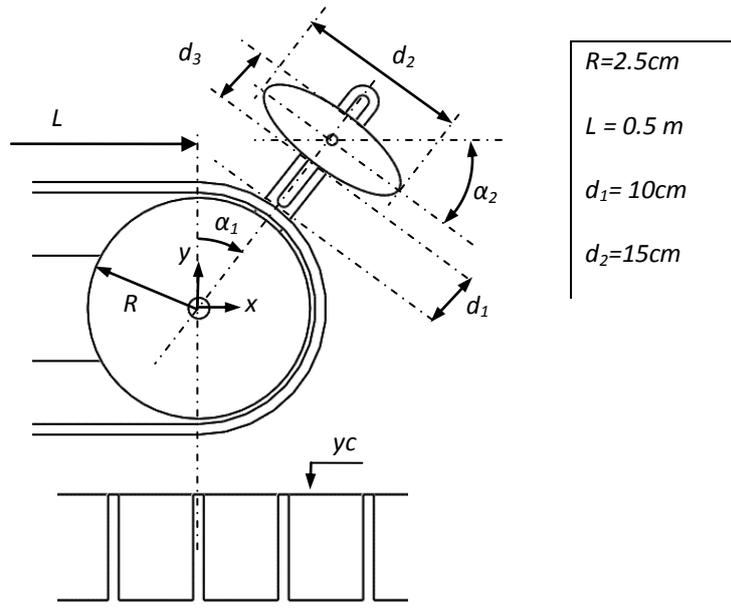


Figure 3.1: Paramètres géométriques du séparateur à tapis convoyeur

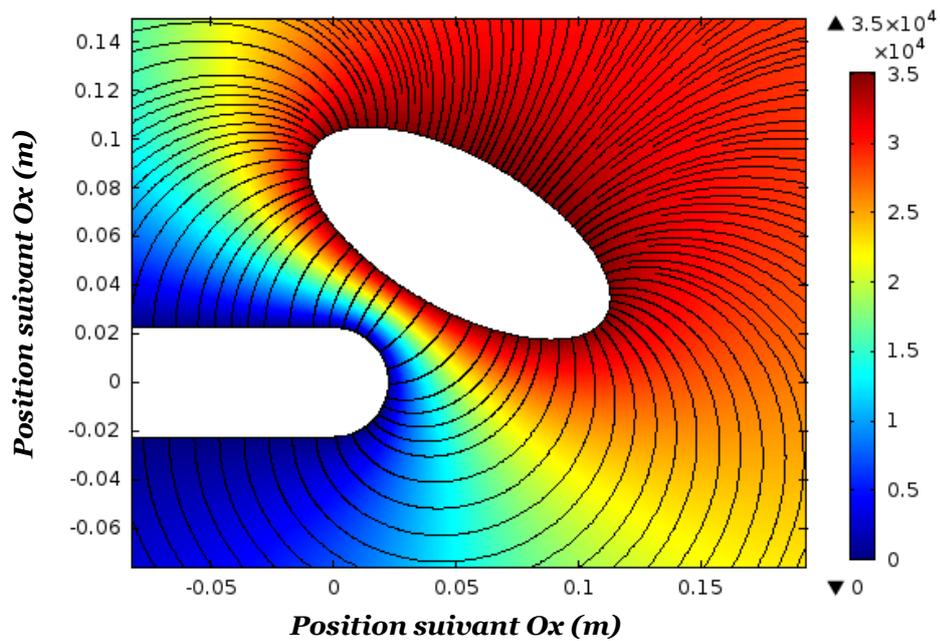


Figure 3.2: Distribution du potentiel et lignes du champ dans un séparateur à tapis convoyeur

3.1.2 Point de détachement de la particule

La simulation de la trajectoire des particules dans un séparateur à tapis convoyeur est exécutée en deux étapes. Dans la première étape une analyse des forces appliquées aux particules en contact avec le tapis est effectuée pour obtenir le point de détachement de la

particule. Cette analyse consiste à identifier le point où la somme des forces de détachement devient supérieure à la somme des forces d'adhésion.

La figure 3.3 montre l'intensité de la force électrostatique appliquée à une particule en fonction de sa charge et de sa position sur la section linéaire du tapis convoyeur. Cette force est considérée autant que force de détachement lorsque la polarité de la charge acquise par la particule est opposée par rapport à la polarité de l'électrode statique. Dans ce cas le détachement de la particule de la surface du tapis peut apparaître lorsque la force électrostatique devient supérieure au poids de la particule.

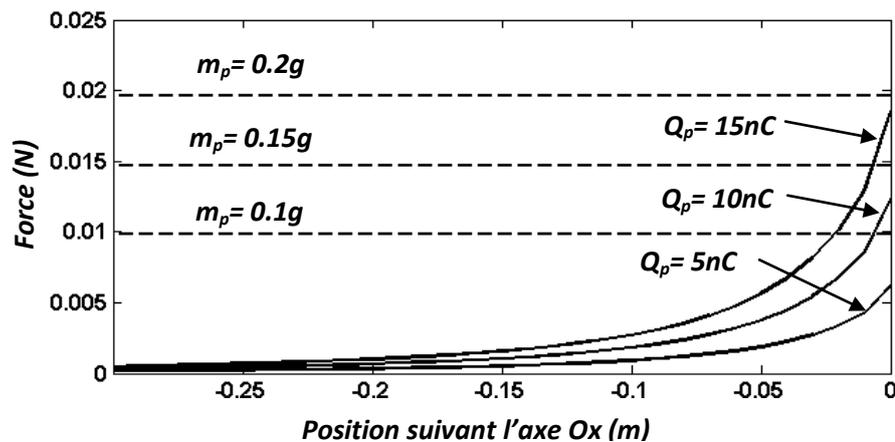


Figure 3.3 : Forces électrostatiques et gravitationnelles appliquées sur une particule en fonction de sa position sur la section linéaire du tapis convoyeur

Les particules entraînées dans la section circulaire subissent une force centrifuge normale à la surface du tapis. L'intensité de cette force est constante en fonction de la position angulaire de la particule. Dans la même section les particules qui adhèrent à la surface du tapis sont soumises à une force gravitationnelle et électrostatique dont l'intensité de leurs composantes normales est variable en fonction de la position angulaire de la particule.

La figure 3.4 montre la variation de la force gravitationnelle normale à la surface du tapis appliquée à une particule dans la section circulaire. De 0° à 90° la composante normale de cette force est dirigée vers le centre du cercle. Dans ce cas la force est considérée autant que force d'adhésion.

De 90° à 180° la direction de la composante normale de la force gravitationnelle s'inverse. Dans ce cas la force est considérée autant que force de détachement. La figure 3.5 montre la variation de la composante normale de la force électrostatique en fonction de la position angulaire de la particule. Dans cette figure on remarque une augmentation de

l'intensité de la force électrostatique. Cette force atteint une valeur maximale au voisinage de la position angulaire qui égale à 40° .

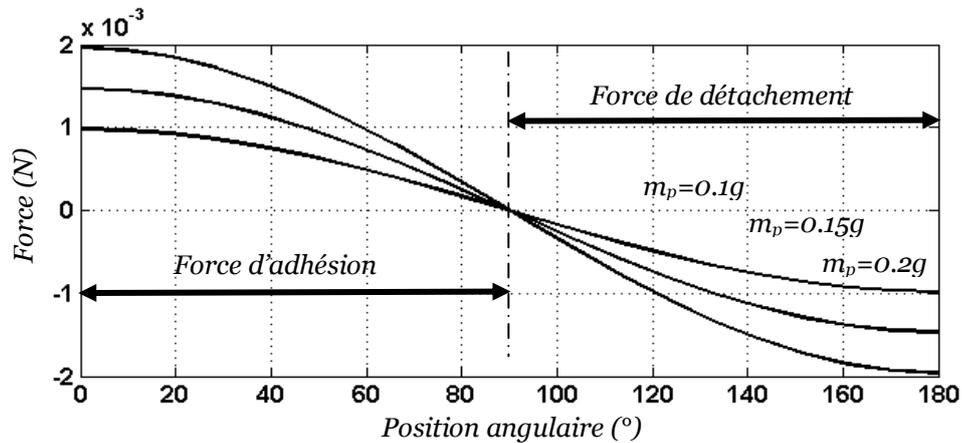


Figure 3.4 : Composantes normales de la forces gravitationnelles appliquées sur une particule en fonction de sa position angulaire dans la section circulaire du tapis convoyeur

En examinant le modèle du champ électrostatique on déduit que à cette position caractérise la valeur minimale de la distance inter électrode et la valeur maximale du champ électrostatique. Les particules entrainées par le tapis à des positions supérieures à 40° subissent des forces électrostatiques dont la composante normale devient de plus en plus faible. Au-delà de 180° la force électrostatique peut être négligeable.

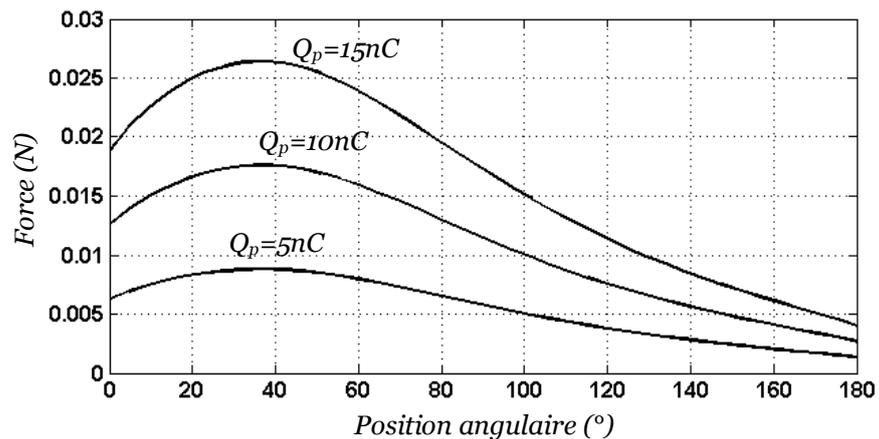


Figure 3.5 : Composantes normales de la forces electrostatiques appliquées sur une particule en fonction de sa position angulaire dans la section circulaire du tapis convoyeur

Pour obtenir les coordonnées du point de décollage une analyse de l'équilibre des forces doit être effectuée. La figure 3.6 nous montre un exemple de cette analyse. Dans cette

application une particule de charge $Q = 1nC$ est de polarité identique à la polarité de l'électrode statique est soumise à une force électrostatique dont la composante normale est dirigée vers la surface du tapis. Dans ce cas la force électrostatique est considérée dans ce cas autant que force d'adhésion.

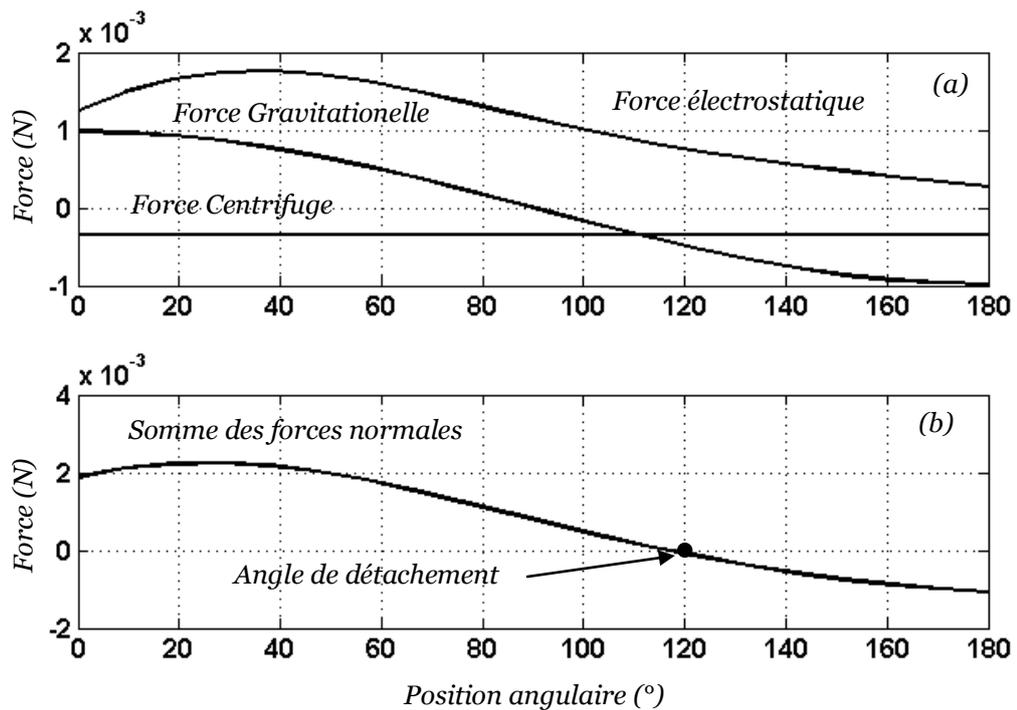


Figure 3.6 : (a) : Forces normales appliquées a une particule dans la section circulaire du tapis ; (b) : la somme des forces normale ($m_p=0.1g$; $w=4\pi$ rad/sec ; $Q=1nC$)

La force gravitationnelle est considérée entant que force d'adhésion de 0° à 90° et comme une force de détachement de 90° à 180°. Tandis que la force centrifuge est considérée entant que force de détachement de 0° à 180°.

La variation de la somme des forces (normales) appliquées à la particule est représentée dans la figure 3.6. Cette figure, nous montre que la somme des forces est positive de 0° à 120°. Dans ce cas la somme des forces est considérée entant que force d'adhésion. Cette somme s'annule au voisinage de 120° ensuite, elle devient négative au-delà de 120°. C'est-à-dire au-delà de 120° elle est considérée entant que force de détachement. Dans cette

simulation l'angle de détachement de la particules est caractérisé par une somme des forces nulles. Dans cette application l'angle de détachement est de l'ordre de 120° .

Cette application nous montre que l'angle de détachement de la particule varie en fonction de l'intensité et la direction des forces appliquées sur cette particule. Une étude paramétrique (Figure 3.7) nous montre que la variation de l'angle de détachement d'une particule devient moins sensible à la variation de la charge acquise par la même particule lorsque sa masse augmente.

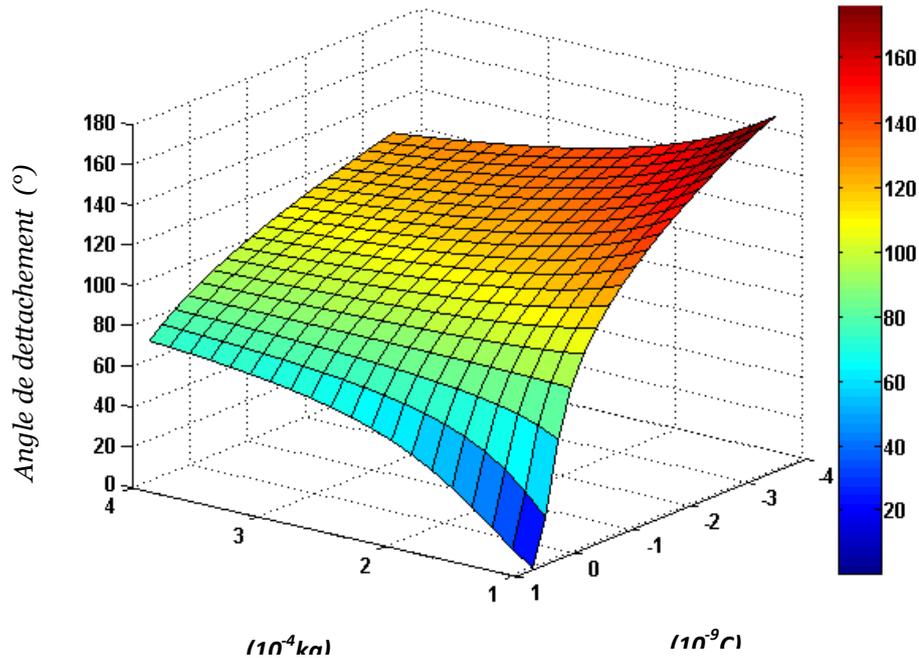


Figure 3.7 : Angle de détachement d'une particule en fonction de sa charge et sa masse.

Au cours de la simulation l'équilibre des forces est analysé dans des temps discrets $t_n + \Delta t$. L'utilisation de cette méthode au cours de la simulation peut donner une fausse position du point de détachement ainsi que la direction de la vitesse de la particule au point considéré. Pour résoudre ce type de problème une correction de la position du point de détachement est effectuée une fois que la condition (2.1) devient fausse.

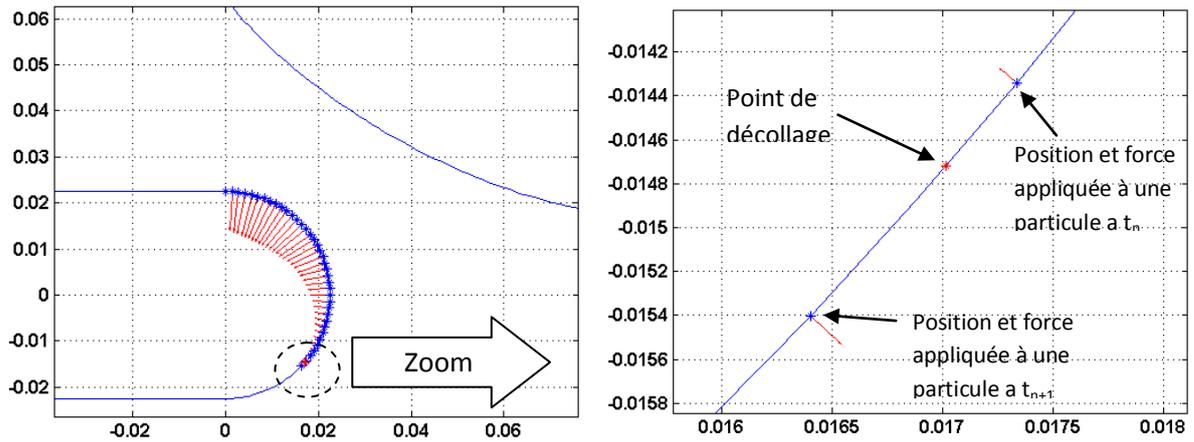


Figure 3.8 : Correction de l'angle de détachement ; \rightarrow Vecteur somme des forces appliquées a une particule a l'instant t_n

La méthode de correction utilisée dans ce cas est basée sur le calcul de l'angle associé à une valeur nulle de la somme des forces normales appliquées sur la particule considéré. La figure 3.8 montre un cas particulier du détachement de la particule de la surface du tapis. Dans ce cas la somme des forces appliquées à une particule passe d'une valeur positive (*Dans notre cas le sens positive des forces est représenté par le sens opposé du vecteur normal à la surface du tapis*) vers une valeur négative dans un intervalle $[t_n t_{n+1}]$.

Dans le même intervalle, la variation de la somme des forces peut être considérée linéaire en fonction de la variation de l'angle. Dans ce cas la variation de la somme des forces peut être représentée par une ligne droite (Figure 3.9). Une estimation de l'angle de détachement dans ce cas peut être obtenue par la résolution de l'équation :

$$\sum F(\alpha)=0 \quad \text{avec} \quad \alpha \in [\alpha_n \alpha_{n+1}] \quad (3.1)$$

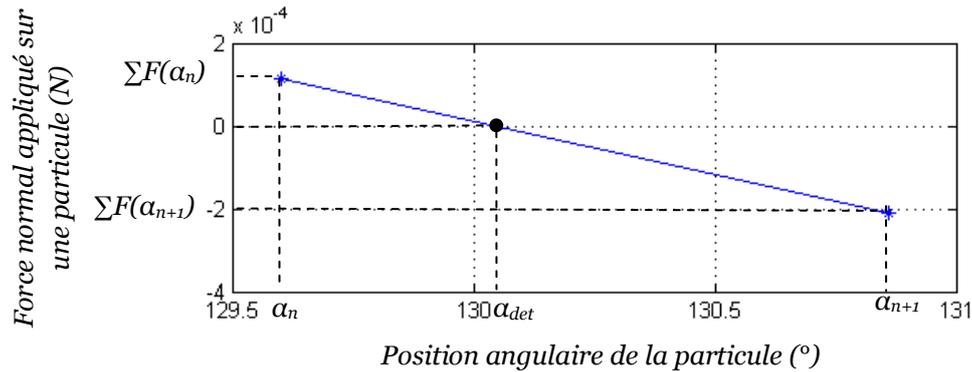


Figure 3.9 : Correction de l'angle de détachement de la particule

Le calcul du point de détachement nous donne la possibilité d'obtenir les informations sur l'intensité et la direction de la vitesse de la particule dans le point considéré. Ces paramètres sont utilisés comme paramètres initiaux dans le calcul de la trajectoire de cette particule au cours de leurs projections vers le collecteur.

3.1 Etude expérimentale de la trajectoire des particules dans un séparateur à tapis convoyeur

Cette étude vise l'analyse expérimentale de la liaison qui existe entre la position des particules en plastique dans le collecteur et l'intensité et la direction des forces agissent sur les particules au cours de leurs mouvements du point de départ (le point d'alimentation en produit granulaire) jusqu'au point final (c'est-à-dire la position finale de la particule dans le collecteur).

3.2.1 Séparateur électrostatique

Le processus de séparation électrostatique utilisé dans cette étude (Figure 4.22) nous donne la possibilité de contrôler l'intensité et la direction du champ électrostatique appliqué aux particules ainsi que leurs vitesses tangentielles au point de détachement. La direction de la vitesse des particules dans ce cas est liée à la position du point de détachement.

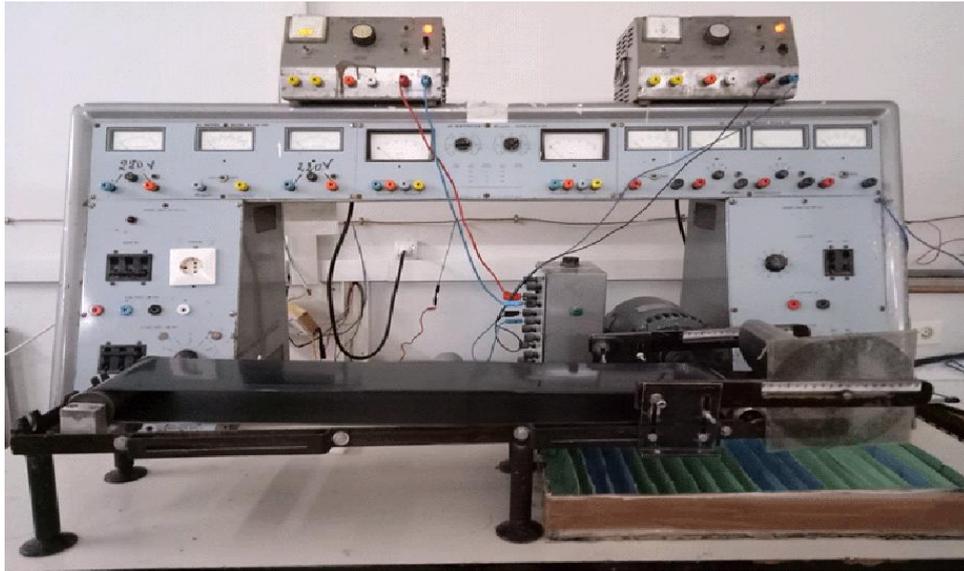


Figure 4.22: Photographie du séparateur à tapis roulant

Dans l'ensemble des expériences les particules du mélange sont chargées par triboélectrification dans un convoyeur à vis sans fin (Figure 4.2). Les particules pré chargé par triboélectrification sont déposées d'une façon continue sur la surface du tapis convoyeur. Au cours de leurs mouvements dans la zone de séparation électrostatique les particules chargées négativement sont attirées vers l'électrode statique alimentée par une source de polarité positive. Les particules chargées positivement adhèrent à la surface du tapis pour être évacué ensuite vers la partie gauche du collecteur. La (Figure 4.23) nous montre un résultat type de la séparation du mélange PVC/ABS.



Figure 4.23: Résultats de séparation ABS/PVC obtenue par un séparateur à tapis convoyeur

Cette partie du travail vise l'étude expérimentale de la position des particules dans le collecteur en fonction de la différence de potentiel appliquée entre les électrodes de

l'installation $\Delta U(V)$ et l'inclinaison de ces électrodes par rapport à l'axe vertical $\alpha(^{\circ})$ et la vitesse tangentielle du tapis convoyeur $n(m/s)$. Après quelques essais préliminaires, nous avons défini un espace d'étude caractérisé par les niveaux des facteurs groupés dans le tableau 4.9

Tableau 4.9 : Niveaux des facteurs utilisées dans l'étude expérimentale trajectoire des particules dans un séparateur à tapis convoyeur

	<i>Min</i>	<i>Moy</i>	<i>Max</i>
n (cm/s)	23,22	46,44	69,66
α ($^{\circ}$)	30	40	50
U (kV)	15	20	25

4.1.2 Chargeur triboélectrique

Dans cette étude le chargement des particules par effet triboélectrique est produit à l'aide d'un convoyeur à vis (Figure 4.2) conçu au sein du laboratoire IRECOM de l'université de Sidi Bel Abbés.

Le convoyeur est constitué d'une vis en matière isolante centré à l'intérieur d'un tube de même matière fixé sur un support métallique. La vis est entraînée à une vitesse de rotation constante à l'aide d'un moteur triphasé alimenté par un variateur de fréquence. L'inclinaison du convoyeur est ajustée à une valeur de 0° par rapport au plan horizontal.



Figure 4.2: Convoyeur à vis

4.1.3 Mélange granulaire

Dans l'ensemble des expériences, nous avons utilisé un mélange granulaire de deux produits constitué de 50(g) de Chlorure de polyvinyle (PVC) rigide et 50 (g) de l'Acrylonitrile Butadiène Styène (ABS).

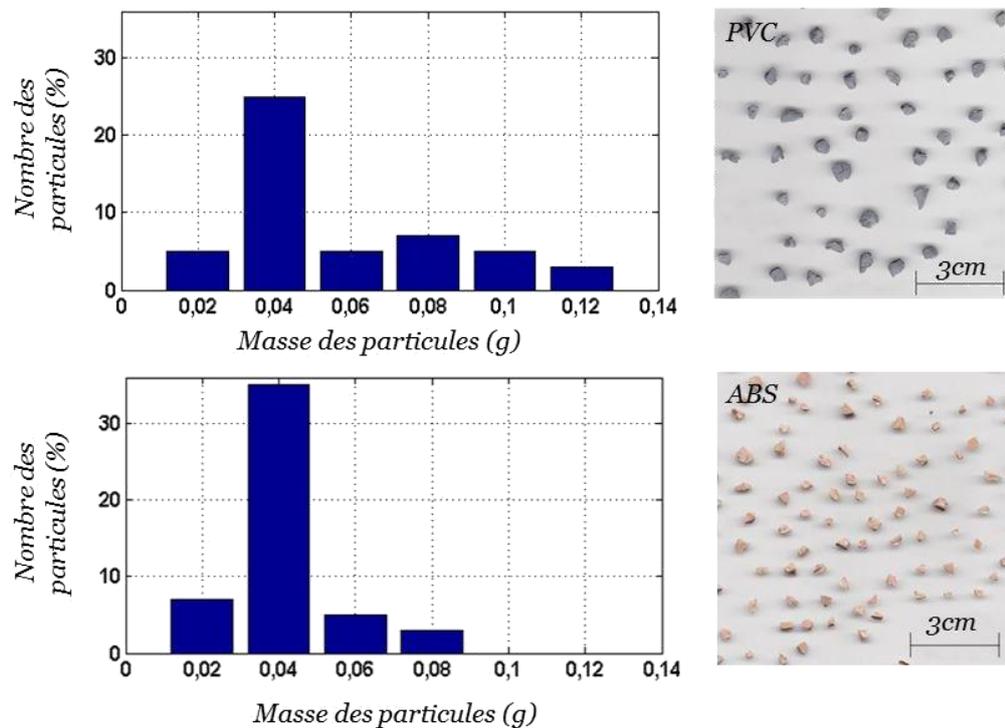


Figure 4.3 : Distribution de la masse des particules de l'ABS et PVC

Le PVC est un polymère thermoplastique dont la densité volumique est de l'ordre de $(1190 \text{ kg/m}^3 \text{ à } 1410 \text{ kg/m}^3)$; la rigidité du PVC varie en fonction des additifs qu'on lui incorpore. Le PVC rigide qui a un aspect lisse et dur, est utilisé pour les tuyaux de canalisation. Il est largement employé dans l'industrie de l'ameublement et dans le bâtiment ou le génie civil, les carcasses de produits électriques, électroniques et informatiques et bien d'autres. Il est recyclable et peut se fabriquer dans de multiples finitions et couleurs.

L'ABS est un thermoplastique couramment utilisé pour rendre léger, rigide, des produits moulés ; sa densité volumique varie entre $(1040 \text{ kg/m}^3 \text{ et } 1060 \text{ kg/m}^3)$ ses propriétés fondamentales étant la ténacité, la résistance aux chocs et la dureté superficielle, il est surtout

employé dans la fabrication de meubles, éléments pour l'industrie automobile, les coques d'appareils électroménagers, jouets, ordinateurs, châssis de téléviseurs, radios et autres.

Pour obtenir la distribution de la masse des particules de chaque produit, nous avons mesuré la masse de 50 particules. Dans chaque mesure la masse d'une particule (m) est estimée à partir de la masse totale de 10 particules (m_{10}) choisies aléatoirement à partir d'un gisement de particules de même nature. La masse totale de 10 particules (m_{10}) est mesurée à l'aide d'une balance électronique de haute résolution (0.001g) (Figure 4.3). Les résultats obtenus sont groupés dans un tableau de calcul (tableau 3.1) ensuite présentés sous forme d'un histogramme (Figure 3.2).



Figure 4.4 : Balance électronique

Tableau 4.1 : Masse des particules

N°	ABS (g)	PVC (g)
1	0,0711	0,0869
2	0,065	0,0416
3	0,0725	0,0319
⋮	⋮	⋮
48	0,0289	0,0304
49	0,0268	0,0394
50	0,0224	0,03

4.1.4 Procédure expérimentale

Cette étude vise à l'analyse expérimentale de la liaison qui existe entre le déplacement horizontal des particules par rapport à l'axe de symétrie de l'installation, l'intensité et la direction des forces agissent sur les particules au cours de leurs mouvements du point de départ (c'est-à-dire la sortie de l'entonnoir) jusqu'au point final (c'est-à-dire la position finale de la particule dans le collecteur).

Dans cette étude on s'intéresse aux facteurs qui apparaissent dans l'équation de mouvement d'une façon directe ou indirecte et qui sont mesurables avec les moyennes disponibles dans notre laboratoire. Les résultats obtenus sont comparés ensuite avec les résultats de simulation.

Revenons à l'équation de mouvement des particules (3.3) on remarque que la trajectoire des particules ainsi que leurs déviations par rapport à l'axe de symétrie de

l'installation dépend de l'intensité de la force électrostatique, gravitationnelle et aérodynamique appliquée à ces particules.

Le banc d'essais utilisé dans cette étude, nous donne la possibilité de contrôler l'intensité et la direction du champ électrostatique appliquées aux particules dans la zone limitée par le point d'alimentation qui représente le point de référence (0x, 0y) et le collecteur positionné à une hauteur de -1.27 m par rapport au point de référence.

L'intensité et la direction du champ électrostatique dans cette zone sont ajustées par l'action sur : la valeur de la haute tension appliquée aux électrodes et leurs inclinaisons par rapport à l'axe de symétrie de l'installation.

La charge acquise par les particules représente un autre facteur qui apparait dans l'équation de mouvement de la particule et qui influe sur l'intensité de la force électrostatique. Ce facteur est incontrôlable donc dans l'ensemble des expériences, on se contente à estimer la charge acquise par les particules par une méthode de mesure indirecte. Cette méthode consiste à mesurer le rapport Charge/Masse du produit récupéré dans chaque cellule. Ce rapport est considéré en tant que valeur moyenne du rapport Charge/Masse des particules récupérées de la même cellule.

Dans l'ensemble des expériences, l'intensité de la force gravitationnelle et aérodynamique sont imposées par la gamme du produit utilisé dans chaque expérience. A ce niveau, Il faut rappeler que pour le même type de produit il y a une dispersion de la masse et la taille des particules (figure 4.4).

Théoriquement les particules de masse et de taille différente sont sollicitées par des forces gravitationnelles et aérodynamiques différentes. Dans cette étude nous nous contentons de quantifier cette dispersion (c'est-à-dire la dispersion de la taille et la masse des particules) avant et après la séparation.

D'après les informations disponibles et les informations nécessaires à la validation du modèle physique de la trajectoire nous avons défini un domaine expérimental en fonction de deux facteurs : la différence de potentiel appliquée entre les électrodes de l'installation ΔU (V) et l'inclinaison de ces électrodes par rapport à l'axe vertical α ($^\circ$). Après quelques essais préliminaires nous avons défini le domaine expérimental caractérisé par l'ensemble des points regroupés dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Domaine expérimental

Expérience N°	α (°)	ΔU (kV)
1	7	60
2	7	30
3	4	60
4	4	30

Dans chaque expérience, un mélange de 50g de PVC et 50g d'ABS pré chargé par triboélectrification puis introduit dans la zone de séparation électrostatique à l'aide d'un entonnoir. Au cours de leur mouvement dans la zone de séparation électrostatique les particules chargées positivement sont attirées vers l'électrode de polarité négative et les particules chargées négativement sont attirées vers l'électrode de polarité positive. La figure 4.4 nous montre la distribution du produit dans le collecteur après un essai préliminaire.



Figure 4.23: Résultats de séparation ABS/PVC obtenue par un séparateur à tapis convoyeur

Pour quantifier la charge des particules en fonction de leurs déviations par rapport à l'axe de symétrie de l'installation, nous avons mesuré la masse et la charge totale du produit récupéré dans chaque cellule. La mesure de la charge du produit récupéré dans une cellule, est réalisée à l'aide d'un seau de faraday et un électromètre modèle Keithley6514 (figure 4.5).

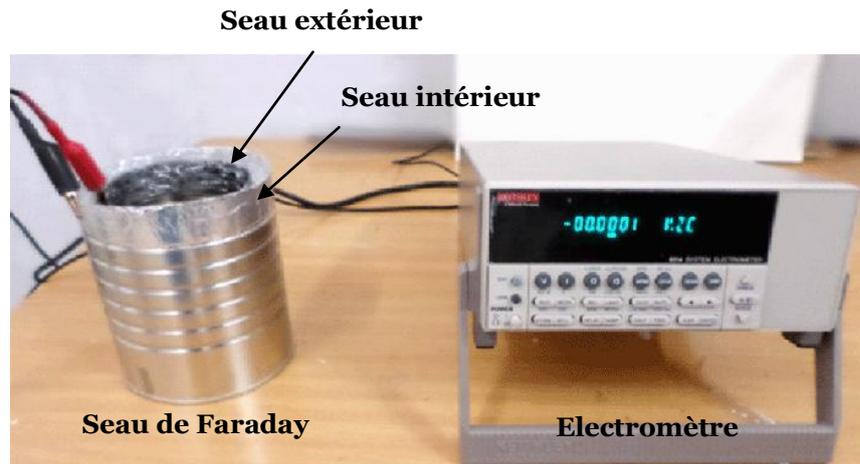


Figure 4.6 : Dispositif utilisé dans la mesure de la charge des particules

Chaque expérience est répétée deux fois avec une polarité (positive/négative) et deux fois avec une polarité (négative/positive). Cette méthode est utilisée afin de réduire les erreurs liées à : - la non uniformité de la charge des particules récupérées dans la même cellule ; - la méthode utilisée dans la mesure de la charge des particules ; -le déclin de charge en fonction du temps ; -la dissymétrie de l'installation et du collecteur ; -les phénomènes aléatoires dus aux collisions Particules / Electrodes et Particules/Parois du collecteur ; - Mouvement aléatoire des particules du au frottement Particules/l'air et d'autres sources de perturbation.

4.1.5 Discussions des résultats expérimentaux

➤ **Expérience 1 : ($\Delta U = 60 \text{ kV}$; $\alpha=7^\circ$)**

L'expérience 01 est réalisée au point expérimentale définie par une différence de potentiel $\Delta U = 60 \text{ kV}$ est une inclinaison $\alpha = 7^\circ$. Les résultats de mesure du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans chaque cellule sont groupés dans le tableau4.3.

Tableau4.3 : Rapport Charge/Masse (nC/g) du produit récupéré dans les cellules du collecteur ($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 7^\circ$)

Position des cellules ($\pm 0.005 \text{ m}$)			Essai 01	Essai 02	Essai 03	Essai 04	Moyenne
N°	Min (m)	Max (m)					
1	-0,3	-0,2	-	-	-	-	-
2	-0,2	-0,16	3,92	5,83	3,84	6,93	5,13
3	-0,16	-0,12	2,12	6,15	4,48	5,62	4,59

4	-0,12	-0,08	4,61	5,71	3,22	6,87	5,10
5	-0,08	-0,04	1,42	3,09	2,29	5,31	3,03
6	-0,04	0	1,42	0,59	0,99	3,19	1,55
7	0	0,04	-0,21	-0,45	-1,53	-0,04	-1,01
8	0,04	0,08	-0,4	-2,7	-2,94	-4,23	-2,66
9	0,08	0,12	-0,45	-2,91	-2,32	-3,44	-2,28
10	0,12	0,16	-0,76	-4,77	-3,4	-4,3	-3,22
11	0,16	0,2	-2,01	-4,94	-3,41	-4,88	-3,36
12	0,2	0,3	-	-	-	-	-

La figure 4.7 montre une comparaison entre les résultats obtenus dans l'ensemble des essais 1-4. La moyenne du rapport Charge/Masse calculée à partir de l'ensemble de ces essais est représentée dans la figure 4.8.

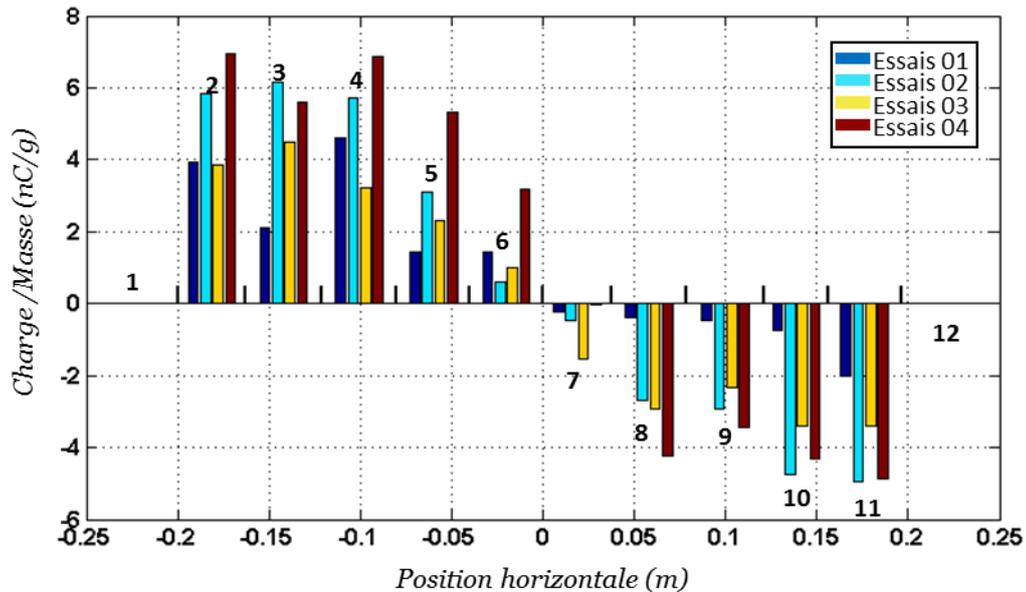


Figure 4.7 : Distribution du rapport charge /Masse du produit récupéré dans le collecteur (cellule 2-11)($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 7^\circ$)

Les résultats expérimentaux affirment que les particules caractérisées par un rapport Charge/Masse élevé en valeur absolue sont récupérées dans les extrémités du collecteur (c'est-à-dire dans les cellules 2 et 11) ; et les particules caractérisées par un faible rapport Charge/Masse en valeur absolue sont récupérées dans les cellules qui se trouvent au voisinage de l'axe de symétrie de l'installation (c'est-à-dire dans les cellules 6 et 7).

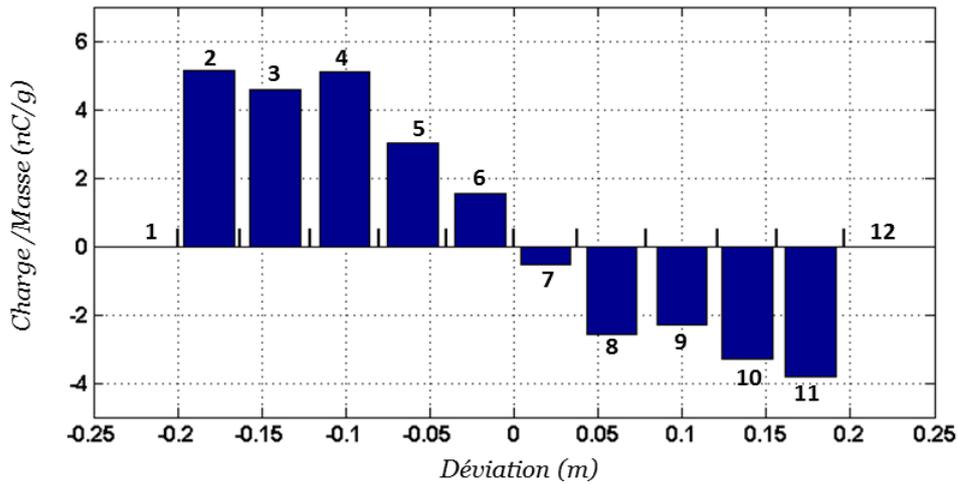


Figure 4.8 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellule (2-11) ($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 7^\circ$)

La figure 4.9 représente une comparaison entre les valeurs mesurées du rapport Charge/masse du produit récupéré dans les deux côtés du collecteur. Cette figure nous montre que la distribution du rapport charge/masse du côté gauche de l’axe de symétrie est différente par rapport à la distribution du côté droit cela est due à la différence qui existe au niveau de la nature des produits récupérés dans les deux côtés du collecteur.

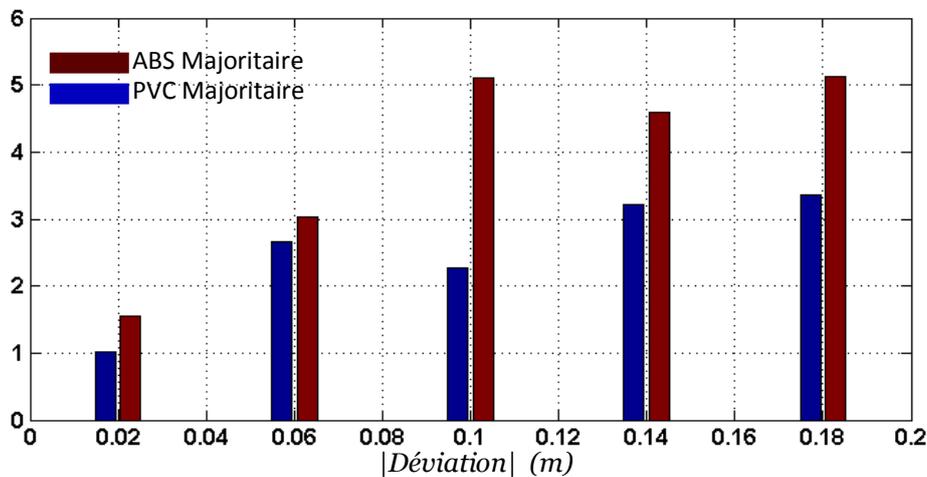


Figure 4.9 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellules (2-11)($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 7^\circ$)

Pour avoir plus d’information sur les produits récupérés dans chaque cellule du collecteur nous avons analysé la taille des particules à l’aide d’une méthode optique présentée dans le sous chapitre (*Procédure expérimentale*).

L’analyse de la taille du produit récupéré dans le premier essai (Figure 4.10) montre que les particules d’ABS de faible taille représentent la majorité du produit récupéré à

l'extrémité gauche du collecteur (Figure 4.10.a). Les particules de PVC de faible taille représentent la majorité du produit récupéré à l'extrémité droite (Figure 4.10.d). Un mélange de grosses particules (ABS+PVC) est récupéré autour de l'axe de symétrie (Figure 4.10.b-c).

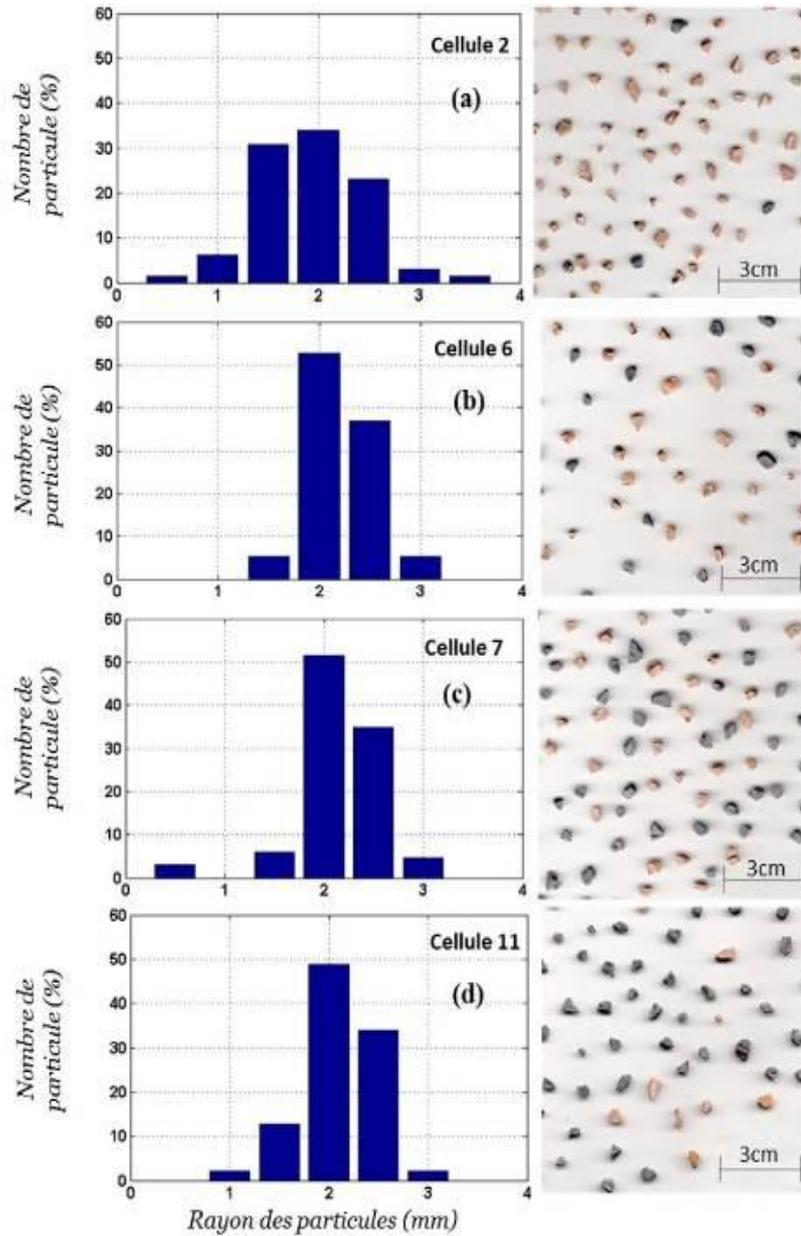


Figure 4.10 : Rayon de particules récupérées dans les cellules du collecteur essais 01

➤ **Expérience 2 : ($\Delta U = 30 \text{ kV}$; $\alpha = 7^\circ$)**

Cette expérience est réalisée avec le même échantillon (50g PVC et 50g ABS). Avec une valeur réduite de la différence de potentiel $\Delta U = 30 \text{ kV}$ et la même valeur de l'inclinaison $\alpha = 7^\circ$ nous avons obtenu les résultats groupés dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Rapport Charge/Masse (nC/g) du produit récupéré dans les cellules du collecteur ($\Delta U = 30 \text{ kV}$, $\alpha = 7^\circ$)

Position des cellules ($\pm 0.005 \text{ m}$)	Essais 01	Essais 02	Essais 03	Essais 04	Moyenne

N°	Min (m)	Max (m)					
1	-0,3	-0,2	-	-	-	-	-
2	-0,2	-0,16	8,46	12,54	5,64	8,03	8,67
3	-0,16	-0,12	9,79	11,70	5,48	7,95	8,73
4	-0,12	-0,08	7,02	9,58	5,42	8,14	7,54
5	-0,08	-0,04	3,16	3,91	5,14	7,37	4,90
6	-0,04	0	0,87	0,75	1,70	5,26	2,15
7	0	0,04	-1,72	-2,25	-3,08	-2,10	-2,29
8	0,04	0,08	-5,41	-5,59	-3,34	-4,93	-4,82
9	0,08	0,12	-5,09	-7,33	-3,46	-3,78	-4,92
10	0,12	0,16	-6,45	-9,28	-4,40	-5,18	-6,33
11	0,16	0,2	-6,89	-8,02	-3,68	-5,25	-5,96
12	0,2	0,3	-	-	-	-	-

Les résultats obtenus (Figures 4.11-12) montrent que la forme de la liaison entre le rapport Charge/Masse et la déviation reste la même, c'est-à-dire l'augmentation du rapport Charge/Masse engendre une augmentation de la déviation des particules par rapport à l'axe de symétrie.

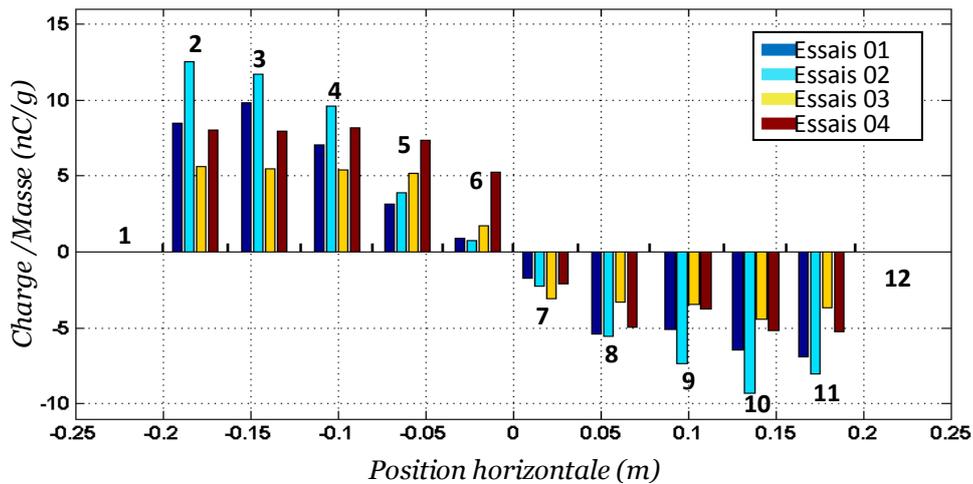


Figure 4.11 : Distribution du rapport charge /Masse du produit récupéré dans le collecteur (cellule 2-11)($\Delta U = 30 \text{ kV}$, $\alpha = 7^\circ$)

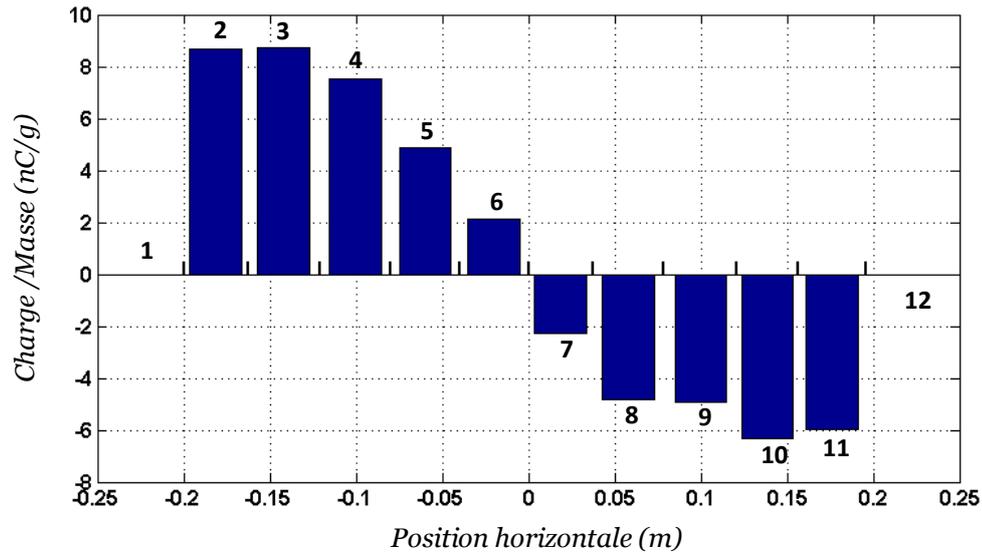


Figure 4.12 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellules (2-11) ($\Delta U = 30 \text{ kV}$, $\alpha = 7^\circ$)

Dans cette expérience on remarque une dissymétrie au niveau de la valeur mesurée du rapport Charge/Masse (figure 4.13). Cette dissymétrie est due à la différence qui existe entre la nature des produits récupérés dans les deux côtés du collecteur. Dans les cellules 2-6 les particules en ABS sont majoritaires. Dans les cellules 7-11 les particules en PVC sont majoritaires.

Au cours de cette expérience, nous avons remarqué que les particules de faible taille sont récupérées aux extrémités du collecteur, les particules de grosse taille sont récupérées au voisinage de l'axe de symétrie.

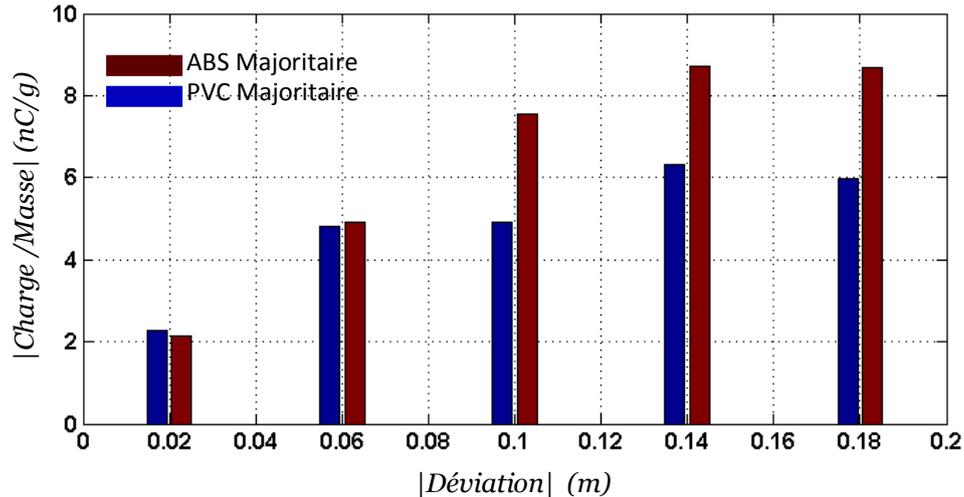


Figure 4.13 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellules (2-11)

La figure 4.14 nous montre l'influence de la différence de potentiel sur la distribution du rapport Charge/Masse dans les cellules du collecteur. Une augmentation de la différence de potentiel est accompagnée par une diminution au niveau des valeurs mesurées du rapport Charge/Masse. Par exemple dans une installation alimentée par une différence de potentiel de 60kV pour que les particules atteignent la cellule de leur rapport charge/masse doivent être aux alentours de 5nC/g .Si la même installation est alimentée par une différence de potentiel de 30kV. Pour que les particules gardent la même déviation il faut que leur rapport Charge/masse augmente à 8.6 nC/g. L'augmentation du rapport charge/masse des particules est liée généralement à l'augmentation des performances du processus de chargement triboélectrique.

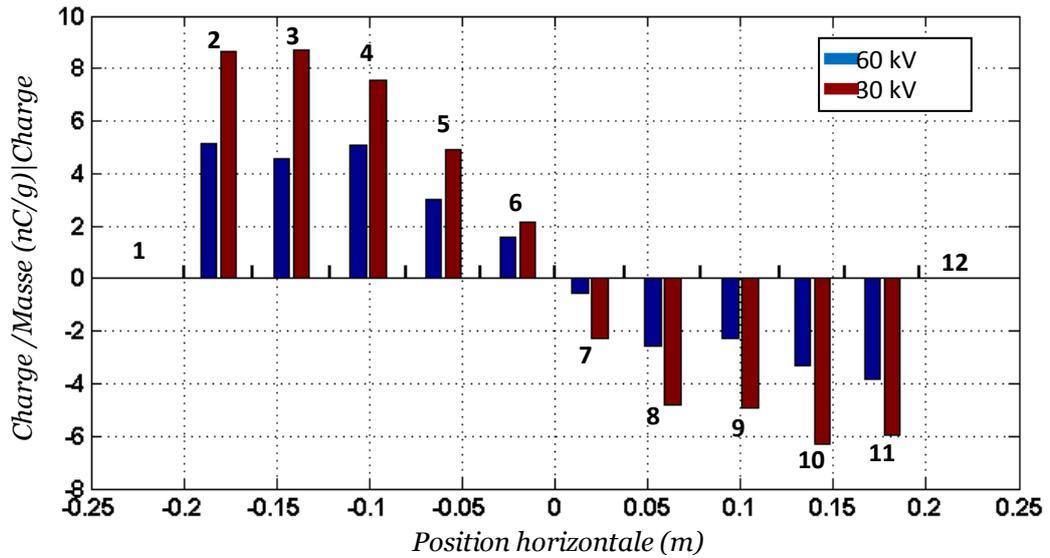


Figure 4.14 : Distribution du rapport charge/Masse en fonction de la différence de potentiel

Comme conclusion on peut dire que l’application de faibles valeurs de différence de potentiel doit être compensée par une augmentation du rapport charge/masse des particules dans l’étage de chargement par triboélectrification. Et vice-versa c’est-à-dire si la performance du processus de chargement est très faible nous devons la compenser par une augmentation de la différence de potentiel dans l’étage de séparation électrostatique.

➤ **Expérience 3 : ($\Delta U = 60 \text{ kV}$; $\alpha = 4^\circ$)**

Dans l’expérience 3, nous avons réduit l’inclinaison des électrodes α à 4° . Pour une différence de potentiel $\Delta U = 60 \text{ kV}$; nous avons obtenus les résultats groupés dans le tableau 4.5. Dans cette expérience, nous avons remarqué que la diminution de l’inclinaison des électrodes provoque le recouvrement des cellules 1-3 et 10-12. La déviation maximale dans ce cas est de l’ordre de 0.12 m en valeur absolue.

Tableau 4.5 : Rapport Charge/Masse (nC/g) du produit récupéré dans les cellule du collecteur ($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

Position des cellules ($\pm 0.005 \text{ m}$)		Essais 01	Essais 02	Essais 03	Essais 04	Moyen
Min (m)	Max (m)					
1	-0,3	-0,2	-	-	-	-
2	-0,2	-0,16	-	-	-	-
3	-0,16	-0,12	-	-	-	-

4	-0,12	-0,08	4,99	5,16	6,79	12,29	7,31
5	-0,08	-0,04	5,17	7,35	9,01	9,99	7,88
6	-0,04	0	4,59	6,96	8,27	10,60	7,61
7	0	0,04	-0,83	-1,98	-2,98	-2,57	-2,09
8	0,04	0,08	-3,34	-4,54	-5,10	-6,48	-4,87
9	0,08	0,12	-3,44	-4,87	-4,35	-7,38	-5,01
10	0,12	0,16	-	-	-	-	-
11	0,16	0,2	-	-	-	-	-
12	0,2	0,3	-	-	-	-	-

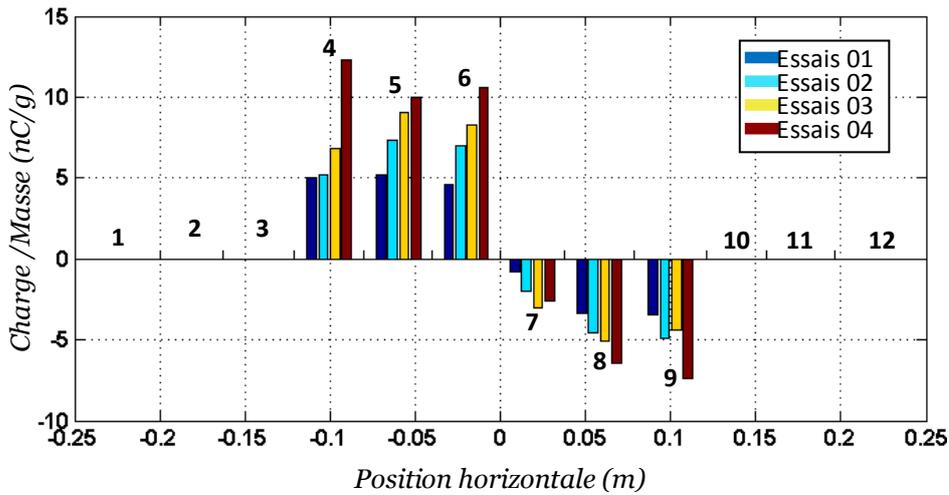


Figure 4.15 : Distribution du rapport charge /Masse du produit récupéré dans le collecteur (cellule 4-9)($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

La valeur mesurée du rapport charge/masse dans l'ensemble des cellules 4-6 est presque constante (Figure4.16) ; cette valeur est de l'ordre de 7.5nC/g. Il y a deux hypothèses les plus probables qui peuvent être utilisées pour expliquer ce phénomène :

La différence qui existe au niveau de la taille et la forme des particules ;

L'apparition des collisions particules/ électrode qui provoque le retour des particules caractérisées par un rapport Charge/Masse élevé vers les cellules du centre.

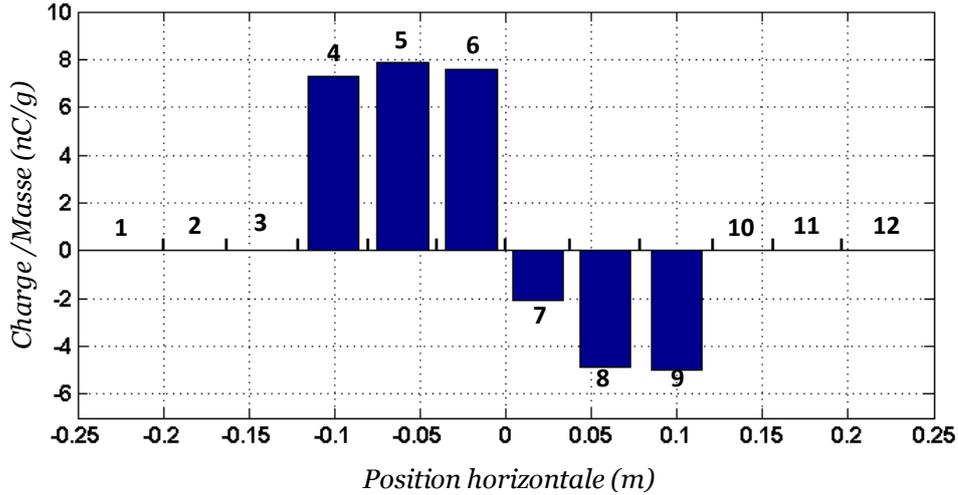


Figure 4.16 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellules (4-9)($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

On compare les deux côtés du collecteur (Figure 4.17) et on remarque que le rapport Charge/masse coté ABS est plus élevé que le rapport Charge/masse coté PVC. Ce phénomène a été observé dans tous les expériences.

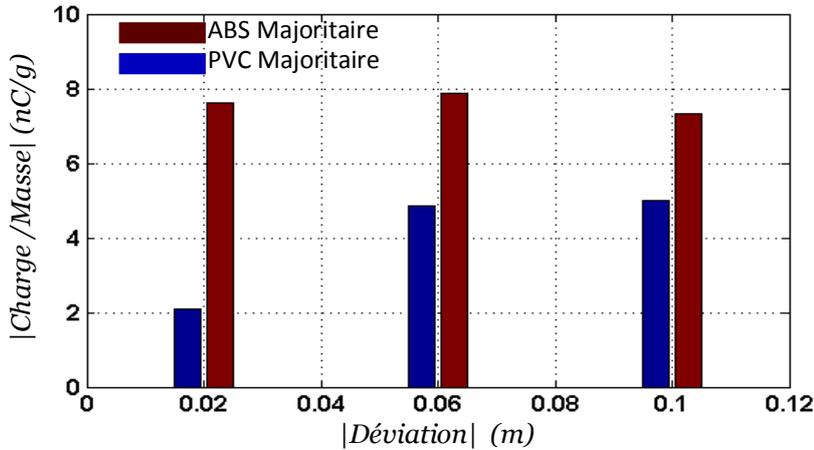


Figure 4.17 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellule (4-9)($\Delta U = 60 \text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

➤ **Expérience 4 :** ($\Delta U = 30 \text{ kV}$; $\alpha = 4^\circ$)

Dans cette expérience nous avons gardé la même valeur de l'inclinaison $\alpha = 4^\circ$ et nous avons diminué la tension appliquée aux électrodes pour obtenir une différence de potentiel de 30kV. Les résultats obtenus dans cette configuration sont groupés dans le tableau4.6. Le rapport Charge/masse obtenu dans les quatre essais est représenté graphiquement dans la figure 4.18. La moyenne de ces essais est représentée dans la figure 4.19.

Tableau4.6 : Rapport Charge/Masse (nC/g) du produit récupéré dans les cellules du collecteur ($\Delta U = 30\text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

Position des cellules ($\pm 0.005\text{ m}$)		Essais 01	Essais 02	Essais 03	Essais 04	Moyenne
N	Max (m)					
1	-0,2	-	-	-	-	-
2	-0,16	-	-	-	-	-
3	-0,12	-	-	-	-	-
4	-0,08	6,70	8,93	9,25	11,02	8,98
5	-0,04	7,26	7,56	9,34	12,31	9,12
6	0	2,02	6,40	1,98	8,16	4,64
7	0,04	-2,60	-1,02	-3,52	-0,60	-1,94
8	0,08	-5,18	-4,27	-6,95	-6,53	-5,73
9	0,12	-5,01	-5,36	-7,50	-6,69	-6,14
10	0,16	-	-	-	-	-
11	0,2	-	-	-	-	-
12	0,3	-	-	-	-	-

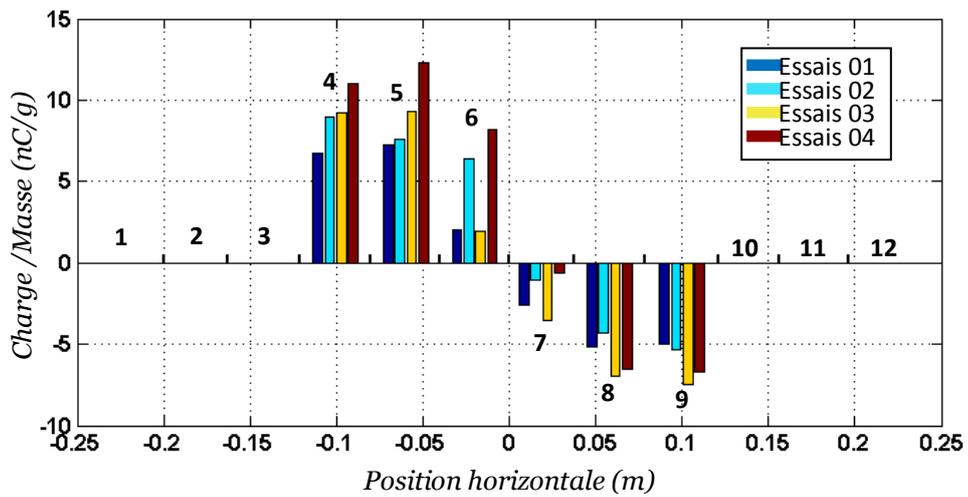


Figure 4.18 : Distribution du rapport charge /Masse du produit récupéré dans le collecteur (cellule 4-9)($\Delta U = 30\text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

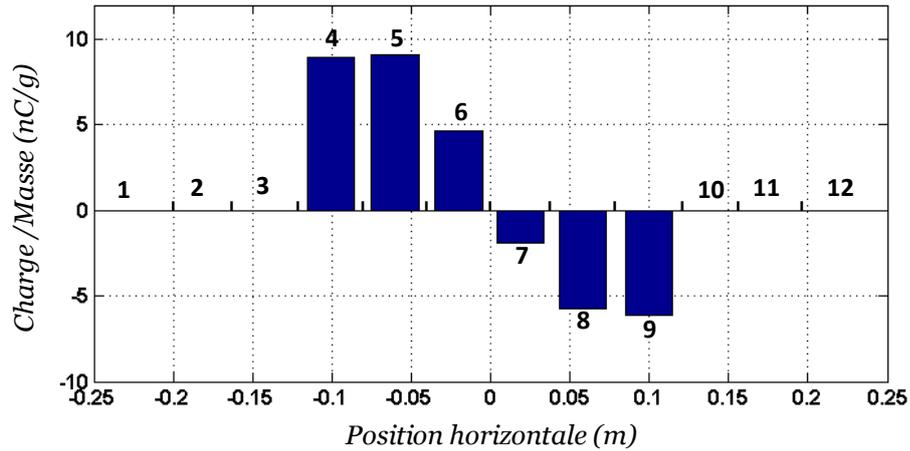


Figure 4.19 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellules (4-9) ($\Delta U = 30 \text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

Dans cette figure les particules caractérisées par un rapport Charge/masse de signe opposé sont récupérées dans les deux côtés de l’axe de symétrie de l’installation. Le rapport Charge/masse dans les cellules du côté gauche est plus élevé par rapport aux cellules du côté droit du collecteur (Figure 4.20).

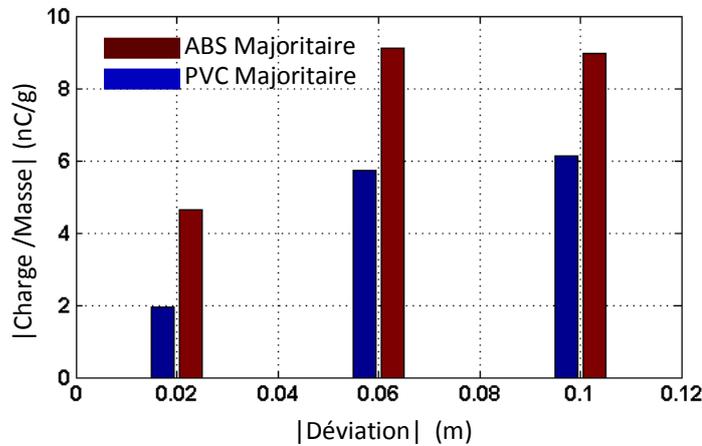


Figure 4.20 : Moyenne du rapport Charge/Masse du produit récupéré dans les cellules (4-9) ($\Delta U = 30 \text{ kV}$, $\alpha = 4^\circ$)

Dans cette expérience pour que les particules gardent la même valeur de la déviation (c’est-à-dire la même valeur de l’intensité de la force électrostatique suivant l’axe Ox) elles doivent composer la diminution de l’intensité du champ électrostatique par une augmentation de leurs charges massiques. La même remarque a été notée au cours de la comparaison des résultats obtenus dans l’expérience 1 et 2.

4.2

Pour valider le modèle théorique de la trajectoire des particules dans un séparateur à tapis convoyeur, nous avons appliqué la même procédure utilisée dans la validation du modèle de la trajectoire des particules dans un séparateur à chute libre. Cette procédure consiste à simuler le comportement de plusieurs particules. Dans chaque simulation les paramètres d'une particule sont choisis d'une façon aléatoire à partir des valeurs appartenant aux intervalles définies dans le tableau 4.14

Tableau 4.14 : *Plage de variation des paramètres de la particule utilisée dans la simulation*

Paramètre de la particule	M	M
Facteur de forme (-)	0,	1
Rayon de la particule (mm)	1	3
Masse de la particule (mg)	0,	4
Charge massique de la particule (uC/kg)	-1	15

Après la simulation nous avons regroupés les particules en fonction de leurs positions dans les cellules du collecteur. Ensuite nous avons calculé la charge massique du produit récupéré dans chaque cellule les résultats de simulation sont présentés dans le tableau 4.15. Pour quantifier l'erreur de simulation nous avons appliqué la même procédure utilisée dans le cas d'un séparateur à chute libre. (Voir section validation expérimentale §4.1.5)

Le tableau 4.15 nous montre un aperçu de la qualité du modèle de simulation utilisé dans la prédiction des données de l'expérience 6 qui représente la meilleure configuration expérimentale. Les données groupées dans le tableau 4.15 nous montrent que l'erreur du modèle est inférieure à 10% dans l'ensemble des cellules qui se trouvent entre 0cm et 16.5 cm.

Le même modèle donne une approximation de la charge massique avec une erreur inférieure à 20% dans une plage de $x = -20\text{cm}$ jusqu'à $x = 18\text{cm}$. En calculons la moyenne d'erreur sur tous les cellules c'est-à-dire de $x = -20\text{cm}$ jusqu'à $x = 20\text{cm}$ on obtient une erreur de 10.3%.

Tableau 4.15: *Comparaison entre résultats de simulation et résultats expérimentaux obtenus dans l'expérience 6*

<i>Centre des cellules (cm)</i>	$(Q/m)_{exp}$ (nC/g)	$(Q/m)_{sim}$ (nC/g)	<i>Erreur (%)</i>
-6,9	11,6	17,5	21,61
-4,1	7,5	13,9	23,44
-1,4	6,8	10,3	12,82
1,4	4,1	6,6	9,16
4,1	1,3	3,0	6,23
6,9	-2,2	-0,7	5,49
9,6	-6,3	-4,2	7,69
12,4	-9,6	-7,9	6,23
15,1	-10,5	-11,5	3,66
17,9	-9,5	-15,2	20,88
20,6	-11,5	-18,7	26,37
23,4	-13,6	-22,4	32,23
26,1	-12,1	-26,0	50,92
28,9	-15,7	-29,7	51,28
<i>Moyenne</i>			<i>19. 86%</i>

4.3 Conclusion

L'étude théorique et expérimentale montrent que la position des particules récupérées au niveau du collecteur d'un séparateur électrostatique est fortement liée au rapport charge/masse des particules et l'intensité du champ électrostatique.

L'étude du comportement des particules dans un séparateur à tapis roulant montre que l'utilisation des tensions de l'ordre de 60kV engendre une dispersion des particules dans une plage qui varie de -20 cm à 20cm au niveau du collecteur de l'installation. Le rapport charge/masse des particules récupérées aux extrémités du collecteur dans ce cas est de l'ordre de ± 5 à ± 10 $\mu\text{C}/\text{kg}$. L'étude réalisée montre aussi que l'utilisation des niveaux inférieurs de tension exige une augmentation des performances du processus de chargement triboélectrique pour atteindre des rapports Charges/masse plus élevé.

La comparaison entre les résultats théoriques et expérimentaux montre que le modèle théorique élaboré dans cette étude est capable de fournir des résultats qui sont

en concordance avec les résultats expérimentaux. L'analyse de la qualité des résultats théoriques montre d'autre part que l'erreur du modèle est inférieure à 10% autour du point associé à la récupération des produits de charge nulle. La valeur de cette erreur devient plus importante aux extrémités du collecteur de l'installation. Une diminution de l'erreur peut être obtenue par une prise en considération de d'autres phénomènes tels que l'interaction entre particules au cours de la séparation.