

THÈSE

Pour l'obtention du grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE POITIERS
UFR des sciences fondamentales et appliquées
Pôle poitevin de recherche pour l'ingénieur en mécanique, matériaux et énergétique - PPRIMME
(Poitiers)
(Diplôme National - Arrêté du 25 mai 2016)

École doctorale : Sciences et ingénierie en matériaux, mécanique, énergétique et aéronautique -
SIMMEA (Poitiers)
Secteur de recherche : Sciences pour l'ingénieur

Présentée par :
Ali Fatihou

Amélioration des performances des matériaux fibreux non-tissés chargés par décharge couronne utilisés pour la filtration de l'air

Directeur(s) de Thèse :
Lucian Dascalescu, Nouredine Zouzou

Soutenue le 12 octobre 2016 devant le jury

Jury :

Président	Jean-Hugues Paillol	Professeur des Universités, Université de Pau
Rapporteur	Laurentiu Marius Dumitran	Profesor, Universitatea politehnica din București
Rapporteur	Laurent Boudou	Maître de conférences, Université de Toulouse 3
Membre	Lucian Dascalescu	Professeur des Universités, Université de Poitiers
Membre	Nouredine Zouzou	Maître de conférences, Université de Poitiers

Pour citer cette thèse :

Ali Fatihou. *Amélioration des performances des matériaux fibreux non-tissés chargés par décharge couronne utilisés pour la filtration de l'air* [En ligne]. Thèse Sciences pour l'ingénieur. Poitiers : Université de Poitiers, 2016.
Disponible sur Internet <<http://theses.univ-poitiers.fr>>

THÈSE

pour l'obtention du Grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE POITIERS
(Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées)

(Diplôme National - Arrêté du 7 août 2006)

Ecole Doctorale : **Sciences et Ingénierie en Matériaux, Mécanique, Energétique et
Aéronautique**

Secteur de Recherche : Sciences pour l'ingénieur

Présentée par :

Ali FATIHOU

AMÉLIORATION DES PERFORMANCES DES MATÉRIAUX FIBREUX NON-TISSÉS CHARGÉS PAR DÉCHARGE COURONNE UTILISÉS POUR LA FILTRATION DE L'AIR

Directeurs de Thèse : Lucien DASCALESCU et Nouredine ZOOUZOU

Soutenue le 12 Octobre 2016

devant la Commission d'Examen

JURY

Jean-Hugues PAILLOL
Laurent BOUDOU
L. Marius DUMITRAN
Nouredine ZOOUZOU
Lucien DASCALESCU

Professeur, Université de Pau
Maître de conférences, Université Toulouse III
Professeur, Université polytechnique de Bucarest
Maître de conférences, Université de Poitiers
Professeur, Université de Poitiers

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur

Ce mémoire de thèse est dédié à :

Ma mère et mon père : Hikimati Attoumnani (Mastina) et Ali Saanda (Poropo) ;

Ma femme et mes enfants : Nathalie Salim (Maisaesse), Isaesse et Inaesse-Tsifanavi ;

Mes frères et sœurs : Stina (Mayssoufi), Mariama (Malopapa), Fatoumati (Mabogossi), Assiata (*Mamouch'ka*), Harithati (*Mazohra*), Natidja (*Maaïcha*), Nassabia (Makamel), Kassay, Taoikal-Ben et Boueni-Anfouza ;

Mes oncles et tantes : Madari, Mafaou, Masaïdi, Bamaandi, Madaouda, Maboutsi, Bamouhidine, Bob, Foundi Hamada, Daoudou, Pascal Bache, Bodé, Antufina et Samianti ;

Mes cousins et cousines : Tous les petits-enfants de Attoumani Hamada, Saanda Moussa et Assiata Mchindra ;

Mes neveux et nièces : Tous les petits-enfants de Mastina et Poropo ;

Mes beaux-parents : Manatali et Banatali ;

Mes beaux-frères et belles-sœurs : Melina, Raymina, Dayline, Michaël, Edayel et Aïcha ;

Mes amis : Anli Djamadar, Soilihi, Fahardine, Mouzdaïn, Kito, Mansour, Kabirou, Bellahy, *Bam'pa* et Zanatani de Barakani ;

Mes enseignants du primaire à l'université : Adidja Chanfi (CI), Zaman'bé (CP), Aïncha (CE1), Hamada (CE2), Hamada Toubou (CM1), Saïndou (CM2), Mme Caro (6^e), Mme Gotteland(5^e), M. Gommendy (4^e), Mme Deuss (3^e), M. Carpaye (2nd), M. Lock Yam Lam (1S), M. Molines (TS), M. Garcia (GEII1), M. J.M.Roussel (GEII2), M. Moreau (L3 ES), M. Zouzou (Master et Doctorat), et M. Dascalescu (Doctorat) ;

Mes enseignants de l'école coranique : Baboudou et Maboudou Djanffar et Bamouhidine ;

À la mémoire de :

Mes grands-mères : Echat Sélémani (1934-1975) et Assiata Mchindra (1911-2013) ;

Mes grands-pères : Saanda Moussa (1916-1993) et Attoumani Hamada (1938 – 2008) ;

Mes oncles et tantes : Thanay Saanda (1971-1981), Sarati Saanda (1962-1982), Wassilati Saanda (1969-1984), Halidi Saanda (1959-2013), Soula Attoumani (1945-1994)...;

Mes frères et sœurs aînés : Assiata Ali Saanda (1976-1976), Saïndou Ali Saanda (1977-1977) et Adidja Ali Saanda (1977-1977) ;

Ma fille aînée : Cherine Fatihou (02/09/2012-02/09/2012).

L'Homme est confronté à faire des choix dans sa vie, peu importe le choix qu'il prenne il n'est jamais perdant, il apprend ou il gagne.

Ali Fatihou

REMERCIEMENTS

Il est connu que les doigts de la main participent toujours ensemble à la réalisation d'un œuvre, c'est pour cela je tiens à remercier de près ou de loin les personnes qui ont contribué à l'avancement et à l'aboutissement de ce travail.

Je voudrais tout d'abord exprimer mes sincères reconnaissances envers Messieurs Laurent BOUDOU et Laurentiu Marius DUMITRAN, pour avoir manifesté un grand intérêt pour le sujet en acceptant d'être rapporteurs de cette thèse. Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Jean-Hugues PAILLOL pour avoir accepté d'examiner la thèse.

Je tiens également à saluer l'investissement du conseil départemental de Mayotte dans mes différents projets scolaires et universitaires du lycée jusqu'au cycle doctoral. Je rends un majestueux hommage au travail d'encadrement et aux qualités humaines et scientifiques de mes directeurs de thèses Messieurs Noureddine ZOUZOU et Lucien DASCALESCU. Vous m'avez aidé à surmonter les aléas de la vie et toujours orienté vers mes objectifs principaux.

Je voudrais également saluer la sagesse de Monsieur Gérard TOUCHARD, Professeur Emérite de l'Université de Poitiers. Je tiens à lui remercier pour les différents moments passés au laboratoire, chez lui et aux différents congrès de la SFE. Mes remerciements s'adressent aussi à tous les membres de l'institut Pprime, les enseignants chercheurs (Hubert ROMAT, Eric MOREAU, Thierry PAILLAT, Christophe LOUSTE, Nicolas BENARD, ...), les ingénieurs et techniciens (Laurent DUPUIS, Christian REFFIN, Olivier NEGROS, Yvan JOLIT, Francis BOISSONEAU, Patrick BRAUD, Jean Marc MOUGENOT, ...), sans oublier mes collègues (Arthur, Paul, Stanley, Emmanuel, Clément, Ayyoub, Fouad, Thomas, Bogdan, Yopa et Sara...), ainsi que les stagiaires (Etienne, Augustin, Adriana, Gheorge, Ida et Nuhurul , ...).

Mes remerciements vont tout droit à ma famille. D'abord à mes parents qui ont été patients. À défaut de formations techniques et scientifiques à Mayotte, j'ai été contraint de quitter mon île pour poursuivre mes études loin de mes parents. Cela fait déjà 15 ans !! Un proverbe africain résume bien la situation : « si la personne partie puiser l'eau n'est pas de retour, c'est que les calebasses ne sont pas encore remplies ». Je remercie profondément Anli DJAMADAR pour tous les conseils qu'il m'a donné du collège à l'université sur mes différents cursus. Je salue le soutien et l'encouragement de mes grandes sœurs Mariama, Fatoumati et Assiata. Vous m'avait fait savoir que l'estime d'une famille passe par l'éducation et l'exemplarité des aînés. Mes frères je vous dis : « il ne faut pas enfoncer des portes déjà ouvertes ».

Je termine mes remerciements en ayant une pensée particulière à mon grand-père Attoumani HAMADA qui a appris à ma mère à travailler dur pour être indépendante et subvenir aux besoins de ses enfants. Je remercie ma mère et mon père pour l'enseignement morale et humaine qu'ils m'ont donné, et enfin ma femme qui a su me soutenir et supporter tout au long de mes études universitaires. Grâce à toi je suis ce que je suis aujourd'hui. "Alhamdoulillah".

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	IX
TABLE DES FIGURES.....	XIII
TABLE DES TABLEAUX.....	XXI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	3
I. ETAT DE L'ART	7
I.1. MEDIAS FILTRANTS NON-TISSES	9
I.1.1. Définition et historique	9
I.1.2. Techniques de fabrication des médias non-tissés	10
I.1.3. Mécanismes physiques de la filtration	17
I.1.4. Facteurs influant la filtration de particules	26
I.2. CARACTERISATION DES MEDIAS FILTRANTS	30
I.2.1. Techniques de charge des médias.....	30
I.2.2. <i>Caractérisation de l'état de charge des médias</i>	34
I.2.3. Caractérisation électrique des diélectriques	36
I.2.4. Représentation des données	38
I.2.5. <i>Caractérisation de l'efficacité de la collecte</i>	40
I.3. SYNTHESE DES TRAVAUX ANTERIEURS A LA THESE	42
I.3.1. Etat de charge des medias fibreux chargés par décharge couronne	42
I.3.2. Efficacité de collecte des medias fibreux chargés par décharge couronne	43
CONCLUSION.....	44
II. INSTALLATIONS EXPERIMENTALES	47
II.1. SYSTEMES DE CHARGE ELECTRIQUE DES MEDIAS FILTRANTS	49
II.1.1. Décharge couronne fil – plan	49
II.1.1.1. Installation expérimentale.....	50
II.1.1.2. Résultats et interprétations des mesures.....	52
II.1.2. Décharge couronne triode (fil – grille – plan).....	59
II.1.2.1. Installation expérimentale.....	59
II.1.2.2. Résultats et interprétations des mesures.....	60
II.1.3. <i>Résumé de l'étude de caractérisation</i>	68
II.2. PREMIER BANC POUR LA CARACTERISATION DE L'ETAT DE CHARGE DES MEDIAS FILTRANTS.....	68
II.2.1. Description du premier banc expérimental.....	68
II.2.1.1. Poste de charge	69
II.2.1.2. Poste de mesure.....	71
II.2.1.3. Échantillons	72
II.2.2. <i>Limites d'utilisation du premier banc expérimental</i>	73
II.2.2.1. Configuration expérimentale.....	73
II.2.2.2. Résultats et interprétations des mesures.....	74
II.2.3. Informations importantes du premier banc expérimental	75
II.3. DEUXIEME BANC POUR LA CARACTERISATION DE L'ETAT DE CHARGE DES MEDIAS FILTRANTS	75
II.3.1. Description du deuxième banc expérimental	75
II.3.1.1. Postes de charge et de mesure	76

II.3.1.2. Acquisition et sauvegarde des données.....	77
II.3.2. Particularité d'utilisation du deuxième banc expérimental	78
II.3.3. Informations importantes du deuxième banc expérimental.....	78
II.4. BANC POUR LA CARACTERISATION DE L'EFFICACITE DE COLLECTE	79
II.4.1. Description de l'ensemble du banc d'étude d'efficacité de collecte	79
II.4.2. Description de l'impacteur électrique basse pression	81
II.4.2.1. Principe de fonctionnement de l'impacteur électrique basse pression.....	82
II.4.2.2. Exemples d'applications utilisant l'impacteur électrique basse pression.....	82
II.4.2.3. Techniques de mesure des concentrations de particules	83
II.4.3. Informations importantes du banc de caractérisation de l'efficacité	86
CONCLUSION.....	86
III. PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX	87
III.1. MESURE DE POTENTIEL DE SURFACE EN REGIME « STATIQUE »	89
III.1.1. Influence de la géométrie des électrodes et des hauteurs h et d.....	89
III.1.1.1. Description du dispositif de test.....	89
III.1.1.2. Résultats des mesures et interprétations	90
III.1.2. Détermination de l'ouverture latérale de la sonde	91
III.1.2.1. Description de la procédure expérimentale.....	91
III.1.2.2. Résultats et interprétations.....	92
III.2. MESURE DE POTENTIEL DE SURFACE EN REGIME « DYNAMIQUE »	94
III.2.1. Influence de la fréquence F_e et de la vitesse de balayage V_b	95
III.2.1.1. Description de la procédure expérimentale.....	95
III.2.1.2. Résultats et interprétations.....	95
III.2.2. Conditions limites d'utilisation de la sonde.....	99
III.2.2.1. Description de la procédure expérimentale.....	99
III.2.2.2. Résultats et interprétations	100
III.3. MESURE DE LA CHARGE ELECTRIQUE GLOBALE ET DE L'EFFICACITE DE COLLECTE.....	102
III.3.1. Mesure de la charge électrique globale	102
III.3.1.1. Configuration expérimentale et protocole de mesure	102
III.3.1.2. Résultats et interprétations.....	103
III.3.2. Mesure de l'efficacité de collecte.....	104
III.3.2.1. Configuration expérimentale	104
III.3.2.2. Méthode de calcul de l'efficacité de collecte	106
CONCLUSION.....	109
IV. ÉTUDE DE L'ÉTAT DE CHARGE DES MÉDIAS FILTRANTS NON-TISSÉS EN POLYPROPYLENE	111
IV.1. ETUDE DES PARAMETRES ELECTRIQUES	113
IV.1.1. Caractérisation du média	113
IV.1.1.1. Protocole et configuration expérimentale.....	114
IV.1.1.2. Résultats des mesures et interprétations	114
IV.1.2. Influence des paramètres électriques	116
IV.1.2.1. Influence de la polarité.....	117
IV.1.2.2. Influence du temps de charge T_c	121
IV.1.2.3. Influence du potentiel source V_s	125
IV.1.2.4. Influence de la résistance de grille R_g	129
IV.2. ETUDE DES PARAMETRES GEOMETRIQUES	130
IV.2.1. Influence des paramètres liés au système de génération de charge	132

IV.2.1.1. Influence de la distance fil – grille D_g	132
IV.2.1.2. Influence de la distance grille – média D_m	134
IV.2.2. Influence du mode de charge	136
IV.2.2.1. Comparaison mode statique - mode balayage.....	136
IV.2.2.2. Influence de la vitesse de balayage V_b	137
IV.3. ETUDE D'AUTRES FACTEURS INFLUENTS L'ETAT DE CHARGE DES MEDIAS.....	138
IV.3.1. <i>Géométrie de l'électrode</i>	138
IV.3.1.1. Influence du potentiel de grille V_g	139
IV.3.1.2. Influence de la distance fil – grille D_g	140
IV.3.2. Nature du média utilisé.....	140
IV.3.2.1. Etat de charge des médias non-tissés en polypropylène	141
IV.3.2.2. Echantillons multicouches.....	143
CONCLUSIONS	144
V. ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DE COLLECTE DES MÉDIAS FILTRANTS CHARGÉS PAR DÉCHARGE COURONNE.....	147
V.1. CARACTERISATION DE L'EFFICACITE DE COLLECTE.....	149
V.1.1. Distribution granulométrique.....	149
V.1.2. Efficacité de collecte sans dépôt de charges	150
V.1.3. Efficacité de collecte avec dépôt de charges	152
V.2. INFLUENCE DES PARAMETRES ELECTRIQUES SUR L'EFFICACITE DE COLLECTE	153
V.2.1. Etude de la polarité	153
V.2.2. Durée de la décharge couronne T_c	157
V.2.3. Résistance de grille R_g	157
V.3. INFLUENCE DES PARAMETRES GEOMETRIQUES SUR L'EFFICACITE DE COLLECTE	160
V.3.1. Distance fil- grille D_g	161
V.3.2. Distance grille – média D_m	163
V.3.3. Mode de charge des médias	165
V.4. AUTRES FACTEURS INFLUANT L'EFFICACITE DE COLLECTE.....	168
V.4.1. Débit de filtration de particules.....	168
V.4.2. Lot des échantillons	169
V.4.3. <i>Masse de l'échantillon (grammage)</i>	170
V.4.4. Empilement des échantillons (multicouches)	171
V.4.5. <i>Durée d'exposition de l'échantillon</i>	174
CONCLUSION.....	177
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	181
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	187
LISTE DES PUBLICATIONS	197

TABLE DES FIGURES

FIGURE 0.1 : CONFIGURATION GENERALE DE L'ARBRE RESPIRATOIRE DE L'HOMME [2]	3
FIGURE 0.2 : MEDIA NON-TISSES POUR LA FILTRATION DE L'AIR [3]	4
FIGURE I.1 : (A) PRODUCTION DES NON-TISSES DANS L'UNION EUROPEENNE DE 1996 A 2011 ET (B) SEGMENTATION DU MARCHÉ DES NON-TISSES EN EUROPE EN 2011 [8]	10
FIGURE I.2 : PROCESSUS DE FABRICATION D'UN MEDIA NON-TISSE PAS VOIE SECHE [8]	11
FIGURE I.3 : PROCESSUS DE FABRICATION D'UN MEDIA NON-TISSE PAS VOIE FONDUE [27]	12
FIGURE I.4 : PROCESSUS DE FABRICATION D'UN MEDIA NON-TISSE PAS VOIE HUMIDE [8]	13
FIGURE I.5 : CONSOLIDATION MECANIQUE DE LA VOILE PAR AIGUILLETAGE [8]	14
FIGURE I.6 : CONSOLIDATION THERMIQUE DE LA VOILE PAR CALANDRAGE [8]	14
FIGURE I.7 : CONSOLIDATION CHIMIQUE DE LA VOILE PAR IMPREGNATION [8]	15
FIGURE I.8 : MEDIAS NON-TISSES OBTENUS PAR DIFFERENTS PROCEDES [27]	16
FIGURE I.9 : (A) EFFICACITE FRACTIONNAIRE DE COLLECTE ET (B) PENETRATION DE PARTICULES POUR UN FILTRE MECANIQUE EN FONCTION DU DIAMETRE DE PARTICULE d_p [19]	18
FIGURE I.10 : MECANISME DE CAPTURE PAR DIFFUSION [47]	22
FIGURE I.11 : MECANISME DE CAPTURE PAR INTERCEPTION DIRECT [47]	23
FIGURE I.12 : MECANISME DE CAPTURE PAR IMPACTION INERTIELLE [47]	23
FIGURE I.13 : INFLUENCE DU DIAMETRE DES FIBRES SUR (A) L'EFFICACITE DE COLLECTE ET SUR (B) LA PERTE DE CHARGE [23]	28
FIGURE I.14 : INFLUENCE DE L'EPaisseur DU MEDIA SUR (A) L'EFFICACITE DE COLLECTE ET SUR (B) LA PERTE DE CHARGE [23]	29
FIGURE I.15 : INFLUENCE DE LA COMPACTITE DU MEDIA SUR (A) L'EFFICACITE DE COLLECTE ET SUR (B) LA PERTE DE CHARGE [23]	29
FIGURE I.16 : DIFFERENTES CONFIGURATIONS GEOMETRIQUES DE DECHARGE COURONNE.	31
FIGURE I.17 : PRINCIPE DE CHARGE PAR DECHARGE COURONNE POINTE – PLAN, POLARITE POSITIVE CONTINUE.	32
FIGURE I.18 : DIFFERENTS DISPOSITIFS DE CONFIGURATION TRIODE A PARTIR D'UNE CONFIGURATION POINTE – PLAN.	33
FIGURE I.19 : FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE CHARGE TRIODE (ELECTRODE DUALE + GRILLE + PLAN DE MASSE)..	34
FIGURE I.20 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE SONDE CAPACITIVE	37
FIGURE I.21 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE SONDE MOULIN A CHAMP [3]	37
FIGURE I.22 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE SONDE A CONDENSATEUR VIBRANT [76]	38
FIGURE I.23 : REPRESENTATION DE LA MESURE DU POTENTIEL DE SURFACE DANS LE TEMPS SELON DEUX METHODES, FILMS EN POLYPROPYLENE CHARGES PAR DECHARGE COURONNE, $V_0 = -2$ kV [64].	40
FIGURE I.24 : CLASSIFICATION DES FILTRES EN FONCTION DE L'EFFICACITE, DE LA PERTE DE CHARGE ET DE LA GRANULOMETRIE [81]	42
FIGURE II.1 : EXEMPLES DE SYSTEMES DE CHARGE ELECTRIQUE DES MEDIAS FILTRANTS PAR DECHARGE COURONNE.	49
FIGURE II.2 : INSTALLATION EXPERIMENTALE UTILISEE POUR LA CARACTERISATION DE LA DECHARGE COURONNE DANS UNE CONFIGURATION « FIL – PLAN ». (A) SYSTEME D'ELECTRODES ; (B) ALIMENTATIONS ELECTRIQUES ; (C) APPAREIL DE MESURE DE COURANT ; (D) LE MEDIA FILTRANT.	50
FIGURE II.3 : (A) PLAQUE UTILISEE POUR LA CARACTERISATION DE LA DISTRIBUTION DU COURANT. (B) MULTIMETRE DE MESURE.	51

FIGURE II.4 : CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION EN ABSENCE DU MEDIA. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, DISTANCE FIL – PLAN DE MASSE $D_F = 20$ MM, $T = 22^\circ\text{C}$ ET $HR = 53\%$	52
FIGURE II.5 : PHOTOGRAPHIES D’UNE DECHARGE COURONNE POSITIVE ET NEGATIVE : (A) $V_s = 0$ kV, (B) $V_s = - 8$ kV, (C) $V_s = + 8$ kV. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, $D_F = 9$ MM, $T = 24^\circ\text{C}$ ET $HR = 50\%$..	53
FIGURE II.6 : CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION EN PRESENCE ET EN ABSENCE DU MEDIA. (A) POLARITE POSITIVE ; (B) POLARITE NEGATIVE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_F = 20$ MM, $T = 22^\circ\text{C}$ ET $HR = 53\%$	54
FIGURE II.7 : INFLUENCE DE LA TAILLE DE L’ECHANTILLON. (A) VARIATIONS DE L SUIVANT L’AXE x ; (B) VARIATIONS DE L SUIVANT L’AXE y . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, POLARITE POSITIVE, LOT 1, L ET L REPRESENTENT RESPECTIVEMENT LA LARGEUR ET LA LONGUEUR DE L’ECHANTILLON, $D_F = 20$ MM, $T = 24^\circ\text{C}$ ET $HR = 36\%$	55
FIGURE II.8 : INFLUENCE DE LA DUREE DE LA DECHARGE COURONNE T_C EN ABSENCE (A) ET EN PRESENCE (B) DU MEDIA. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, LOT 1, $L = L = 100$ MM, $D_F = 10$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 44\%$	55
FIGURE II.9 : (A) DISTRIBUTION DE COURANT SUIVANT LA POSITION x EN FONCTION DE D_F POUR V_s CONSTANT ; (B) COURBES NORMALISEES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, POLARITE POSITIVE, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, $T = 25^\circ\text{C}$ ET $HR = 47\%$, $V_s = 22,8$ kV.	57
FIGURE II.10 : (A) DISTRIBUTION DE COURANT SUIVANT L’AXE DES x POUR UNE DENSITE DE COURANT J_{M0} CONSTANTE ; (B) COURBES NORMALISEES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, $T = 25^\circ\text{C}$ ET $HR = 47\%$, $J_{M0} = 0,0118$ $\mu\text{A}/\text{MM}^2$	58
FIGURE II.11 : INFLUENCE DE LA POLARITE SANS MEDIA (A) ET DE LA PRESENCE DU MEDIA EN POLARITE POSITIVE (B) SUR LA DISTRIBUTION DE COURANT SUIVANT LA POSITION x POUR V_s CONSTANT. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – PLAN, LOT 1, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.....	59
FIGURE II.12 : INSTALLATION EXPERIMENTALE POUR LA CARACTERISATION DE LA DECHARGE COURONNE DANS UNE CONFIGURATION D’ELECTRODES « FIL – GRILLE - PLAN ». (A) SYSTEME D’ELECTRODES ; (B) ALIMENTATION A HAUTE TENSION ; (C) INSTRUMENT DE MESURE ; (D) ASPECT DE L’ELECTRODE GRILLE.....	60
FIGURE II.13 : INFLUENCE DE LA POLARITE EN ABSENCE DU MEDIA. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – GRILLE – PLAN, $R_G = 20$ M Ω , LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 22^\circ\text{C}$ ET $HR = 53\%$.	61
FIGURE II.14 : INFLUENCE DE LA PRESENCE DU MEDIA EN POLARITE POSITIVE (A) ET NEGATIVE (B). CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – GRILLE – PLAN, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $R_G = 20$ M Ω , $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 22^\circ\text{C}$ ET $HR = 53\%$	62
FIGURE II.15 : INFLUENCE DU MODE DE CHARGE EN ABSENCE (A) ET EN PRESENCE (B) DU MEDIA. CONDITIONS EXPERIMENTALES : POLARITE POSITIVE, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $R_G = 20$ M Ω , $D_G = D_M = 10$ MM, $D_F = 20$ MM, $T = 22^\circ\text{C}$ ET $HR = 53\%$	63
FIGURE II.16 : DISTRIBUTION DE COURANT SUIVANT LA POSITION x POUR V_s CONSTANT, A POLARITE POSITIVE (A) ET NEGATIVE (B). CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – GRILLE – PLAN, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $R_G = 20$ M Ω , $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.....	64
FIGURE II.17 : (A) DISTRIBUTION DE COURANT SUIVANT LA POSITION x EN FONCTION DE D_M POUR V_s CONSTANT ; (B) COURBES NORMALISEES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – GRILLE – PLAN, POLARITE POSITIVE, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, $R_G = 20$ M Ω , $D_G = 10$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.	64
FIGURE II.18 : (A) DISTRIBUTION DE COURANT SUIVANT LA POSITION x EN FONCTION DE D_G POUR V_s CONSTANT ; (B) COURBES NORMALISEES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – GRILLE – PLAN, POLARITE POSITIVE, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, $R_G = 20$ M Ω , $D_M = 10$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.	65

FIGURE II.19 : INFLUENCE DE R_G SUR LE COURANT DE GRILLE I_G ET SUR LA DENSITE DU COURANT TOTAL J_{MT} (A) ET LA DENSITE DU COURANT PARTIEL J_{MP} (B). CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION FIL – GRILLE – PLAN, POLARITE POSITIVE, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.....	66
FIGURE II.20 : INFLUENCE DU MODE DE CHARGE SUR LA DISTRIBUTION DU COURANT EN ABSENCE (A) ET EN PRESENCE (B) DU MEDIA. CONDITIONS EXPERIMENTALES : POLARITE POSITIVE, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE LARGEUR $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $D_F = 20$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.....	67
FIGURE II.21 : COURBES NORMALISEES DE LA DISTRIBUTION DE LA DENSITE DE COURANT J_M EN ABSENCE (A) ET EN PRESENCE (B) DU MEDIA. CONDITIONS EXPERIMENTALES : POLARITE POSITIVE, CAPTEUR DE COURANT (UNE LAME) DE $L_s = 2$ MM ET DE LONGUEUR $L_s = 50$ MM, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $R_G = 20$ M Ω , $D_G = D_M = 10$ MM, $D_F = 20$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.....	67
FIGURE II.22 : DISPOSITIF GENERAL DU PREMIER BANC EXPERIMENTAL.	69
FIGURE II.23 : (A) PHOTOGRAPHIE ET (B) REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSTE DE CHARGE DU PREMIER BANC EXPERIMENTAL ; A : ELECTRODE « DUAL » ; B GRILLE METALLIQUE ; C : ECHANTILLON ; D : ELECTRODE PLANE LIEE A LA TERRE.....	70
FIGURE II.24 : SYSTEME DE CONVOYAGE DU PREMIER BANC EXPERIMENTAL.....	71
FIGURE II.25 : (A) PHOTOGRAPHIE ET (B) REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSTE DE MESURE DE POTENTIEL DE SURFACE DU PREMIER BANC EXPERIMENTAL.....	72
FIGURE II.26 : PHOTOGRAPHIE DU MEDIA NON-TISSE EN POLYPROPYLENE.....	73
FIGURE II.27 : CARACTERISATION DE LA SONDE AVEC LE PREMIER BANC EXPERIMENTAL.	74
FIGURE II.28 : IMPACT DE LA FREQUENCE D'ACQUISITION SUR LA MESURE DU POTENTIEL DE SURFACE AVEC L'ELECTRODE #1 (A) ET DE L'ELECTRODE #2 (B). CONDITIONS EXPERIMENTALES : $V_s = 874$ V.....	74
FIGURE II.29 : DEUXIEME BANC EXPERIMENTAL POUR LA CARACTERISATION DE L'ETAT DE CHARGE DES MEDIAS FILTRANTS.	75
FIGURE II.30 : (A) PHOTOGRAPHIE ET (B) REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSTE DE CHARGE ET MESURE DE POTENTIEL DE SURFACE DU DEUXIEME BANC EXPERIMENTAL.	76
FIGURE II.31 : PANNEAU FRONTAL DU LOGICIEL D'ACQUISITION DU DEUXIEME BANC EXPERIMENTAL.	77
FIGURE II.32 : BANC EXPERIMENTAL POUR LES MESURES DE CHARGE ET EFFICACITE DE COLLECTE ; (A) : DISPOSITIF DE CHARGE ; (B) MESURE DE POTENTIEL ELECTRIQUE DE SURFACE ; (C) MESURE DE CHARGE ELECTRIQUE ; (D) MESURE DE L'EFFICACITE DE COLLECTE.	80
FIGURE II.33 : SCHEMA DU CHARGEUR ET DES ETAGES DE L'IMPACTEUR ELPI+.....	82
FIGURE II.34: ELPI+ ET CASSETTE CONTENANT LES PLAQUES D'IMPACTION	83
FIGURE II.35: (A) CHAMBRE DE CHARGEMENT DES PARTICULES ET (B) PASTILLE DE COLLECTE DE PARTICULES	84
FIGURE III.1 : DISPOSITIF EXPERIMENTAL POUR LA CARACTERISATION DE LA SONDE EN MODE STATIQUE.....	90
FIGURE III.2: EVOLUTION DU POTENTIEL DE SURFACE V_{ps} DE LA SONDE EN FONCTION DE LA POSITION x (A) ET DE LA HAUTEUR h (B). CONDITIONS EXPERIMENTALES : ELECTRODE # 1, $V_s = 875$ V, RESOLUTION SPATIALE DE MESURE = 0,1 MM.....	90
FIGURE III.3: (A) POTENTIEL DE SURFACE V_{ps} EN FONCTION DE LA POSITION x POUR DIFFERENTES ELECTRODES POLARISEES POUR $d = 5$ MM ET 3 MM ; (B) ECART RELATIF DU POTENTIEL DE SURFACE EN POURCENTAGE POUR $d = 5$ MM ET $d = 3$ MM. CONDITIONS EXPERIMENTALES : ELECTRODE # 1 ($\phi = 0,2$ MM), ELECTRODE # 2 ($\phi = 0,4$ MM), ELECTRODE # 3 ($L = 40$ MM), $V_s = 875$ V, MESURE POINT PAR POINT TOUTS LES 2 SECONDES AVEC UNE RESOLUTION SPATIALE DE 0,1 MM.	91
FIGURE III.4: CONFIGURATION EXPERIMENTALE POUR LA DETERMINATION DE L'OUVERTURE LATERALE λ DE LA SONDE	92
FIGURE III.5: DETERMINATION THEORIQUE DE L'OUVERTURE LATERALE λ DE LA SONDE PAR MESURE DU POTENTIEL DE SURFACE EN FONCTION DE LA POSITION x DE LA SONDE.....	93

FIGURE III.6: INFLUENCE DE LA LARGEUR DE L'ELECTRODE L (A), DE LA HAUTEUR H (B), ET DU POTENTIEL SOURCE V_s (C) SUR L'OUVERTURE LATÉRALE λ DE LA SONDE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : (A) $V_s = 1 \text{ kV}$, $H = 3 \text{ mm}$, (B) $V_s = 1 \text{ kV}$, $L = 20 \text{ mm}$, ET (C) $H = 3 \text{ mm}$, $L = 20 \text{ mm}$.	94
FIGURE III.7: CONFIGURATION EXPERIMENTALE POUR LA CARACTERISATION DE LA SONDE EN MODE DYNAMIQUE	95
FIGURE III.8: COMPARAISON DU POTENTIEL DE SURFACE V_{sp} EN FONCTION DE LA POSITION X DE LA SONDE EN MODE DYNAMIQUE ET EN MODE STATIQUE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : $V_s = 1 \text{ kV}$, $F_e = 1 \text{ Hz}$.	96
FIGURE III.9: COMPARAISON DU POTENTIEL DE SURFACE V_{sp} EN FONCTION DE LA POSITION X DE LA SONDE EN MODE DYNAMIQUE ET EN MODE STATIQUE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : $V_s = 1 \text{ kV}$, $V_b = 14,28 \text{ mm.s}^{-1}$	97
FIGURE III.10: RESOLUTION SPATIALE K EN FONCTION DE LA VITESSE DE BALAYAGE V_b (A) ET DE LA FREQUENCE D'ACQUISITION (B). CONDITIONS EXPERIMENTALES : (A) $F_e = 1 \text{ Hz}$, (B) $V_b = 14,28 \text{ mm.s}^{-1}$, $V_s = 1 \text{ kV}$.	98
FIGURE III.11: CONFIGURATION EXPERIMENTALE POUR LA CARACTERISATION DE LA LIMITE DE LA SONDE	99
FIGURE III.12: INFLUENCE DE LA RESOLUTION SPATIALE K PAR MESURE DU POTENTIEL DE SURFACE V_{sp} EN FONCTION DE LA POSITION X DE LA SONDE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : (A) – (C) PLAQUE # 1, (D) – (F) PLAQUE # 2, (G) – (I) PLAQUE # 3, SIGNAL DE REFERENCE OBTENUE AVEC UNE RESOLUTION SPATIALE $K_{REF} = 0,06 \text{ mm}$ ($F_e = 240 \text{ Hz}$), $V_s = 1 \text{ kV}$, $V_b = 14,28 \text{ mm.s}^{-1}$.	101
FIGURE III.13: CONFIGURATION EXPERIMENTALE POUR LA MESURE DE CHARGE ELECTRIQUE GLOBALE	103
FIGURE III.14: CORRELATION ENTRE LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE ET LA MESURE DE LA CHARGE ELECTRIQUE GLOBALE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : SYSTEME TRIODE, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 27^\circ\text{C}$, $HR = 54\%$, LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$.	104
FIGURE III.15: CONFIGURATION EXPERIMENTALE POUR L'EFFICACITE DE COLLECTE	105
FIGURE III.16: (A) EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE PARTICULES DANS LE TEMPS. (B) DISTRIBUTION DE PARTICULES PAR CLASSE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : DEBIT DES PARTICULES POLLUEES $Q_p = 1,9 \text{ L.min}^{-1}$, $T = 22\%$, $HR = 35\%$.	107
FIGURE III.17: SCHEMA SIMPLIFIE DE LA MESURE D'EFFICACITE DE COLLECTE	108
FIGURE III.18: MESURE D'EFFICACITE DE COLLECTE ETAGE 7 SANS DEPOT DE CHARGES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, DEBIT DES PARTICULES POLLUEES $Q_p = 1,9 \text{ L.min}^{-1}$, $T = 22\%$, $HR = 36\%$.	108
FIGURE IV.1 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE AVEC LES PARAMETRES ELECTRIQUES ETUDIES.	113
FIGURE IV.2 : DECLIN DU POTENTIEL DE SURFACE POUR UNE DUREE D'UNE HEURE. (A) VALEURS BRUTES ET (B) VALEURS NORMALISEES. CONDITION EXPERIMENTALES : $V_s = 9,9 \text{ kV}$, $V_g = 1 \text{ kV}$, LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.	114
FIGURE IV.3 : (A) DECLIN ET (B) PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE POUR UNE DUREE DE 70 H. CONDITION EXPERIMENTALES : $V_s = 9,9 \text{ kV}$, $V_g = 1 \text{ kV}$, LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.	116
FIGURE IV.4 : EFFET DE LA POLARITE SUR LE DECLIN DU POTENTIEL DE SURFACE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : $V_g = 1 \text{ kV}$, $V_s = +11,6 \text{ kV}$ POUR LA POLARITE POSITIVE, ET $V_s = -10,1 \text{ kV}$ POUR LA POLARITE NEGATIVE, LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.	117
FIGURE IV.5 : EFFET DE LA POLARITE SUR LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : $V_g = 1 \text{ kV}$, $V_s = +11,6 \text{ kV}$ POUR LA POLARITE POSITIVE, ET $V_s = -10,1 \text{ kV}$ POUR LA POLARITE NEGATIVE, LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.	118
FIGURE IV.6 : EFFET DE LA POLARITE SUR LE DECLIN ET LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : $V_g = 4 \text{ kV}$, $V_s = +18,1 \text{ kV}$ POUR LA POLARITE POSITIVE, ET $V_s = -15,7 \text{ kV}$ POUR LA POLARITE NEGATIVE, LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.	119
FIGURE IV.7 : COMPARAISON DES DEUX POLARITES SUIVANT LE CAS DE CONFIGURATION DE LA DECHARGE COURONNE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : $V_g = 1 \text{ kV}$ ET 4 kV , LOT 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.	121

FIGURE IV.8 : INFLUENCE DU TEMPS DE CHARGE T_C , BANC EXPERIMENTALE « CARACTERISATION DE L'ETAT DE CHARGE ».	121
FIGURE IV.9 : INFLUENCE DU TEMPS DE CHARGE T_C SUR (A) LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE ET (B) LE POTENTIEL DE SURFACE MOYEN. . CONDITIONS EXPERIMENTALES : BANC DE CARACTERISATION DE LA CHARGE, AVEC GRILLE, $V_G = 1$ kV, $V_s = +11$ kV, LOT 1, $\phi = 95$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 22^\circ\text{C}$, HR = 51%.	122
FIGURE IV.10 : INFLUENCE DU TEMPS DE CHARGE T_C , NOUVEAU BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE.	123
FIGURE IV.11 : INFLUENCE DU TEMPS DE CHARGE T_C SUR (A) LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE ET (B) LE POTENTIEL DE SURFACE MOYEN. CONDITIONS EXPERIMENTALES : BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, AVEC GRILLE, $V_G = 1$ kV, $V_s = +10,1$ kV, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 38%.	123
FIGURE IV.12 : EVOLUTION DU COURANT SOURCE I_s DE L'ALIMENTATION SPELLMAN SL40KV EN FONCTION DE LA DUREE DE LA DECHARGE T_C . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATIONS TRIODE ET FIL – PLAN, $V_G = 1$ kV, $V_s = +10,1$ kV, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 46%.	124
FIGURE IV.13 : INFLUENCE DU TEMPS DE CHARGE T_C SUR (A) LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE ET (B) LE DECLIN DE POTENTIEL DE SURFACE EN CONFIGURATION FIL - PLAN. CONDITIONS EXPERIMENTALES : RESULTATS OBTENUS A PARTIR DU BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, $V_s = +15,8$ kV, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 38%.	125
FIGURE IV.14 : EVOLUTION DU COURANT SOURCE I_s ET COURANT DU MEDIA I_m EN FONCTION DE LA TENSION SOURCE V_s POUR (A) LA CONFIGURATION TRIODE ET (B) LA CONFIGURATION FIL – PLAN. CONDITIONS EXPERIMENTALES : BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 46%.	126
FIGURE IV.15 : POTENTIEL DE SURFACE EN FONCTION DE LA TENSION SOURCE V_s . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE ET FIL – PLAN, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 46%.	127
FIGURE IV.16 : (A) DISTRIBUTION DU POTENTIEL DE SURFACE ET (B) POTENTIEL MOYEN EN FONCTION DU POTENTIEL DE GRILLE V_G . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 46%.	128
FIGURE IV.17 : NIVEAU DE CHARGE EN FONCTION DU POTENTIEL DE GRILLE ET DE LA SURFACE DES ECHANTILLONS. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $\phi = 90$ mm ET SECTION $S = 63,6$ cm ² (A), $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 24^\circ\text{C}$, HR = 37%.	128
FIGURE IV.18 : INFLUENCE DE LA RESISTANCE DE GRILLE R_G SUR LE POTENTIEL DE GRILLE V_G , LE POTENTIEL SOURCE V_s ET LE COURANT DU MEDIA I_m . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 22^\circ\text{C}$, HR = 47%, $V_s = 9,8$ kV (A), ET $V_G = 1$ kV (B).	129
FIGURE IV.19 : INFLUENCE DE LA RESISTANCE DE GRILLE R_G SUR LE POTENTIEL SOURCE V_s ET LE COURANT DU MEDIA I_m . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $\phi = 90$ mm, $D_G = D_M = 10$ mm, $T = 22^\circ\text{C}$, HR = 47%, $I_G = 50$ μA .	130
FIGURE IV.20 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE AVEC LES PARAMETRES GEOMETRIQUES.	131
FIGURE IV.21 : INFLUENCE DE LA DISTANCE FIL – GRILLE D_G SUR LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE POUR (A) $V_s = 15$ kV ET (B) $V_G = 1$ kV. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $L = 100$ mm ET $L = 150$ mm, $D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 46%.	132
FIGURE IV.22 : INFLUENCE DE LA DISTANCE FIL – GRILLE D_G SUR LES COURANTS I_m , I_G ET I_s POUR (A) $V_s = 15$ kV ET (B) $V_G = 1$ kV. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE ET FIL – PLAN, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $L = 100$ mm ET $L = 150$ mm, $D_M = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 46%.	133
FIGURE IV.23 : INFLUENCE DE LA DISTANCE FIL – GRILLE D_G SUR LA PUISSANCE MOYENNE REÇUE PAR L'ECHANTILLON P_{SPM} POUR (A) $V_s = 15$ kV ET (B) $V_G = 1$ kV. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE ET FIL –	

PLAN, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_M = 10$ MM, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.	134
FIGURE IV.24 : INFLUENCE DE LA DISTANCE D_M GRILLE – MEDIA SUR (A) LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE ET SUR (B) LES COURANTS I_s , I_M ET I_G . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_M = 10$ MM, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$, $V_s = 15$ kV.	135
FIGURE IV.25 : INFLUENCE DE LA DISTANCE GRILLE – MEDIA D_M SUR (A) LE PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE ET SUR (B) LES COURANTS I_s , I_M ET I_G . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_M = 10$ MM, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$, $V_G = 1$ kV, $V_s = 10,1$ kV.	135
FIGURE IV.26 : INFLUENCE DE LA DISTANCE FIL – GRILLE D_G SUR LA PUISSANCE P_{SPM} POUR (A) $V_s = 15$ kV ET (B) $V_G = 1$ kV. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE ET FIL – PLAN, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = 150$ MM, $D_G = 10$ MM, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.	136
FIGURE IV.27 : INFLUENCE DU MODE DE CHARGE DU MEDIA (STATIQUE / BALAYAGE) SUR (A) LA DISTRIBUTION DU POTENTIEL DE SURFACE ET SUR (B) LE POTENTIEL DE SURFACE MOYEN. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $L = 100$ MM ET $L = \{50, 100 \text{ ET } 150 \text{ MM}\}$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 20^\circ\text{C}$, $HR = 47\%$, $V_s = 9,9$ kV, $V_G = 1$ kV.	137
FIGURE IV.28 : INFLUENCE DE LA VITESSE DE BALAYAGE SUR (A) LA DISTRIBUTION DU POTENTIEL DE SURFACE ET SUR (B) LE POTENTIEL DE SURFACE MOYEN. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE ET FIL – PLAN, BANC EXPERIMENTAL D'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE, LOT 1, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 20^\circ\text{C}$, $HR = 47\%$, $V_G = 1$ kV ($V_s = 9.9$ kV), VITESSE DE BALAYAGE $V_B = 5, 10$ ET $20 \text{ MM} \cdot \text{s}^{-1}$.	138
FIGURE IV.29 : CONFIGURATION GEOMETRIQUE DES DEUX ELECTRODES, (A) ELECTRODE COURONNE DONT LE CYLINDRE FAIT 26 MM, ET (B) ELECTRODE COURONNE DONT LE CYLINDRE FAIT 13 MM.	138
FIGURE IV.30 : INFLUENCE DE LA GEOMETRIE DE L'ELECTRODE SUR LA DISTRIBUTION DU POTENTIEL DE SURFACE SUIVANT L'AXE DES X POUR DIFFERENTES POTENTIELS DE GRILLE V_G . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT 1, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 24^\circ\text{C}$, $HR = 43\%$.	139
FIGURE IV.31 : INFLUENCE DE LA GEOMETRIE DE L'ELECTRODE SUR LA DISTRIBUTION DU POTENTIEL DE SURFACE SUIVANT L'AXE DES X POUR DIFFERENTES DISTANCE D_G . CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT 1, $\phi = 90$ MM, $D_M = 10$ MM, $T = 24^\circ\text{C}$, $HR = 43\%$, $V_G = 1$ kV.	140
FIGURE IV.32 : POTENTIEL DE SURFACE DES ECHANTILLONS DU GROUPE I. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT 1 ET 2, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$, $V_G = 1$ kV.	141
FIGURE IV.33 : POTENTIEL DE SURFACE DES ECHANTILLONS DU GROUPE II. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT 3, 4, 5 ET 6, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$, $V_G = 1$ kV.	142
FIGURE IV.34 : POTENTIEL DE SURFACE DES ECHANTILLONS DU GROUPE III. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT 7, 8, 9 ET 10, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$, $V_G = 1$ kV.	142
FIGURE IV.35 : COURANT REÇU PAR L'ECHANTILLON EN FONCTION DU NOMBRE DE COUCHES EMPILEES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT 1, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 20^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$, $V_G = 1$ kV.	143
FIGURE IV.36 : NIVEAU DE CHARGE EN FONCTION DU NOMBRE DE COUCHE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT1, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$, $HR = 36\%$, $V_G = 1$ kV ET 4 kV.	143
FIGURE IV.37 : NIVEAU DE CHARGE DES COUCHES POUR UN CHARGEMENT EN MULTICOUCHE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : CONFIGURATION TRIODE, LOT 1, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 26^\circ\text{C}$, $HR = 36\%$, $V_G = 1$ kV ET 4 kV.	144
FIGURE V.1 : INSTALLATION EXPERIMENTALE	149
FIGURE V.2 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES PARTICULES D'ENCENS. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_D = 18,5$, $T = 19^\circ\text{C}$ ET $HR = 33\%$.	150

FIGURE V.3 : CONCENTRATION DE PARTICULES ET EFFICACITE FRACTIONNAIRE DE COLLECTE SANS DEPOT DE CHARGES EN FONCTION DU DIAMETRE DE PARTICULE D_p , LES BARRES D'ERREURS REPRESENTENT LES ECARTS-TYPES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 19^\circ\text{C}$ ET $HR = 33\%$	151
FIGURE V.4 : INFLUENCE DE LA CHARGE SUR L'EFFICACITE DE COLLECTE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 39\%$, POTENTIEL DE GRILL $V_G = 1$ kV, POLARITE POSITIVE $V_s = +9,4$ kV.....	152
FIGURE V.5 : INFLUENCE DU MODE DE CHARGE SUR L'EFFICACITE DE COLLECTE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 39\%$, POTENTIEL DE GRILL $V_G = 4$ kV, POLARITE POSITIVE $V_s = +15$ kV.....	153
FIGURE V.6 : INFLUENCE DE LA POLARITE SUR L'EFFICACITE DE COLLECTE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 39\%$, POTENTIEL DE GRILL $V_G = 1$ kV, POLARITE POSITIVE $V_s = +9,4$ kV, POLARITE NEGATIVE $V_s = -8,8$ kV.....	154
FIGURE V.7 : EFFICACITE FRACTIONNAIRE DE COLLECTE H_f EN POLARITE POSITIVE (A) ET NEGATIVE (B). CONDITIONS EXPERIMENTALES : DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 39\%$	155
FIGURE V.8 : LOT 1, (A) EFFICACITE DE COLLECTE DE LA CLASSE 7 ET PUISSANCE DE L'ALIMENTATION SOURCE P_e , (B) POTENTIEL SOURCE V_s ET COURANT DU MEDIA I_m EN FONCTION DU POTENTIEL DE GRILLE V_G EN POLARITE POSITIVE ET NEGATIVE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : $Q_p = 4$ L/MIN, $R_d = 18,5$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 39\%$	156
FIGURE V.9 : EFFICACITE FRACTIONNAIRE EN FONCTION DE LA POLARITE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, $R_d = 18,5$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 32\%$, $ V_s = 15$ kV.....	156
FIGURE V.10 : EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DE LA DUREE DE LA DECHARGE COURONNE PAR CLASSE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 43\%$, $V_s = 9,4$ kV, $V_G = 1$ kV.....	157
FIGURE V.11 : LE ROLE DE LA RESISTANCE DE GRILLE R_G DANS LE SCHEMA DE PRINCIPE	158
FIGURE V.12 : EFFICACITE DE COLLECTE ET PUISSANCE SOURCE EN FONCTION DE LA RESISTANCE DE GRILLE R_G POUR UN POTENTIEL DE GRILLE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 19^\circ\text{C}$ ET $HR = 43\%$, $V_s = 9,4$ kV, $V_G = 1$ kV.....	158
FIGURE V.13 : EFFICACITE DE COLLECTE ET PUISSANCE SOURCE POUR DEUX VALEURS DIFFERENTES DE LA RESISTANCE DE GRILLE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 19^\circ\text{C}$ ET $HR = 43\%$, $R_G = 20$ M Ω ET 80 M Ω , $V_G = 1$ kV ET 4 kV.....	159
FIGURE V.14 : EFFICACITE DE COLLECTE ET PUISSANCE SOURCE EN FONCTION DE LA RESISTANCE DE GRILLE R_G POUR UN COURANT DE GRILLE CONSTANT. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 19^\circ\text{C}$ ET $HR = 43\%$, $I_G = 50$ μA	160
FIGURE V.15 : LES PARAMETRES GEOMETRIQUES DE L'INSTALLATION POUR L'ETUDE D'EFFICACITE DE COLLECTE...	161
FIGURE V.16 : (A) EFFICACITE DE COLLECTE H_f ET PUISSANCE SOURCE P_e EN FONCTION DE D_G , (B) POTENTIEL SOURCE V_s ET COURANT I_m EN FONCTION DE D_G . CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_M = 10$ MM, $T = 17^\circ\text{C}$ ET $HR = 28\%$, $V_G = 1$ kV.....	162
FIGURE V.17 : (A) EFFICACITE DE COLLECTE H_f ET PUISSANCE SOURCE P_e EN FONCTION DE D_G , (B) POTENTIEL SOURCE V_s ET POTENTIEL DE GRILLE V_G EN FONCTION DE LA DISTANCE D_G . CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_M = 10$ MM, $T = 17^\circ\text{C}$ ET $HR = 26\%$, $I_m = 1$ μA	163
FIGURE V.18 : (A) EFFICACITE DE COLLECTE H_f ET PUISSANCE SOURCE P_e EN FONCTION DE D_M , (B) POTENTIEL SOURCE V_s ET COURANT I_m EN FONCTION DE D_M . CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_G = 10$ MM, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 27\%$, $V_G = 1$ kV.....	164
FIGURE V.19 : (A) EFFICACITE DE COLLECTE H_f ET PUISSANCE SOURCE P_e EN FONCTION DE D_M , (B) POTENTIEL SOURCE V_s ET POTENTIEL DE GRILLE V_G EN FONCTION DE LA DISTANCE D_M . CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $D_G = 10$ MM, $T = 18^\circ\text{C}$ ET $HR = 25\%$, $I_m = 1$ μA	165

FIGURE V.20 : DISTRIBUTION DU POTENTIEL DE SURFACE EN 2D EN FONCTION DU MODE DE CHARGE POUR DES ECHANTILLONS CARRES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, $L = L = 100$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 24^\circ\text{C}$ ET $HR = 43\%$, $V_G = 1$ kV.	166
FIGURE V.21 : POSITIONNEMENT DE L'ECHANTILLON EN MODE DE CHARGE STATIQUE ET EN BALAYAGE	166
FIGURE V.22 : COMPARAISON MODE DE CHARGE STATIQUE ET MODE BALAYAGE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, $\phi = 90$ MM, $D_G = D_M = 10$ MM, $T = 28^\circ\text{C}$ ET $HR = 51\%$, $V_B = \{5, 15, 25\}$ MM.S ⁻¹ , $V_G = 4$ kV, $V_s = 14,5$ kV.	167
FIGURE V.23 : LES DIMENSIONS DU SUPPORT DU FILTRE	168
FIGURE V.24 : (A) EVOLUTION TEMPORELLE DE LA MESURE DE LA CONCENTRATION MOYENNE DE PARTICULES POUR TROIS DEBITS, (B) VARIATION DE L'EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DU DEBIT D'AIR DES PARTICULES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, $\phi = 90$ MM, SANS DEPOT DE CHARGES, $T = 19^\circ\text{C}$ ET $HR = 33\%$, CLASSE 7 :] 0,26 ; 0,38] μM , DEBIT DES PARTICULES $Q_p = \{0,5, 1,9 \text{ ET } 5 \text{ L.MIN}^{-1}\}$	169
FIGURE V.25 : EFFICACITE DE COLLECTE DES DIFFERENTS LOTS POUR DIFFERENTS NIVEAUX DE CHARGE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : DIAMETRE DES ECHANTILLONS $\phi = 90$ MM, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 23^\circ\text{C}$ ET $HR = 42\%$	170
FIGURE V.26 : EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DU GRAMMAGE POUR DIFFERENTS NIVEAUX DE CHARGE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : ECHANTILLONS DU LOT 3, $\phi = 90$ MM, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 23^\circ\text{C}$ ET $HR = 42\%$	171
FIGURE V.27 : EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DU NOMBRE DE COUCHES EMPILEES, (A) SANS ET (B) AVEC DEPOT DE CHARGES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, $\phi = 90$ MM, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 48\%$, MODE DE CHARGE SIMULTANE, $V_s = 14,4$ kV POUR $V_G = 4$ kV	172
FIGURE V.28 : EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DU NOMBRE DE COUCHES EMPILEES, SANS (A) ET AVEC (B) DEPOT DE CHARGES. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, $\phi = 90$ MM, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 48\%$, MODE DE CHARGE SEPRE, $V_s = 14,4$ kV POUR $V_G = 4$ kV	173
FIGURE V.29 : COMPARAISON DE L'EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DU NOMBRE DE COUCHES EMPILEES EN MODE DE CHARGE « SEPRE » ET « SIMULTANE ». CONDITIONS EXPERIMENTALES : ETAGE 7 :] 0,26 ; 0,38] μM , LOT 1, $\phi = 90$ MM, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 48\%$, $V_s = 14,4$ kV POUR $V_G = 4$ kV.....	174
FIGURE V.30 : COMPARAISON DE L'EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DE LA DUREE D'EXPOSITION DES ECHANTILLONS POUR DES NIVEAUX ET TEMPS DE CHARGE DIFFERENTS. CONDITIONS EXPERIMENTALES : ETAGE 7 :] 0,26 ; 0,38] μM , LOT 2, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ ET $HR = 42\%$, $V_s = 14,4$ kV POUR $V_G = 4$ kV ET $V_s = 9,7$ kV POUR $V_G = 1$ kV.	175
FIGURE V.31 : EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DE LA DUREE ENTRE LA CHARGE ET LA MESURE. CONDITIONS EXPERIMENTALES : LOT 1, $\phi = 90$ MM, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 19^\circ\text{C}$ ET $HR = 38\%$, $V_s = 9,7$ kV POUR $V_G = 1$ kV, (A) $T_c = 1$ MIN, (B) ETAGE 7 :] 0,26 ; 0,38] μM	176
FIGURE V.32 : EFFICACITE DE COLLECTE EN FONCTION DE LA DUREE D'EXPOSITION. CONDITIONS EXPERIMENTALES : ETAGE 7 :] 0,26 ; 0,38] μM , (A) LOT 2 (1 COUCHE VS 4 COUCHES), (B) LOT 1 VS LOT 2, $\phi = 90$ MM, DEBIT PARTICULES $Q_p = 4$ L/MIN, RAPPORT DE DILUTION $R_d = 18,5$, $T = 27^\circ\text{C}$ ET $HR = 42\%$, $V_s = 14,7$ kV POUR $V_G = 4$ kV.	177

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU I.1 : LES DIFFERENTES THEORIES LIEES AUX DEPLACEMENTS DES AEROSOLS [30]	20
TABLEAU I.2 : DOMAINE D'APPLICATION DE DIFFERENTES LOIS DE FORCE DE RESISTANCE ET COEFFICIENT DE DIFFUSION [30]	21
TABLEAU I.3 : COEFFICIENTS A, B ET C DU FACTEUR DE CUNNINGHAM [23] [30].....	21
TABLEAU I.4 : INFLUENCE DE LA VITESSE DE FILTRATION v , DES PARAMETRES DE LA PARTICULE (P_p ET D_p) ET DES CARACTERISTIQUES DU MEDIA (A , D_f ET Z) SUR L'EFFICACITE DE COLLECTE.	28
TABLEAU I.5 : PRINCIPALES TECHNIQUES DE MESURE DE DISTRIBUTION DE CHARGES D'ESPACE.....	35
TABLEAU I.6 : AUTRES TECHNIQUES DE CARACTERISATION DES MATERIAUX DIELECTRIQUES.	36
TABLEAU I.7 : LES DIFFERENTS TYPES DE REPRESENTATIONS DES DONNEES D'UNE MESURE DE POTENTIEL DE SURFACE.	39
TABLEAU I.8 : DOCTORANTS AYANT TRAVAILLE SOUS LA DIRECTION DE LUCIEN DASCALESCU SUR UN SUJET PROCHE DU DOMAINE D'ETUDE DEPUIS 2005	43
TABLEAU I.9 : DOCTORANTS AYANT TRAVAILLE SOUS LA DIRECTION DE NOUREDDINE ZOOUZOU SUR UN SUJET PROCHE DU DOMAINE D'ETUDE DEPUIS 2009	44
TABLEAU II.1 : PARAMETRES D'AJUSTEMENT ENTRE LES POINTS EXPERIMENTAUX ET L'EQUATION (II.1)	53
TABLEAU II.2 : PARAMETRES D'AJUSTEMENT ENTRE LES POINTS EXPERIMENTAUX ET L'EQUATION (II.1)	61
TABLEAU II.3: CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES DU MEDIA NON-TISSE. [3]	73
TABLEAU II.4: PARAMETRES GEOMETRIQUES.	78
TABLEAU II.5: PARAMETRES ELECTRIQUES.....	78
TABLEAU II.6: CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU ELPI+.	81
TABLEAU II.7: CALIBRATION INDIVIDUELLE DU ELPI+.	81
TABLEAU II.8: EQUATIONS DE TRANSFORMATION	84
TABLEAU II.9: PROPRIETES DES PARTICULES.....	85
TABLEAU III.1 : CARACTERISTIQUES DU CIRCUIT FLUIDE DE L'INSTALLATION.....	106
TABLEAU III.2 : CLASSIFICATION DES TAILLES DES PARTICULES PAR LE NANOGRANULOMETRE	106
TABLEAU IV.1: COMPARAISON DU PROFIL DE POTENTIEL INITIAL ET CELUI OBTENU POUR $t = 70$ H	116
TABLEAU IV.2 : COMPARAISON DE LA POLARITE POSITIVE PAR RAPPORT A LA POLARITE NEGATIVE POUR $V_g = 1$ kV	118
TABLEAU IV.3 : COMPARAISON DE LA POLARITE POSITIVE PAR RAPPORT A LA POLARITE NEGATIVE POUR $V_g = 4$ kV	120
TABLEAU IV.4 : VARIATION DES COURANTS I_s , I_m ET I_g EN FONCTION DE V_s	126
TABLEAU IV.5 : POTENTIEL DE GRILLE ET POTENTIEL MOYEN DE SURFACE EN FONCTION DU POTENTIEL SOURCE V_s .	127
TABLEAU IV.6: COMPARAISON DES RESULTATS DU PROFIL DU POTENTIEL DE SURFACE OBTENUS A PARTIR DES DEUX ELECTRODES	139
TABLEAU IV.7 : REGROUPEMENT DES ECHANTILLONS NON-TISSES EN POLYPROPYLENE UTILISES.....	140
TABLEAU V.1: ECHANTILLONS NON-TISSES EN POLYPROPYLENE VENANT DE DIFFERENTS FOURNISSEURS	169
TABLEAU V.2: CAS ETUDIES POUR LA COMPARAISON DES TROIS LOTS	169

INTRODUCTION GÉNÉRALE



Galileo Galilei

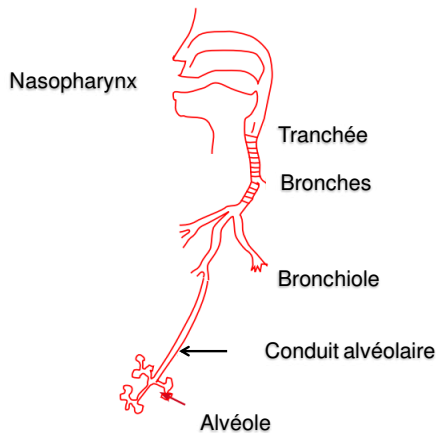
(1564 – 1642)

« All truths are easy to understand once they are discovered; the point is to discover them ».

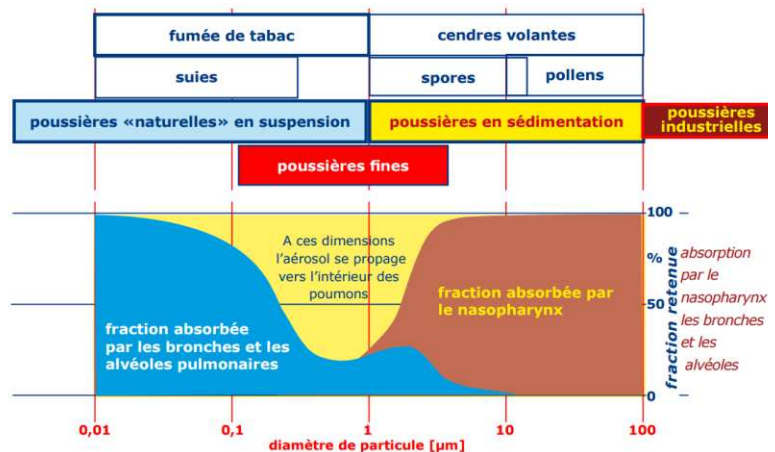
INTRODUCTION GÉNÉRALE

À l'heure actuelle deux sujets préoccupent les gouvernements et les scientifiques du monde entier : « le réchauffement climatique et la santé publique ». L'activité humaine est pointée du doigt, car elle est en partie responsable de ces deux problématiques à l'échelle mondiale. L'air est un élément indispensable pour la vie sur terre, or la qualité de celui-ci devient de plus en plus alarmante. Ceci explique l'intérêt de la communauté scientifique pour le sujet, illustré par l'accroissement exponentiel du nombre de publications sur les techniques de dépollution de l'air. En effet, les activités industrielles et les moyens de transport et de chauffage génèrent des quantités de plus en plus importantes de particules fines. Par conséquent, la qualité de l'air se dégrade, des pics de pollution très importants sont de plus en plus souvent recensés.

La situation est inquiétante car notre système respiratoire ne permet pas de retenir certaines particules de diamètres compris entre 0,1 et 3 μm , comme le montre la figure 0.1. Les particules de diamètre inférieur à 3 μm peuvent pénétrer profondément dans les poumons, jusque dans les alvéoles pulmonaires, ce qui leur offre un passage vers le système sanguin. La pénétration de ces particules dans le sang peut être à l'origine de certaines maladies très graves, pouvant causer la mort [1].



(a) Représentation schématique du système respiratoire humain



(b) Efficacité de collecte du système respiratoire en fonction du diamètre et de la nature des particules

Figure 0.1 : Configuration générale de l'arbre respiratoire de l'Homme [2]

La génération de particules fines et ultrafines dans l'atmosphère n'est pas causée uniquement par l'Homme, la nature contribue aussi à cette pollution de l'air, nous pouvons citer par exemple les éruptions volcaniques, les feux de forêt et la poussière générée par l'érosion du sol. Plusieurs moyens de filtration ont été mis au point pour réduire la concentration des particules polluantes dans l'air. Ces moyens peuvent être groupés en quatre catégories de séparation : mécanique, hydraulique, électrique ou à couche filtrante. Dans certains domaines d'application, il est nécessaire d'utiliser des médias filtrants avec un taux de pénétration limité pour laisser passer l'air, c'est le cas de l'habitacle d'un véhicule. La figure 0.2 montre plusieurs médias filtrants utilisés pour la filtration de l'air pour l'habitacle des voitures. Ces filtres utilisent des médias non-tissés en grande majorité, compte tenu de leur qualité et de leur coût de fabrication qui est moindre comparé aux médias tissés. Les médias filtrants utilisant principalement les actions mécaniques (diffusion, interception et impaction) montrent leurs limites, d'où l'utilisation des forces électriques (Coulomb, diélectrophorétiques) pour améliorer la qualité de filtration. D'autres technologies existent pour la filtration de l'air (par exemple la précipitation électrostatique), ils utilisent les forces électriques pour capter les particules. Dans notre cas d'étude, nous nous orientons vers des filtres passifs nécessitant un dépôt de charges électriques lors de l'opération de mise en œuvre.

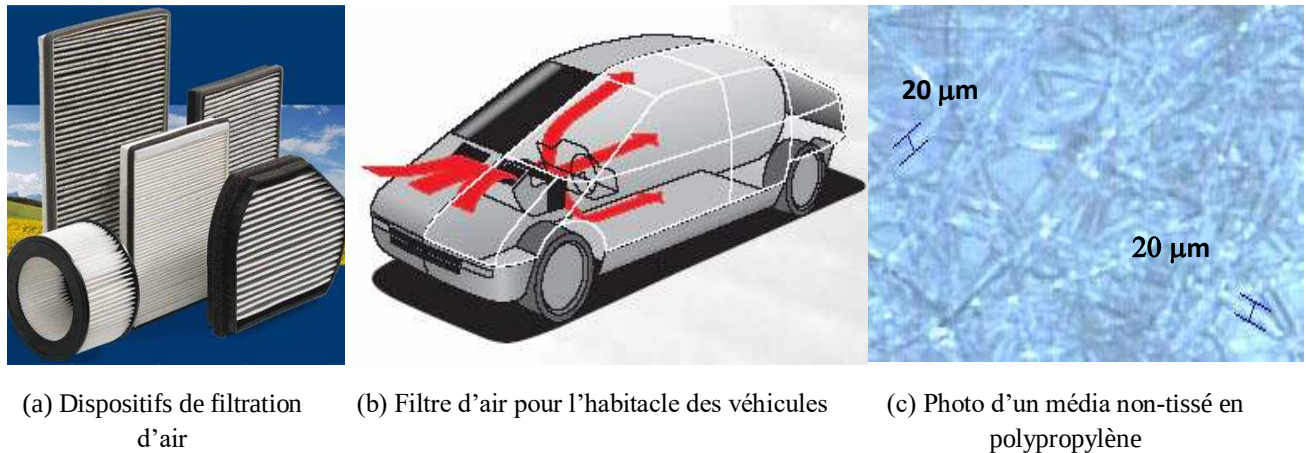


Figure 0.2 : Média non-tissés pour la filtration de l'air [3]

L'objectif de la thèse est d'étudier les facteurs qui influent l'efficacité de collecte des médias non-tissés chargés par décharge couronne, pour améliorer la qualité de filtration de l'air. Le champ d'investigation sera limité aux techniques faisant appel à la décharge couronne en configuration fil-plan (électrode duale + plan de masse) et en configuration triode (électrode duale + grille + plan de masse). L'étude s'est déroulée en trois grandes phases : (1) mise au point des dispositifs expérimentaux pour générer la décharge couronne et mesurer le potentiel à la surface des échantillons chargés ; (2) caractérisation de l'état de charge des medias ; (3) évaluation de l'efficacité de collecte, en corrélation avec les résultats des mesures de charge.

Les recherches ont été réalisées sur deux sites de l'Institut PPRIME, d'abord à l'Institut Universitaire de Technologie d'Angoulême pour l'étude des méthodes de charge des médias, puis à l'Université de Poitiers (site du Futuroscope) pour l'évaluation de l'efficacité de collecte. Ce travail de thèse a été financé par une bourse doctorale offerte par le Conseil départemental de Mayotte.

Le mémoire de thèse s'articule autour de cinq chapitres. Le premier est une synthèse bibliographique sur l'état de l'art dans le domaine de la filtration de particules par des médias non-tissés. La présentation des différentes techniques de fabrication des textiles non-tissés sera suivie des descriptions des mécanismes de capture de particules par des matériaux fibreux, ainsi que des différentes techniques utilisées pour la charge des médias.

Le deuxième chapitre contient les informations essentielles concernant la composition des bancs expérimentaux, notamment sur des dispositifs utilisés pour générer la décharge couronne. Les caractéristiques courant-tension et de distribution de la densité du courant ont été relevées pour les deux types de configurations d'électrodes (fil – plan et triode), en présence et en absence de médias.

La mise au point de protocoles expérimentaux pour la caractérisation de l'état de charge et de l'efficacité de collecte des médias filtrants fait l'objet du troisième chapitre de la thèse. Ainsi, les conclusions de l'étude du mode de fonctionnement de la sonde de mesure du voltmètre électrostatique utilisé pour la mesure du potentiel de surface faciliteront l'interprétation des valeurs lues en mode statique ou dynamique (sonde immobile ou en mouvement relatif à l'échantillon examiné) et la caractérisation de l'état de charge des médias. L'efficacité de collecte des médias électrostatiques sera évaluée en utilisant des particules générées par la combustion d'encens. Les conditions permettant des mesures d'efficacité de collecte fiables et reproductibles seront présentées.

Le quatrième chapitre est entièrement dédié à l'étude de l'état de charge des médias non-tissés chargés par décharge couronne. La liste des paramètres électriques et géométriques du dispositif de charge qui seront analysés inclue : le niveau de tension source, la polarité, le potentiel de grille, la distance entre l'électrode-fil et le plan de masse, la position de la grille entre l'électrode active et le plan de masse. A ceux-ci s'ajoutent : la modalité de charge (statique ou en balayage), et la nature des échantillons, entre autres.

Enfin, le chapitre 5 est consacré à l'étude de l'efficacité de collecte. Les résultats de cette étude seront corrélés à ceux relatifs à l'état de charge des médias. Plusieurs paramètres seront analysés en vue d'optimiser l'efficacité de collecte, comme par exemple la disposition des médias en plusieurs couches (multicouche).

Chapitre I

ETAT DE L'ART

L'étude bibliographique concernant l'utilisation des médias non-tissés pour la collecte des particules, dans des dispositifs pour la filtration de l'air, comporte trois parties. La première définira les medias non-tissés, présentera les mécanismes physiques de filtration associés ainsi que la technique de fabrication de ces médias. La deuxième partie développera les techniques utilisées pour la charge de ces médias, et caractérisera l'état de charge ainsi que l'efficacité de la collecte des particules. La dernière partie fera une synthèse des travaux réalisés par notre équipe de recherche, en rapport avec la thèse.

I.1. Médias filtrants non-tissés

I.1.1. Définition et historique

A. Définition

Un média non-tissé est un matériau textile qui se présente sous la forme d’une nappe ou d’un voile, composés de fibres liées entre elles grâce à des méthodes mécaniques, chimiques ou thermiques [4] [5]. Selon les associations INDA (International Nonwovens & Disposable Association) et EDANA (European Disposable And Nonwoven Association), ces fibres peuvent être orientées dans une direction préférentielle ou au hasard [6]. Les liaisons entre les fibres sont réalisées par friction, adhésion ou cohésion.

B. Historique

À partir des années 1960, avec le développement des fibres synthétiques et des polymères, les médias non-tissés ont vu le jour pour répondre au besoin massif en matériaux textiles dans le monde. Ce nouveau procédé permet à de nombreuses entreprises de l’industrie du textile d’émerger, grâce à une production en grande quantité et surtout à moindre coût, ainsi qu’à l’efficacité du processus de fabrication. Le taux de croissance de la production des matériaux textiles non-tissé dans le monde en 2011 était d’environ 8%, ce taux est en nette progression tous les ans [5]. Les principaux fabricants sont les Etats-Unis, l’Europe et la Chine. L’INDA prévoit un accroissement de la production des matériaux textiles non-tissés en Inde, ce qui lui permettra de rejoindre ce trio d’ici 2035. Ces statistiques sur la production des non-tissés montrent l’intérêt de ceux-ci, qui n’est pas seulement économique [7].

Selon les résultats publiés par l’EDANA en 2012 [8], la production des médias non-tissés en Europe est en progression constante. La figure I.1(a) montre une croissance quasi-continue depuis 1996. En effet, les non-tissés sont présents dans de nombreux domaines, notamment le milieu médical, l’automobile, la construction et la filtration, comme le montre la figure I.1(b). Ces matériaux sont utilisés principalement pour l’hygiène, par exemple pour la protection individuelle des personnes dans les hôpitaux (masques, draps, blouses jetables). L’utilisation du non-tissé dans plusieurs secteurs souligne les performances de ce matériau. En termes de qualité et coût de fabrication le non-tissé remplace peu à peu le matériau tissé.

Cette thèse s’intéresse principalement à l’utilisation des médias non-tissés pour la filtration de l’air. Depuis les années 1970, l’utilisation de ces matériaux pour la filtration connaît une croissance importante. Aujourd’hui environ 12% du marché des non-tissés concerne la filtration (65% pour la filtration de l’air et 35% pour la filtration de liquides) [5]. L’utilisation des fibres de polymères tel que le polypropylène ou encore le polyéthylène offrent la possibilité de conserver la charge électrique, après un dépôt de charges [9] [10]. La littérature souligne l’intérêt de l’utilisation de ces matériaux fibreux non-tissés pour la collecte de particules fines [11] [12]

[13] [14] [15] [16] [17] [18]. En effet, l’association des fibres en polymère et de la charge électrique permettent de collecter plus de particules, comparée aux filtres classiques qui utilisent uniquement des actions mécaniques [19] [20].

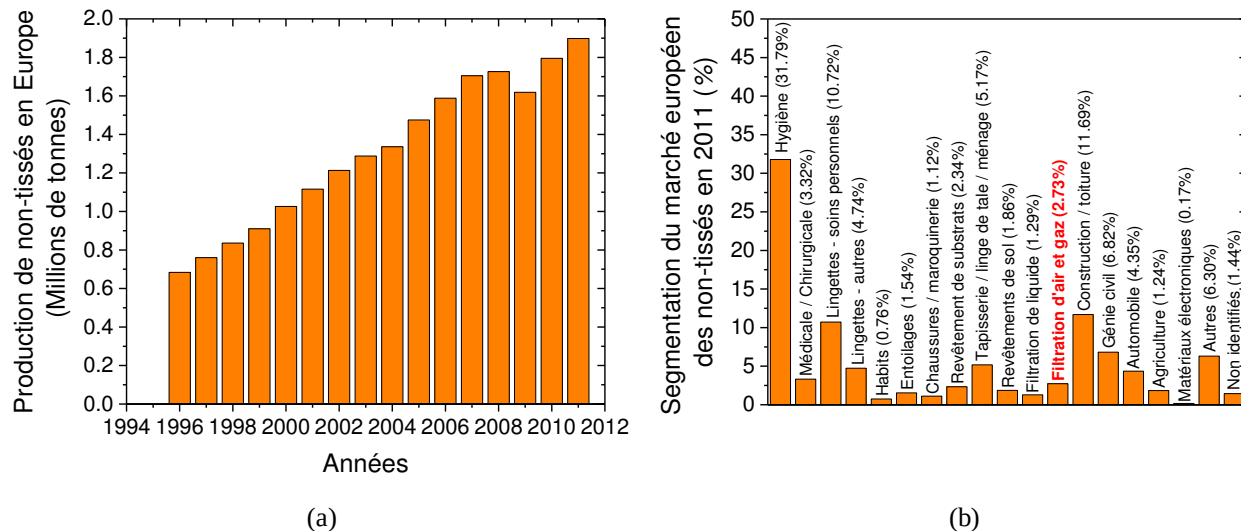


Figure I.1 : (a) Production des non-tissés dans l’union européenne de 1996 à 2011 et (b) segmentation du marché des non-tissés en Europe en 2011 [8]

I.1.2. Techniques de fabrication des médias non-tissés

Pour répondre au besoin du marché, l’industrie du textile a développé les médias non-tissés au début des années 1960. Ce nouveau procédé a permis aux industriels d’amplifier leur production et surtout d’alléger leurs dépenses. En effet, le processus de fabrication de ces nouveaux médias est court, comparé au processus habituel pour les médias tissés. Plusieurs techniques sont utilisées pour la fabrication de médias non-tissés, en fonction de l’application du filtre. Les progrès technologiques ont permis de développer des techniques plus pointues, comme par exemple l’électro-filage (electro-spinning) [21] [22] [23] [24] [25] [26]. Ces nouvelles techniques ont permis d’améliorer certaines propriétés (porosité, taille des fibres, résistance mécanique, absorption,...).

La fabrication d’un media non-tissé se déroule principalement en trois étapes : (1) la préparation des fibres pour la formation du voile par différentes techniques (voie humide, voie fondue, voie sèche, voie aérodynamique,...) ; (2) la consolidation de ce voile, par des procédés chimiques, thermiques ou mécaniques [27] [5] [28] ; (3) la finition, qui consiste à combiner différents techniques et différentes matières premières pour avoir des produits diversifiés.

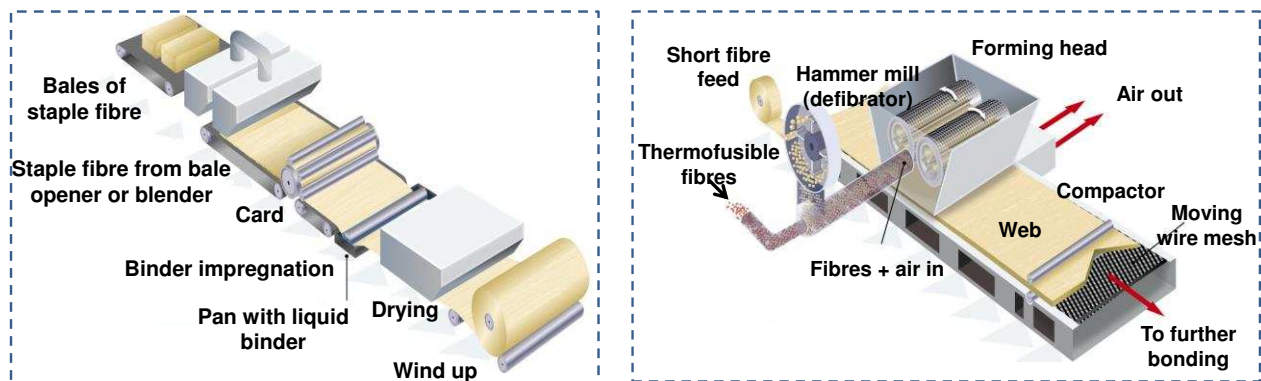
A. Etape 1 : Formation du voile

De nos jours, la fabrication des médias non-tissés est devenue une industrie en pleine expansion, qui fait appel à plusieurs procédés pour la formation du voile, dont les quatre suivants :

- voie sèche (dry-laid) ;
- voie fondue (spun-laid) ;
- voie humide (wet-laid) ;
- « flash spinning ».

A.1. Obtention du voile par voie sèche (drylaid)

La formation du voile par voie sèche peut être obtenue avec deux méthodes, tout d’abord le cardage, un procédé mécanique connu sous le nom anglophone « carding » (figure I.2(a)), et qui consiste à réaliser une nappe par dépose de fibres sur un tapis. Le processus de cardage permet d’obtenir un voile avec des fibres orientées ou aléatoires [8]. La deuxième méthode utilise un procédé aérodynamique appelé « air-laid » (figure I.2(b)), celui-ci disperse les fibres puis les transporte dans un flux d’air. Avec cette deuxième méthode, les fibres peuvent être plus courtes comparées au processus de cardage.



(a) Cardage « dry-laid carded »

(b) Aérodynamique « air-laid »

Figure I.2 : Processus de fabrication d’un média non-tissé pas voie sèche [8]

A.2. Obtention du voile par voie fondue (spunlaid)

Le procédé de formation par voie fondue est utilisé uniquement avec des fibres synthétiques. Ces fibres peuvent être filées à l’état fondu, comme par exemple les polymères (polypropylène (PP), polyéthylène téréphtalate (PET), polyamide (PA) ou encore le polyéthylène (PE)) [27]. Ce procédé peut être assimilé à une filature directe et génère des médias non-tissés de plus haute résistance mais souvent moins homogènes.

La voie fondue utilise deux techniques, l’extrusion (spinbonding technology, figure I.3(a)), et l’extrusion soufflage (Meltblown, figure I.3(b)). Avec la première technique, le polymère est livré sous forme de granulé, il est fondu dans un malaxeur, puis il est pompé vers les filières. Les filaments obtenus sont trempés à l’aide d’air froid, étirés et déposés sur un tapis transporteur pour former un voile. Certaines adhésions entre filaments peuvent déjà se réaliser compte tenu de la température résiduelle de ces filaments après la sortie des filières, et ce malgré le refroidissement. La deuxième technique (Meltblown), permet d’obtenir des fils plus fins. En sortie de filière, les fils sont étirés par soufflage d’air chaud avant d’être trempés à l’air froid.

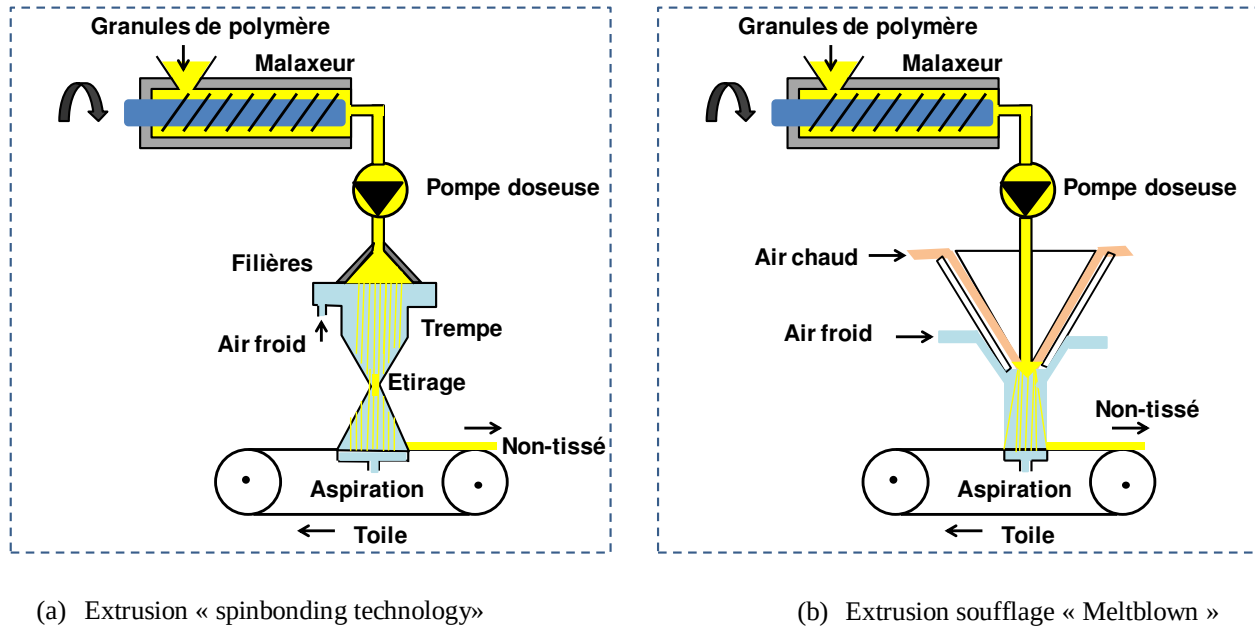


Figure I.3 : Processus de fabrication d’un média non-tissé pas voie fondue [27]

A.3. Obtention du voile par voie humide (wetlaid)

Le principe de fabrication du voile par voie humide (figure I.4) est similaire à la celui du papier, la différence réside sur la quantité de fibres synthétiques présentes dans un média non-tissé. Les fibres utilisées sont dispersées, triturées, puis diluées avec une très grande quantité d’eau pour former une pâte contenant 0,1 à 0,25 g/l. de matière sèche. Cette pâte est ensuite étalée sur un tapis de formation, où le voile se constitue après retrait du liquide à l’aide de différents processus tels que l’égouttage ou la déshydratation. Cette technique permet d’obtenir une résistance mécanique homogène dans l’ensemble du média [8].

Le procédé par voie humide permet d’utiliser une très large gamme de fibres (cellulosiques, synthétiques, régénérées ou minérales). Ce procédé conduit à des non-tissés plus homogènes et plus fermés et permet surtout la réalisation de produits nécessitant un très bon contrôle de l’orientation des fibres.

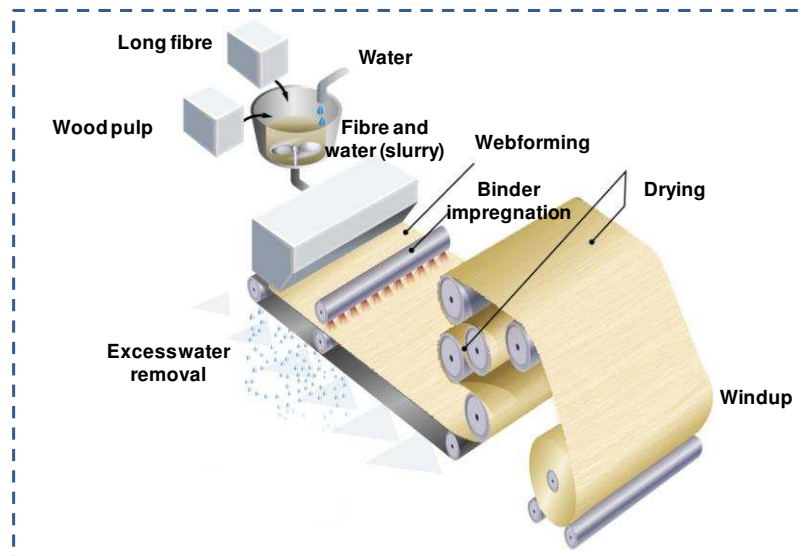


Figure I.4 : Processus de fabrication d’un média non-tissé pas voie humide [8]

A.4. Le « flash spinning »

Dans le procédé « flash spinning », le polymère est dissout par un solvant approprié. La solution obtenue est ensuite pulvérisée dans un récipient maintenu sous vide, ce qui provoque l’évaporation quasi instantanée du solvant (d’où le nom du flash) [25] [5]. Le processus génère un nuage de fibres longues et très fines qui sont ensuite récupérées et consolidées pour former le voile.

B. Etape 2 : Consolidation des fibres

Quel que soit le procédé de fabrication, afin d’apporter une cohésion, il est nécessaire de consolider la structure du voile, par des techniques :

- mécaniques ;
- thermiques ;
- chimiques.

B.1. Consolidation mécanique

Le renforcement de la voile par consolidation mécanique est dû à la friction des fibres qui résulte de leur enchevêtrement physique. Il existe deux types de liage mécanique : l’aiguilletage et l’hydroliage. La figure I.5 illustre une technique de consolidation mécanique du voile par aiguilletage.

L’aiguilletage peut être utilisé sur la plupart des types de fibres. Des aiguilles spécialement conçues sont poussées et tirées à travers la nappe pour enchevêtrer les fibres [27].

Avec cette technique, des nappes de différentes caractéristiques peuvent être aiguilletées ensemble pour améliorer les propriétés physiques du média.

L’Hydroliage utilise un jet d’eau à haute pression pour entrelacer les fibres. La pression du jet d’eau a une incidence directe sur la résistance de la nappe [8] .

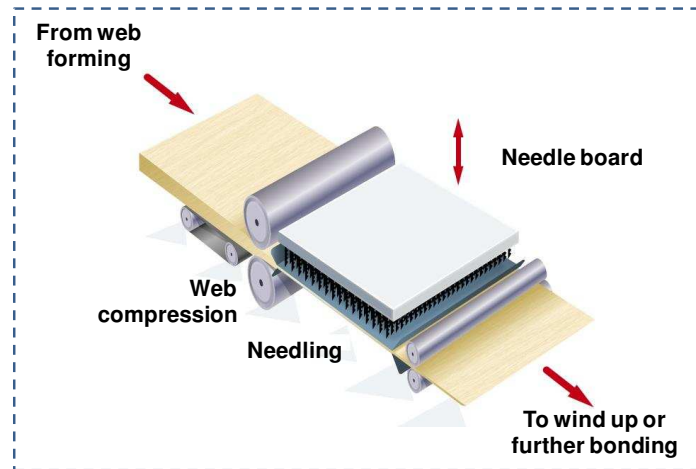


Figure I.5 : Consolidation mécanique de la voile par aiguilletage [8]

B.2. Consolidation thermique

Cette méthode met à profit les propriétés thermoplastiques de certaines fibres synthétiques pour créer la cohésion du voile par échauffement contrôlé. Différents modes de liage thermique sont employés : calandrage, flux d'air chaud, systèmes à tambours et feutres, ou liage sonore. Un exemple de consolidation thermique par calandrage est donné sur la figure I.6 [8].

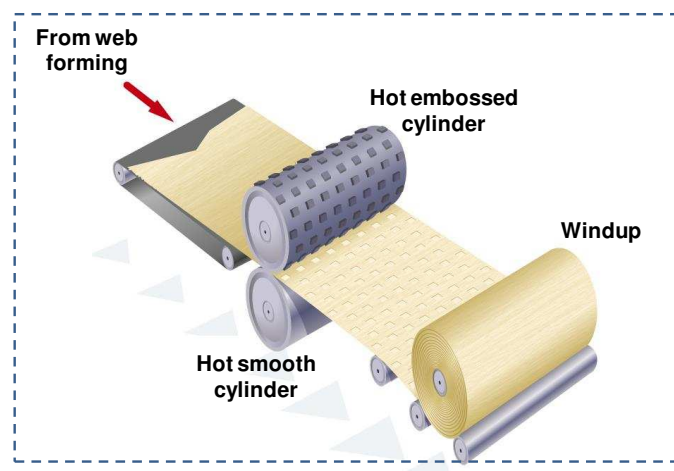


Figure I.6 : Consolidation thermique de la voile par calandrage [8]

B.3. Consolidation chimique

Dans ce cas, la consolidation est le résultat de l'application d'un agent liant à l'état liquide. Trois groupes de matériaux sont couramment utilisés comme liants : des polymères et copolymères d'acrylate, des copolymères de styrène-butadiène et des copolymères d'éthylène-acétate de vinyle [8] [5]. D'autres systèmes de liants à base d'eau sont couramment utilisés, de la colle en poudre, de la mousse et, dans certains cas, des solutions de solvants organiques. L'application de ces liants peut se faire de diverses manières : de façon uniforme par imprégnation, enduction ou pulvérisation, ou de façon intermittente, par impression par exemple. La figure I.7 illustre l'opération de consolidation chimique par imprégnation [8].

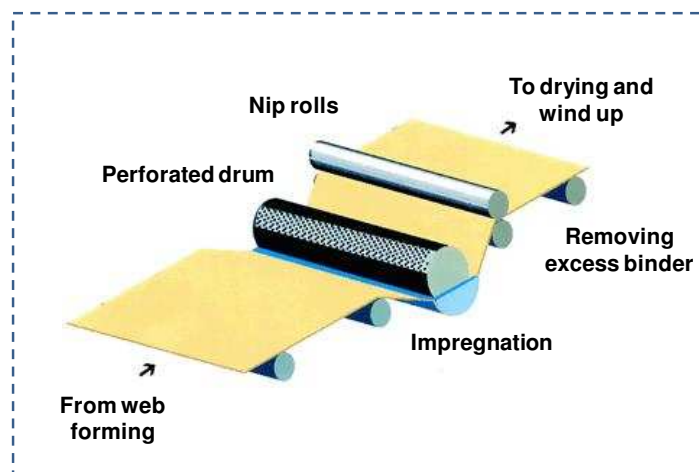


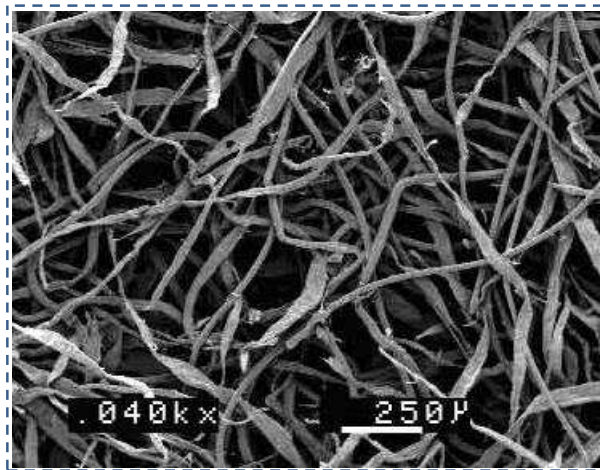
Figure I.7 : Consolidation chimique de la voile par imprégnation [8]

C. Etape 3 : Finition

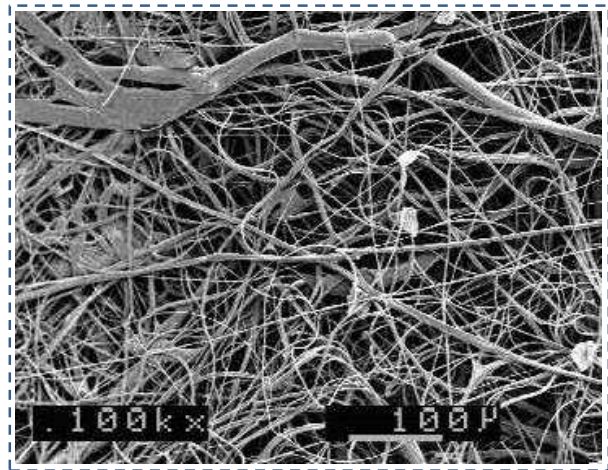
En dernière phase de fabrication des médias non-tissés, des opérations supplémentaires sont mises en place pour modifier les propriétés du produit ou d'y ajouter d'autres particularités afin de l'adapter aux besoins de l'application visée. Un grand nombre de substances chimiques peuvent être utilisées à cet effet, ainsi que plusieurs procédés mécaniques : enduction, impression, flocage, teinture [27]. La combinaison des textiles non-tissés avec d'autres matières permet de former des produits complexes.

La figure I.8 montre quelques exemples de médias non-tissés obtenus par différents procédés, les images sont obtenues grâce à un microscope électronique à balayage [27]. L'image de la figure I.8(a) représente un échantillon de média non-tissé en cellulose polyoléfine obtenu par voie sèche « airlaid » par procédé aérodynamique. La consolidation du média a été effectuée par effet thermique. L'échantillon non tissé représenté sur la figure I.8(b) a été obtenu par voie fondue, par le procédé extrusion soufflage « Melt Blown ». La consolidation du média a été effectuée par fusion. L'échantillon visible sur la figure I.8(c) est un média non tissé en cellulose-polyester, obtenu par voie humide. La consolidation a été effectuée par liaison "latex bonded".

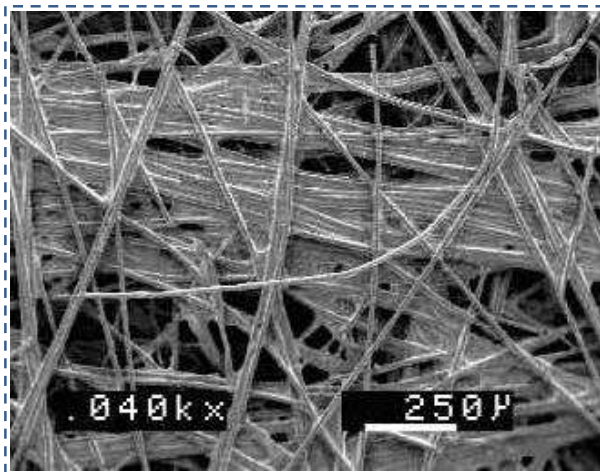
L'image de la figure I.8(d) représente un échantillon non-tissé en polyéthylène haute densité obtenu par le procédé « flash spinning ». La consolidation du tissu a été effectuée par fusion « heat bonded ».



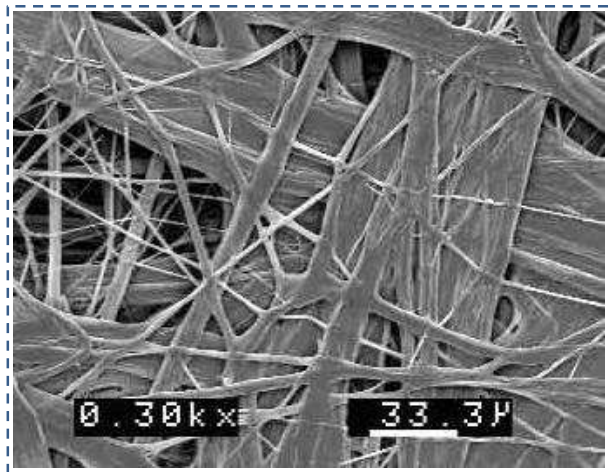
(a) Formation du voile par voie sèche aérodynamique et consolidation thermique



(b) Formation du voile par voie fondue et consolidation thermique



(c) Formation du voile par humide et consolidation chimique



(d) Formation du voile par procédé « flash spun » et consolidation thermique

Figure I.8 : Médias non-tissés obtenus par différents procédés [27]

Selon la technique utilisée, les propriétés du tissu diffèrent. La porosité, la densité de fibre et la résistance du matériau peuvent être affectées par la technique de fabrication. Selon l'application du tissu, une technique de fabrication sera plus adaptée que d'autres. Pour le cas de la filtration de l'air par exemple, un media poreux sera apprécié, par contre la technique « flash spun » ne conviendrait pas.

I.1.3. Mécanismes physiques de la filtration

La littérature souligne plusieurs facteurs responsables de la capture des particules sur les filtres. Certains sont liés aux particules à collecter et d’autres au matériau filtrant, qui est composé de fibres.

Pour ce qui concerne les particules à collecter, la liste des facteurs influant inclut leur composition physico-chimique, leur diamètre, leur concentration, et leur état de charge. Pour le filtre, les facteurs ayant une influence significative sur la capture de particules sont les suivants :

- Le diamètre des fibres ;
- Le diamètre des pores ;
- La densité surfacique et volumique des fibres ;
- La compacité du filtre ;
- L’état de charge des fibres.

Indépendamment des caractéristiques des particules et du filtre citées ci-dessus, d’autres facteurs sont à prendre en compte, notamment les conditions atmosphériques (humidité et température), la vitesse, le débit de filtration des particules et la viscosité du fluide. Les analyses des chercheurs convergent vers la même conclusion, à savoir l’existence de deux mécanismes de capture, mécanique et électrostatique [29], [30]. Par rapport aux filtres mécaniques, composés uniquement de fibres, les filtres électrostatiques, autrement appelés « filtres à électret », ont la particularité d’avoir subi un dopage par dépôt de charges électriques [31] [32] [33].

Dans le cas des filtres mécaniques, les mécanismes fréquemment cités dans la littérature sont l’impaction inertielle, l’interception et la diffusion due aux mouvements browniens des particules [20]. Une modélisation de l’efficacité de collecte est proposée par plusieurs auteurs comme Lee et Liu [34], Brown [35] et Hinds [36]. Ils ont étudié en particulier l’influence de la taille des particules sur l’efficacité de collecte. Leurs études montrent que l’impaction inertielle est efficace pour la collecte des grosses particules de diamètres supérieurs à 1 μm , alors que la diffusion est plutôt effective pour les petites particules de diamètres inférieurs à 0,1 μm (figure I.9(a)) [19].

L’association des trois mécanismes de capture (impaction inertielle, interception et diffusion) participent à l’efficacité de collecte, cependant le taux de pénétration des particules est moins élevé dans la plage 0,1 - 1 μm . Dans cette plage, les actions citées sont moins efficaces à la capture des particules (figure I.9(b)).

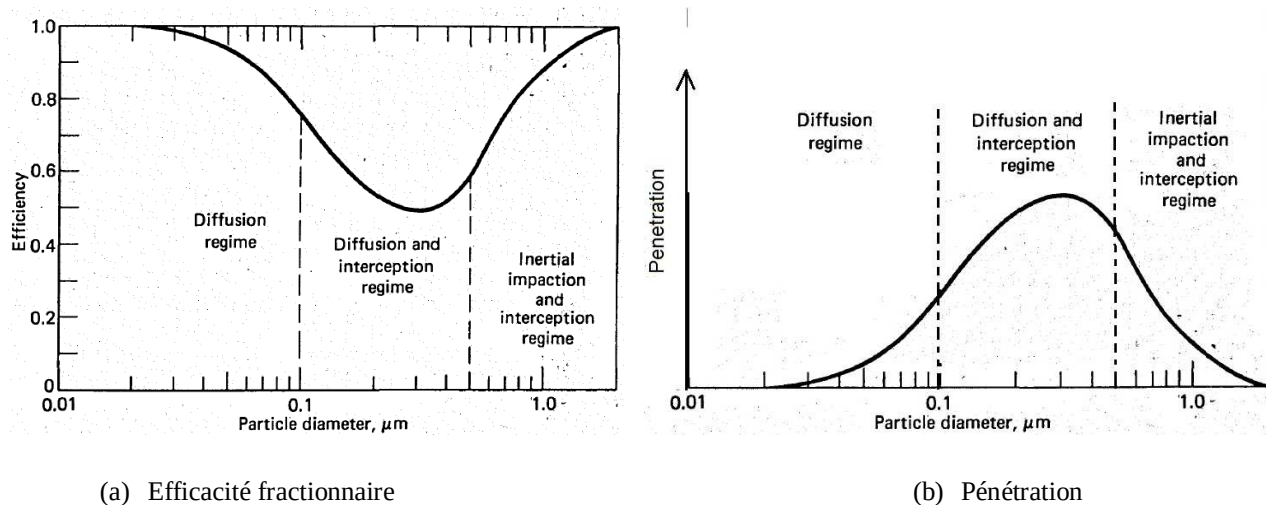


Figure I.9 : (a) Efficacité fractionnaire de collecte et (b) pénétration de particules pour un filtre mécanique en fonction du diamètre de particule d_p [19]

Pour les filtres à électret, c’est l’effet électrostatique qui participe activement à la collecte des particules. Cet effet est dû majoritairement aux forces coulombiennes et aux forces diélectrophorétiques entre les fibres et les particules, comme le montre les travaux de Davies en 1973 [37]. Contrairement à d’autres principes de filtration, comme la précipitation électrostatique [38] [39] [40], ici les fibres du filtre sont chargées en électricité. Le dépôt de charges a pour conséquence une augmentation des mécanismes de capture sans pour autant influencer la perte de charge. Des études récentes montrent que l’association des trois mécanismes de capture mécanique et des forces électrostatiques, permet d’amplifier considérablement les performances des filtres [41] [42] [20].

Nous allons à présent décrire les différents mécanismes de capture cités ci-dessus : les actions mécaniques (la diffusion, l’interception et l’impaction inertielle), et les actions liées aux forces électrostatiques (force de Coulomb et diélectrophorétiques).

A. Diffusion brownienne

Le mouvement brownien des particules a été décrit pour la première fois en 1827 par le botaniste R. Brown, qui a observé au microscope des petites particules de pollen en suspension dans l’eau [43]. À cette époque, les chercheurs pensent que le mouvement des particules résulte des mouvements du fluide environnant les particules. Ce n’est qu’en 1905 qu’Einstein explique les phénomènes physiques liés aux mouvements incessants et irréguliers des particules en suspension dans un fluide [44]. L’hypothèse de l’existence d’une pression osmotique qui maintient en suspension les particules, a permis à Einstein d’en déduire le processus de diffusion des particules. Il établit l’existence d’une force F_o qui s’exerce sur les particules en suspension. À partir des lois connues, Einstein détermine la densité du flux de conduction J_c :

$$J_c = n \times v = n \times \frac{F_o}{f} \quad (I.1)$$

avec,

v : vitesse des particules ;

n : concentration de particules ; f : coefficient de friction.

L’utilisation de la loi de Stokes permet de déterminer f en fonction de la viscosité dynamique du fluide (μ) et du diamètre des particules (d_p) ; $\mu = 1,7 \times 10^{-5}$ Pa.s pour l’air à $T = 0$ °C. Les conditions d’utilisation de cette loi sont très limitées (vitesse de particule très faible, inférieure à 1 m.s^{-1} , couche superficielle parfaitement adhérente, écoulement laminaire). Ainsi, l’expression de la densité du flux de conduction devient [30] :

$$J_c = \frac{nF_o}{3\pi\mu d_p} \quad (I.2)$$

La densité du flux de diffusion donnée par la loi de Fick, permet d’écrire :

$$J_D = -D \frac{\partial n}{\partial x} \quad (I.3)$$

avec,

D : coefficient de diffusion ;

J_D : densité du flux de diffusion.

Les équations d’Einstein permettent de montrer la proportionnalité existante entre la densité du flux et la force osmotique, étant donné que le flux de conduction est proportionnel à la force F_o [45]. La condition d’équilibre dynamique est obtenue en conservant le nombre de particules dans une tranche dx du milieu. Ceci s’obtient en écrivant l’égalité de flux dans les deux sens :

$$J_D = -J_c \quad (I.4)$$

$$-D \frac{\partial n}{\partial x} + \frac{nF_o}{3\pi\mu d_p} = 0 \quad (I.5)$$

Les relations précédentes permettent à Einstein d’exprimer le coefficient de diffusion D :

$$D = \frac{k_B T}{3\pi\mu d_p} = \frac{k_B T}{f} \quad (I.6)$$

k_B étant la constante de Boltzmann ($k_B = 1,380658 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$).

Beaucoup de théories ont été développées pour modéliser les mouvements des particules, ces théories n’ont pas été généralisées, par conséquent en fonction du milieu (continu ou discontinu), du nombre de Reynolds et du diamètre de la particule d_p , ces théories varient. Renoux et Boulaud ont rassemblé sous forme de tableau les différentes théories liées au mouvement des particules [30].

Tableau I.1 : Les différentes théories liées aux déplacements des aérosols [30]

	$Re_p \ll 1$ Sans action à distance Ecoulement laminaire	$Re_p \cong 1$ action à distance turbulente	$Re_p > 1$ Mach ≥ 1 $v \geq \bar{u}$
Milieu continu ($d_p \cong 2\lambda_g$) $d_p \gg 2\lambda_g$	Millikan-Cunningham Stokes	Davies, Oseen	Krzywobloski, Tsien
Milieu discontinu ($d_p \ll 2\lambda_g$)	Epstein	Tsien	Ashley

Dans le tableau I.1, le nombre de Reynolds de la particule (nombre sans dimension) est défini par :

$$Re_p = \frac{\rho_g v d_p}{\mu} \quad (I.7)$$

avec,

ρ_g : masse spécifique du gaz ;

$\bar{u}$: vitesse moyenne des molécules du gaz porteur ;

$Ma = v/c$: avec Ma étant le nombre de mach et c la célérité du son dans le gaz.

La nature du milieu gazeux se définit en fonction du nombre de Knudsen (un nombre sans dimension):

$$Kn = 2 \frac{\lambda_g}{d_p} \quad (I.8)$$

avec,

λ_g : libre parcours moyen des molécules du gaz porteur.

La résistance du milieu du fluide varie en fonction du nombre de Knudsen, le Tableau I.2 nous donne des informations sur la force de résistance et le coefficient de diffusion en fonction du nombre de Knudsen pour trois cas :

$Kn \ll 1$, $Kn = 1$ et $Kn \gg 1$.

Tableau I.2 : Domaine d’application de différentes lois de force de résistance et coefficient de diffusion [30]

Valeur de Kn	Force de résistance	Coefficient de diffusion
Kn << 1	Stockes $F_r = 3\pi\mu d_p v$	$D = \frac{K_B T}{3\pi\mu d_p}$
Kn $\cong$ 1	Millkan-Cunningham $F_r = \frac{3\pi\mu d_p v}{Cu}$	$D = \frac{K_B T}{3\pi\mu d_p} Cu$
Kn >> 1	Théorie cinétique $F_r = \frac{1}{3} v n d_p^2 n m v_m$	$D = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n \pi d_p^2} \sqrt{\frac{K_B T}{m}}$

Dans le tableau I.2, on a :

n : concentration des molécules du gaz porteur ;

m : masse des molécules du gaz porteur ;

v_m : vitesse moyenne d’agitation thermique des molécules gazeuses.

Cu : coefficient de correction de Cunningham.

En s’éloignant de plus en plus du domaine d’application de la loi de Stockes, c’est-à-dire que le diamètre des particules devient de plus en plus petit, c’est la loi de Millkan-Cunningham qui doit être utilisée en tenant compte du coefficient de correction de Cunningham:

$$Cu = f(Kn) = 1 + A \cdot Kn + B \cdot Kn \cdot e^{-\frac{C}{Kn}} \quad (I.9)$$

avec,

A, B et C sont des coefficients de correction du coefficient de Cunningham. Le tableau I.3 regroupe les valeurs de ces coefficients selon leurs auteurs.

Tableau I.3 : Coefficients A, B et C du facteur de Cunningham [23] [30]

Auteurs	A	B	C
Millikan, 1923	1,209	0,406	0,893
Allen-Raabe, 1982	1,105	0,400	0,596
Hidy-Reist, 1984	1,257	0,400	1,10
Buckley-Loyalta, 1989	1,155	0,471	0,596
Rader, 1990	1,207	0,440	0,78

La capture des particules par diffusion brownienne est efficace pour les petites particules de diamètre inférieur à 0,1 μm . Le libre parcours moyen pour l’air étant $\lambda = 0,067 \mu\text{m}$ (dans des

conditions normales de température et de pression), les petites particules soumises à l’agitation thermique quittent les lignes de courant de l’air et suivent des mouvements browniens. Du fait des collisions avec les molécules du gaz porteur, les particules adoptent des trajectoires aléatoires oscillantes, ce qui augmente considérablement la probabilité d’interception des particules par les fibres des filtres.

La collecte de particules par diffusion brownienne est caractérisée par le nombre de Peclet Pe . Il s’agit d’un nombre sans unité qui décrit le rapport entre le transport de particules par convection et le transport par diffusion [46] :

$$Pe = \frac{u_0 L}{D} \quad (I.10)$$

avec,

u_0 : vitesse moyenne du gaz porteur ;

L : longueur caractéristique;

D : coefficient de diffusion.

Si Pe est faible, c’est la diffusion qui prédomine et, s’il est grand ($Pe \gg 1$), c’est le transport de convection qui est prépondérant. Le nombre de Peclet a un rôle similaire à celui joué par le nombre de Reynolds pour l’écoulement des fluides [30]. La figure I.10 illustre la captation de particules par diffusion brownienne.

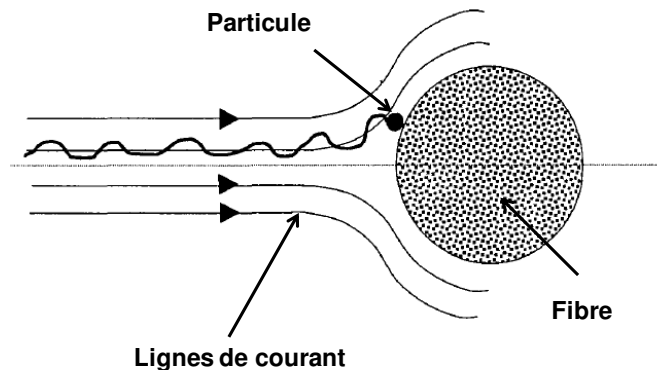


Figure I.10 : Mécanisme de capture par diffusion [47]

B. Interception directe

Le mécanisme de capture par interception directe concerne les particules de taille supérieure à $0,1 \mu\text{m}$. Celles-ci ayant une faible inertie, elles suivent les lignes de courant du fluide et sont interceptées par les fibres du filtre (figure I.11). La capture par interception est effective lorsque la distance séparant le centre de la particule et la fibre est inférieure ou égale au rayon de la particule [48] [20]. Le rapport entre le diamètre de particule (d_p) et le diamètre de

fibres (d_f) permet de caractériser la capture par interception, il s’appelle nombre d’interception R , et il est sans dimension :

$$R = \frac{d_p}{d_f} \quad (\text{I.11})$$

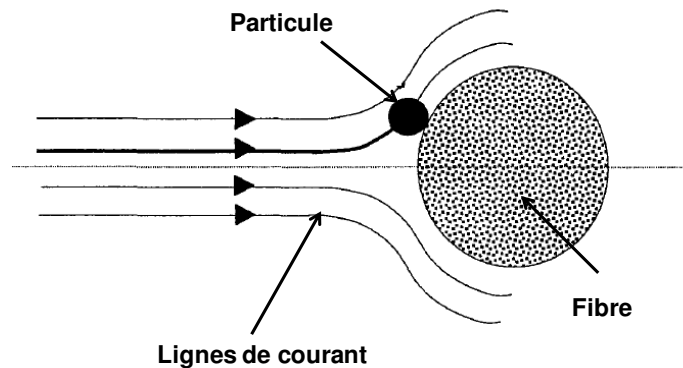


Figure I.11 : Mécanisme de capture par interception direct [47]

La probabilité de captation de particules avec ce mécanisme de capture augmente lorsque d_p augmente et/ou d_f diminue.

C. Impaction inertielle

L’impaction inertielle est efficace pour la captation des grosses particules ($d_p > 1 \mu\text{m}$), en raison de leur inertie qui est importante, ces grosses particules n’arrivent pas à suivre les changements brusques des lignes de courant dus à la présence d’une fibre [47] [16] [23]. Les particules sont déviées de leurs trajectoires, et viennent s’impacter à la surface de la fibre du filtre (figure I.12).

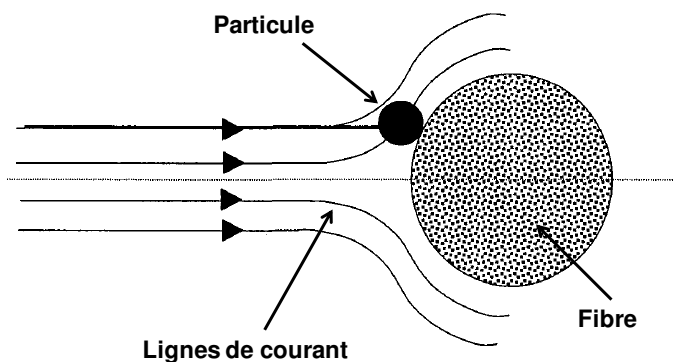


Figure I.12 : Mécanisme de capture par impaction inertielle [47]

La capture de particules par impaction inertielle est caractérisée par le nombre de Stokes. Noté (St), ce nombre sans dimension permet d’étudier le comportement d’une particule dans un fluide face à un obstacle. Ce nombre décrit le rapport entre l’énergie cinétique de la particule et l’énergie dissipé par frottement entre la particule et le fluide. La littérature définit le nombre de Stokes par la formule suivante :

$$St = \frac{v \times d_p^2 \times \rho_p}{\mu \times L_c} \quad (I.12)$$

avec,

L_c : Longueur caractéristique.

Le nombre de Stokes permet de déterminer si la particule va contourner l’obstacle en suivant les lignes de courant du fluide ou si elle va percuter l’obstacle [30].

L’association des trois mécanismes que l’on vient de voir permettent d’augmenter l’efficacité de collecte globale. Nous avons vu que la taille des particules, la vitesse de filtration, les propriétés du gaz porteur (viscosité dynamique du fluide), ainsi que ceux du média filtrant (diamètre des fibres) sont importants pour la collecte des particules.

D. Forces d’adhésion

Lorsque les aérosols entrent en contact avec des parois solides, ils s’y fixent fortement par le phénomène d’adhérence, les forces correspondantes sont les forces de Van der Waals, les forces électriques et les forces de capillarité [30].

D.1. Les forces de Van der Waals

Entre deux molécules voisines distantes de d , électriquement neutres, s’exerce une force attractive donnée par London – Van der Waals en 1930 [49]:

$$F_{vdW} = \lambda \times d^{-7} \quad (I.13)$$

avec,

λ : constante d’attraction entre corps macroscopiques ;

d : distance entre les deux corps.

Les auteurs ont déterminé la force d’attraction agissant sur une sphère de diamètre d_p située à la distance d d’une paroi plane :

$$F = \frac{A d_p}{12 z^2} \quad (I.14)$$

Avec,

A étant la constante de Hannaker et z la distance d’adhésion.

D.2. Les forces électriques

Les forces électrostatiques (la force de Coulomb et la force diélectrophorétique) permettent d’amplifier la force d’adhésion entre une particule et une paroi. Lorsque les deux corps en interaction sont chargés, c’est la force de Coulomb F_c qui domine [41] [50] :

$$F_c = k \frac{|q_1 q_2|}{d^2} \quad (I.15)$$

avec,

k : constante de la loi de coulomb ($k = 9.10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$) ;

q : charge électrique (C) ;

d : distance ponctuelle entre les deux charges (m).

Lorsque la particule n’est pas chargée et se trouve en présence d’un champ électrique non-homogène, elle subit la force diélectrophorétique. Cette force est proportionnelle au volume de la particule (d_p^3) et au gradient du champ électrique qui lui est appliqué $(\nabla \vec{E})^2$. Pour une sphère diélectrique de diamètre d_p , l’expression est [51] :

$$\overrightarrow{F_{DEP}} = \frac{\pi}{4} d_p^3 \epsilon_m \left(\frac{\epsilon_s - \epsilon_m}{\epsilon_s + 2\epsilon_m} \right) (\nabla \vec{E})^2 \quad (I.16)$$

avec,

ϵ_s : permittivité de la sphère ;

ϵ_m : permittivité du milieu.

D.3. La force de capillarité

La littérature montre que l’adhérence d’un aérosol augmente avec l’humidité relative de l’air ambiant. L’augmentation de la force capillaire à humidité relative élevée permet d’augmenter l’adhérence entre les fibres filtrantes et les particules. Hidy avait expliqué en 1984 que l’apparition d’un film par condensation capillaire entre la surface et la particule, a pour effet d’augmentation de l’attraction entre les deux corps (surface et particule) [20].

Considérons une surface de séparation d’un liquide à une membrane tendue, lorsqu’on fait une coupure fictive de longueur dL dans cette membrane, pour maintenir les deux lèvres en place, il faut appliquer sur chacune d’elles une force dF , normale à coupure dL , on pose [52] :

$$dF = \gamma dL \quad (I.17)$$

avec,

γ : coefficient de tension superficielle (N/m).

I.1.4. Facteurs influant la filtration de particules

Un média non-tissé est caractérisé par la composition physique et chimique de ses fibres. Dans le contexte de la filtration de particules, la vitesse du fluide contenant les particules à filtrer n’est pas un paramètre négligeable. D’autres paramètres liés au media sont aussi importants, comme par exemple la compacité du matériau α , qui dépend essentiellement du grammage G , de la masse volumique des fibres ρ_f et de l’épaisseur du média, noté Z [47]. Plusieurs expressions de la compacité d’un matériau sont proposées dans la littérature, comme par exemple [23]:

$$\alpha = \frac{G}{\rho_f \times Z} \quad (\text{I.18})$$

Le diamètre des fibres ainsi que celui des pores du média jouent aussi un rôle important dans la captation de particules. La relation de Japuntich permet d’avoir un ordre de grandeur moyen du diamètre des pores d’un media d_{pores} [53]:

$$d_{pores} = d_f \times \left(\sqrt{\frac{\pi}{2\alpha}} - 1 \right) \quad (\text{I.19})$$

En tenant compte de l’efficacité de collecte de chaque fibre, du flux de particules, et des paramètres structuraux d’un média tel que la compacité, l’épaisseur et le diamètre des fibres d’un tissu, il est possible de définir l’efficacité de collecte globale. Etant donné la complexité à déterminer le diamètre de chaque fibre contenu dans un média, les calculs se font dans l’hypothèse d’une distribution de fibre homogène (même diamètre de fibres). La littérature montre que l’efficacité globale de collecte η_g peut être exprimée comme une fonction de la compacité α , du diamètre des fibres d_f , de l’épaisseur du média Z , du rendement unitaire d’une fibre η_f [54] :

$$\eta_g = 1 - e^{\left(-4 \times \eta_f \times \frac{\alpha}{1-\alpha} \times \frac{Z}{\pi \times d_f} \right)} \quad (\text{I.20})$$

La perte de charge ΔP est définie comme étant la différence entre les pressions statiques en amont et en aval du média filtrant, respectivement notées P_{amont} et P_{aval} :

$$\Delta P = P_{\text{amont}} - P_{\text{aval}} \quad (\text{I.21})$$

La perte de charge caractérise ici la résistance du média filtrant à l’écoulement du fluide. Par analogie par rapport au courant électrique, plus la perte de charge augmente, plus le passage du fluide sera difficile. Le media filtrant pouvant être considéré comme un milieu poreux, on peut définir le nombre de Reynolds de pores qui caractérise le régime de l’écoulement [30] :

$$Re_{pores} = \frac{\rho_g v_f}{\mu \times A_f \times \alpha_f} \quad (I.22)$$

avec,

v_f : vitesse frontale du fluide ;

A_f : surface spécifique des fibres ;

α_f : compacité du media filtrant.

Pour un écoulement en régime laminaire à travers un milieu poreux, Darcy (1856) propose la relation suivante pour le calcul de la perte de charge [55].

$$\Delta P = \mu R_f v_f \quad (I.23)$$

avec,

R_f : Résistance du filtre à l’écoulement.

Une expression de la résistance du filtre à l’écoulement est donnée dans la littérature [23] :

$$R_f = 4Z \times \frac{f(\alpha)}{d_f} \quad (I.24)$$

avec,

Z : épaisseur du filtre ;

d_f : diamètre moyen des fibres ;

$f(\alpha)$: avec α étant la compacité du média, plusieurs fonctions sont proposées dans la littérature pour définir $f(\alpha)$.

A. Caractéristiques structurelles du média non-tissé

Pour la collecte des particules, l’équation (I.20) met en évidence l’importance de la structure du media filtrant, à savoir la compacité α , le diamètre des fibres d_f , et l’épaisseur du média Z . Nous allons nous intéresser à l’influence de ces paramètres sur l’efficacité de collecte.

Le tableau I.4 donne les tendances de l’efficacité de collecte pour les trois mécanismes de capture mécaniques (diffusion brownien, interception directe et impaction inertielle). Les résultats montrent qu’une augmentation de l’épaisseur et la compacité du média améliorent considérablement l’efficacité de collecte. Cependant l’augmentation de l’efficacité de collecte par ces deux paramètres aura sans aucun doute une incidence sur la perte de charge.

Tableau I.4 : Influence de la vitesse de filtration v , des paramètres de la particule (ρ_p et d_p) et des caractéristiques du media (α , d_f et Z) sur l’efficacité de collecte.

Nature	Paramètres	Diffusion brownienne	Interception directe	Impaction inertielle
Diamètre de la particule	$d_p \nearrow$	$\searrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
Masse volumique de la particule	$\rho_p \nearrow$	$\searrow$	-	$\nearrow$
Vitesse du fluide	$v \nearrow$	$\searrow$	-	$\nearrow$
Compacité du filtre	$\alpha \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
Diamètre de la fibre	$d_f \nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\searrow$
Epaisseur du filtre	$Z \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$

À partir de l’équation de l’efficacité de collecte globale (I.20), il est possible d’analyser l’influence du diamètre de fibre, de l’épaisseur et de la compacité sur l’efficacité de collecte et la perte de charge.

A.1. Influence du diamètre des fibres (d_f)

La figure I.13 illustre l’influence du diamètre des fibres sur l’efficacité de collecte et sur la perte de charge. Les données ont été obtenues en maintenant constant les autres paramètres de l’expression de l’équation (I.20). Ces résultats soulignent une baisse de l’efficacité de collecte et de la perte de charge lorsque le diamètre des fibres augmente. Cette décroissance de l’efficacité de collecte en fonction du diamètre de fibres est caractérisée par trois zones. En dessous de $4\ \mu\text{m}$, l’efficacité de collecte est proche de 100%. Entre $4\ \mu\text{m}$ et $10\ \mu\text{m}$ l’effet de décroissance de l’efficacité est plus marqué, une chute brutale est observée, puis au-delà de $10\ \mu\text{m}$ l’efficacité tend vers 0.

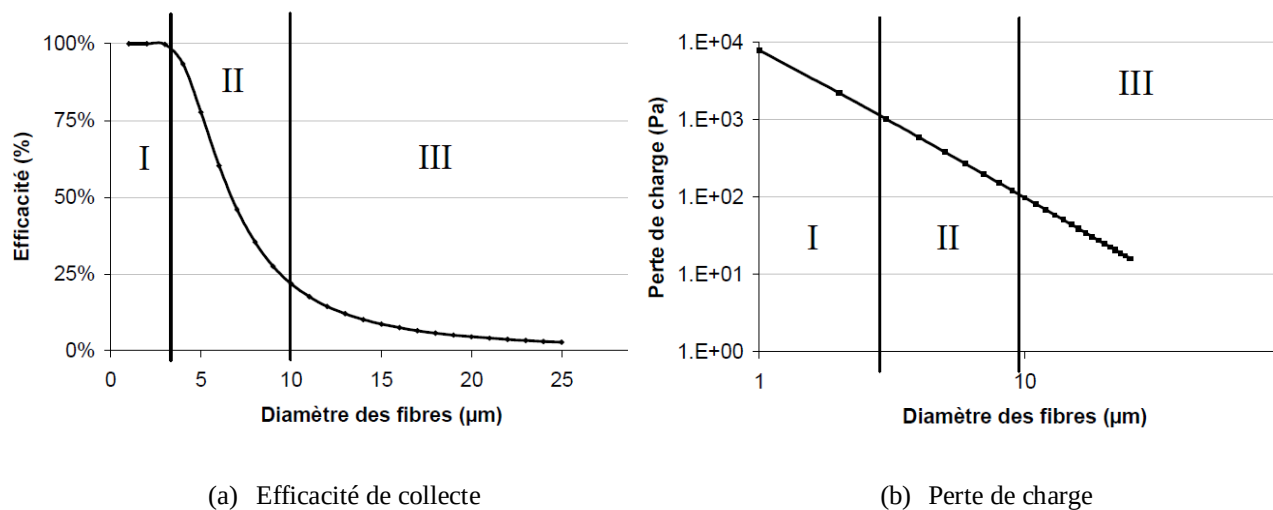


Figure I.13 : Influence du diamètre des fibres sur (a) l’efficacité de collecte et sur (b) la perte de charge [23]

A.2. Influence de l’épaisseur du média (Z)

L’influence de l’épaisseur du média sur l’efficacité de collecte et sur la perte de charge est illustrée sur la figure I.14. L’efficacité de collecte et la perte de charge augmentent quasi-linéairement avec de l’épaisseur du média.

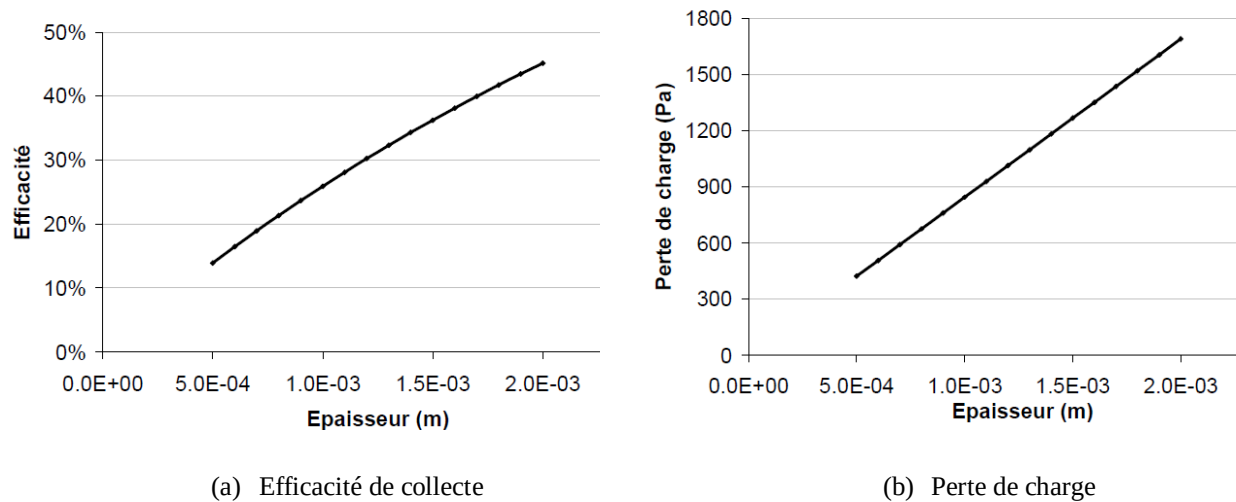


Figure I.14 : Influence de l’épaisseur du média sur (a) l’efficacité de collecte et sur (b) la perte de charge [23]

A.3. Influence de la compacité du média (α)

Les résultats de la figure I.15 montrent une croissance de l’efficacité de collecte et de la perte de charge avec la compacité du média. Dans les deux cas (efficacité et perte de charge), la compacité influe les résultats de manière significative.

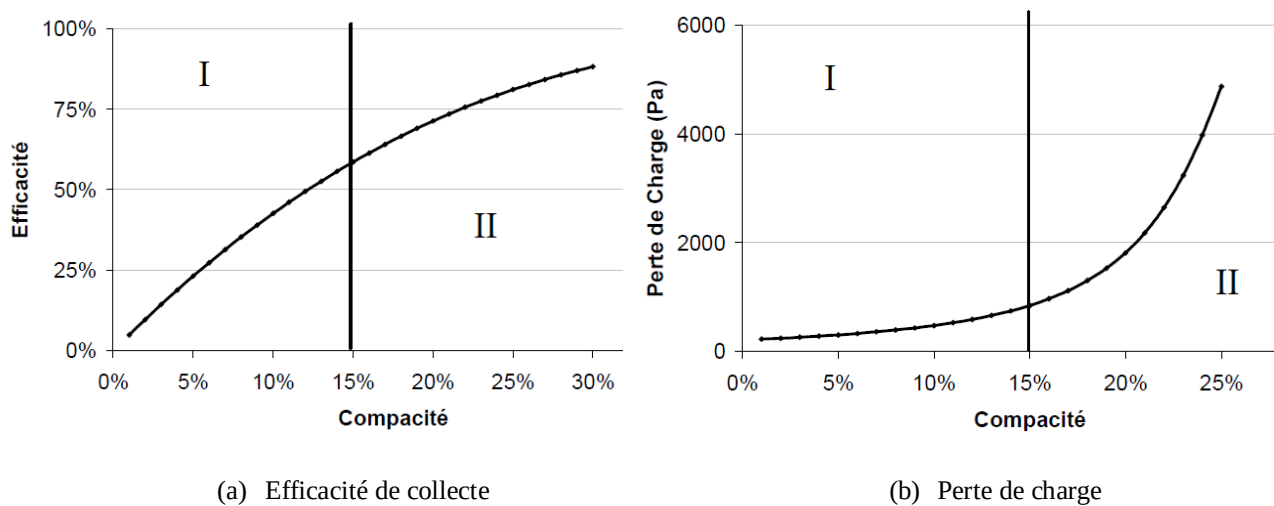


Figure I.15 : Influence de la compacité du média sur (a) l’efficacité de collecte et sur (b) la perte de charge [23]

B. Autres paramètres influant l’efficacité de collecte

Parmi les autres paramètres qui peuvent influencer l’efficacité de collecte, on retrouve les caractéristiques physiques des particules, notamment leur masse volumique et leur diamètre. Le mode opératoire de la mesure peut aussi avoir une incidence sur les résultats, notamment la vitesse de filtration des particules. Pour finir, les charges électriques des particules et des fibres influent aussi d’une façon significative la collecte, par les forces coulombiennes et les forces diélectrophorétiques.

B.1. Vitesse de filtration des particules

La littérature montre que l’efficacité de collecte baisse lorsque la vitesse de filtration des particules augmente, ces résultats ont été montrés par Balazy et Coll en 2004 et confirmés par d’autres auteurs (Bosovic, Kim et Eninger) en 2007 et 2008 [20].

B.2. Diamètre des particules

Le diamètre des particules est un élément important dans la collecte. En effet, plusieurs auteurs classifient la collecte en fonction de ce paramètre. Les mécanismes de capture pour les filtres mécaniques sont plus ou moins efficaces en fonction de la taille des particules à filtrer. Les travaux de Lee et Coll en 1980 [19] montrent une meilleure efficacité pour les particules de taille nanométrique ($< 0,1 \mu\text{m}$) et pour les particules de taille micrométrique ($> 1 \mu\text{m}$). Car, la diffusion brownienne et l’impact inertiel sont efficaces pour ces tailles de particules.

B.3. Etat de charge

L’état de charge des particules ou des fibres est un autre facteur qui influe grandement sur l’efficacité de collecte. Plusieurs chercheurs (Fjeld et Owen, 1988; Chen et coll., 1998) ont montré une augmentation importante de l’efficacité de filtration lorsque les particules sont chargées à la place des fibres [56] [20]. Ils pointent les mécanismes électrostatiques comme étant à l’origine de l’augmentation de l’efficacité de collecte, notamment les forces coulombiennes et la force image. En conclusion, l’association des forces d’attraction mécaniques et électrostatiques favorisent l’efficacité de collecte.

I.2. Caractérisation des médias filtrants

Dans cette section, le rappel des techniques connues de la littérature pour la charge des médias sera suivi d’une synthèse sur les méthodes de caractérisation de l’état de charge, pour terminer par une présentation des caractéristiques de la collecte des médias filtrants.

I.2.1. Techniques de charge des médias

Plusieurs techniques ont été élaborées pour charger les médias, comme la charge par effet triboélectrique. Cependant, la solution retenue pour ce travail fait appel à la décharge couronne,

plus particulièrement à celle générée dans la configuration triode (électrode active + grille + plan de masse).

A. Charge par effet triboélectrique

La charge par effet triboélectrique est causée par deux mécanismes d’électrisation : le contact et le frottement. Lorsque deux matériaux neutres de nature différente sont mis en contact l’une contre l’autre, il y a un transfert de charges. La différence structurale des deux matériaux permet un transfert d’électrons d’une surface à une autre. Ce mécanisme de charge conduit à un chargement des deux matériaux avec des polarités opposés, l’une sera chargée positivement, et l’autre négativement. Le niveau de charge augmente avec la surface et la pression de contact des matériaux, ainsi qu’avec la vitesse de frottement [57].

L’électrisation par frottement, conduit à une génération de chaleur qui s’intensifie lorsque la vitesse relative du frottement entre les deux matériaux devient importante. La génération de charges par effet triboélectrique est difficilement reproductible, d’où l’intérêt d’utiliser d’autres techniques de charge, par exemple la décharge couronne.

B. Charge par décharge couronne

La charge par décharge couronne consiste à générer des ions dans l’espace entre deux électrodes, dont l’une à un faible rayon de courbure, appelée « électrode active », et connectée à une alimentation haute tension. L’autre électrode, généralement plane, appelée « électrode passive » est connectée à la terre. Dans la littérature, plusieurs types de configurations d’électrodes sont utilisés. La figure I.16 illustre quelques exemples.

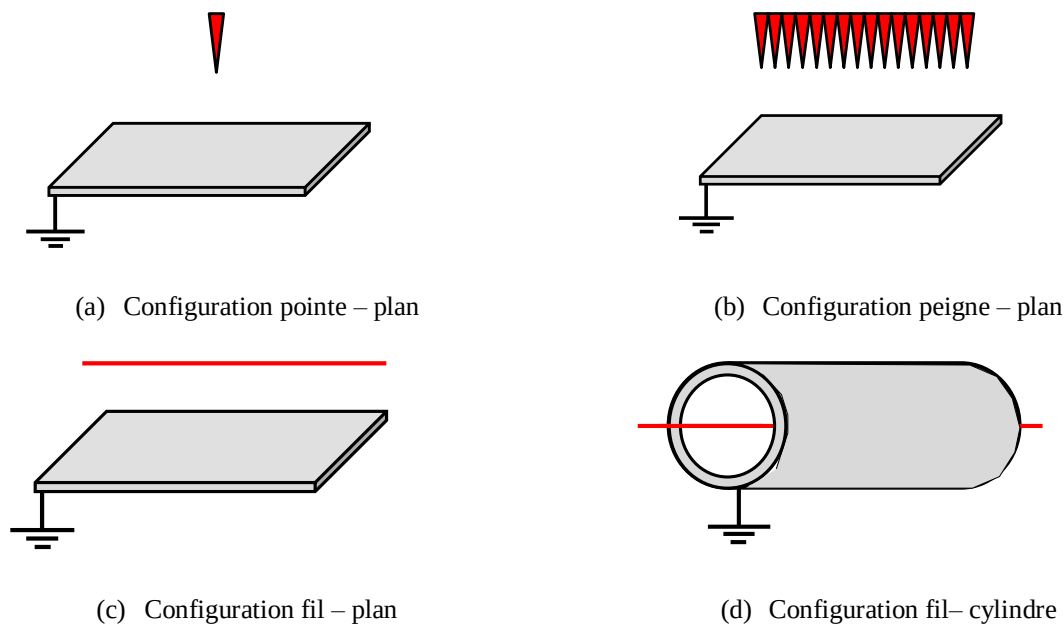


Figure I.16 : Différentes configurations géométriques de décharge couronne.

Lors de l’application d’une haute tension au niveau de l’électrode active, un champ électrique est créé dans l’espace inter-électrodes. Ce champ électrique n’est pas homogène en raison de la géométrie des électrodes. Il est intense au voisinage de l’électrode à faible rayon de courbure et décroît rapidement dans l’espace inter-électrodes au fur et à mesure qu’on s’éloigne de celle-ci [58] [59] [60] [3] [61].

Dans une configuration pointe-plan, l’ionisation est due à l’intensification du champ électrique au voisinage de la pointe. Lors de l’application d’une source positive haute tension par exemple, des électrons germes ou créés par photo-ionisation sont accélérés vers la pointe de l’électrode active permettant le développement d’avalanches électroniques qui constituent l’étape première des différents mécanismes de décharge. Durant le processus de décharge couronne positive par exemple, des ions positifs sont ainsi créés et repoussés par l’électrode active (la pointe) sous l’effet de la force de Coulomb. Ces ions positifs dérivent et migrent vers l’électrode de masse qui permet de les collecter.

La charge d’un média filtrant par effet couronne offre la possibilité d’utiliser des sources d’alimentation variées (positive, négative, alternative, impulsionnelle, pulsée...). Par conséquent, les résultats de dépôt de charges varient d’une source à l’autre. La figure I.17 illustre le principe de charge d’un média par décharge couronne en polarité positive continue.

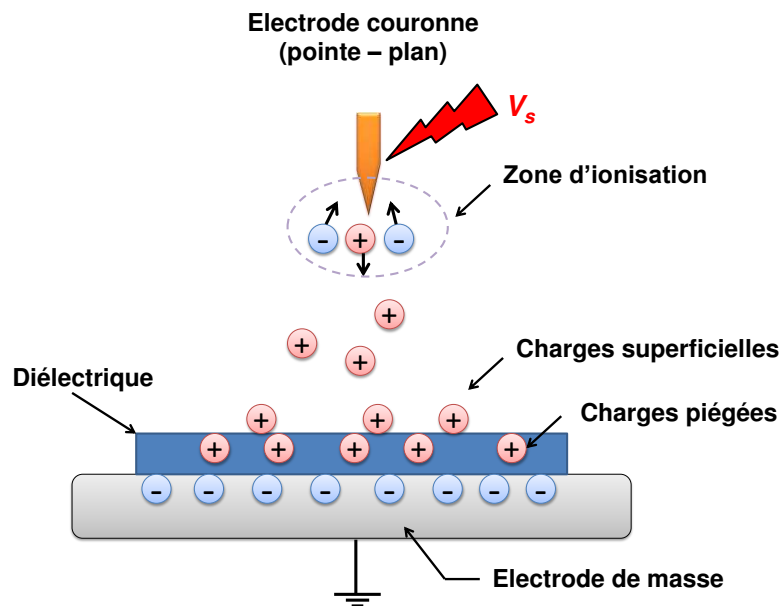


Figure I.17 : Principe de charge par décharge couronne pointe – plan, polarité positive continue.

Cependant, le non-control du dépôt de charges électriques est un des inconvénients de cette technique de charge par décharge couronne. La littérature montre qu’un dépôt de charges contrôlé peut être effectué à partir d’une configuration « triode », constituée de trois éléments : électrode active + grille + plan de masse) [62] [63] [64] [17].

C. Dépôt de charges contrôlé dans une configuration triode

La figure I.18 illustre quelques montages électriques usuels de la géométrie triode. La configuration de la figure I.18(d), a été privilégiée dans le cadre de notre étude en raison de la simplicité de mise en œuvre. De plus, cette configuration nécessite moins d’éléments et présente un risque d’endommagement réduit pour les alimentations électriques.

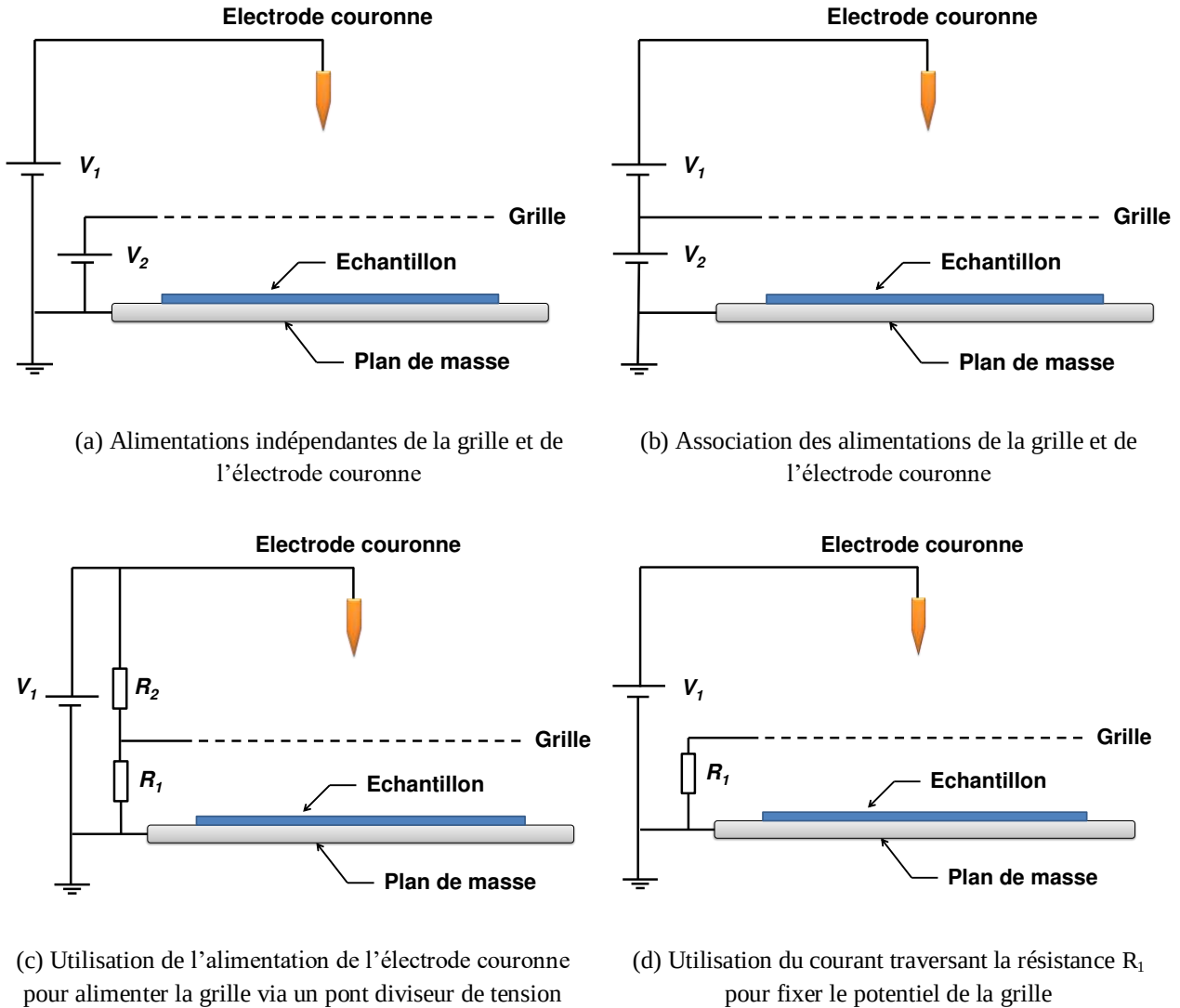


Figure I.18 : Différents dispositifs de configuration triode à partir d’une configuration pointe – plan.

Le principe de fonctionnement de la décharge couronne utilisant la configuration triode est illustré sur la figure I.19. En effet, durant la décharge une partie des ions produits par l’électrode portée à la haute tension est attirée vers l’électrode plane liée à la terre et traverse les pores de la grille. D’autres ions rejoignent la terre en passant par la résistance de la grille que l’on nomme R_g . Le produit de cette résistance par le courant I_g traversant la grille impose un potentiel de grille

nommé V_g . Ce potentiel permet de fixer l’intensité du champ électrique créé entre cette grille et le plan de masse. Au début du processus de charge, la grille est au même potentiel que le plan de masse, c'est-à-dire à 0 V. À partir de l’instant où la décharge est amorcée, la surface de l’échantillon placé sur le plan de masse monte progressivement en potentiel jusqu’à atteindre le potentiel de la grille. Lorsque celui-ci devient égal au potentiel de la surface du média, le champ électrique entre la grille et la surface du média s’annule, ce qui arrête le processus de charge. Par la suite, les ions générés par la décharge couronne vont emprunter la résistance de la grille pour rejoindre la masse.

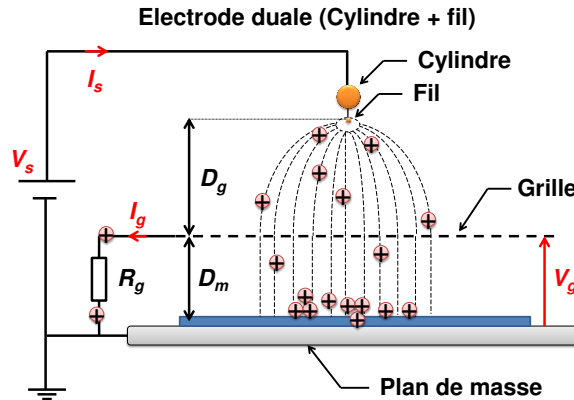


Figure I.19 : Fonctionnement du système de charge triode (électrode duale + grille + plan de masse).

L'électrode duale a pour rôle d'orienter les lignes du champ électrique du fil vers le plan de masse, sa géométrie définit l'espace de dépôt de charge en tenant compte bien sûr des distances D_g (la distance entre le fil et la grille) et D_m (la distance entre la grille et le plan de masse). La géométrie de l'électrode duale ainsi que la position de la grille sont deux facteurs qui permettront d'optimiser l'état de charge des médias.

I.2.2. Caractérisation de l'état de charge des médias

Les matériaux diélectriques ne se comportent pas tous de la même manière après un dépôt de charges. Ils ont des aptitudes différentes à piéger et à conserver les charges électriques. Selon la nature du diélectrique et de l'information souhaitée pour caractériser son état de charge, la technique utilisée sera différente. Plusieurs techniques développées à la fin des années 1970 et généralisées dans les années 1980 avaient pour objectif une représentation de la répartition volumique de la densité des charges injectées dans les matériaux diélectriques solides. Il s'agit de techniques utilisant la propagation d'une onde de pression dans le matériau (Laser Induced Pressure Pulse [LIPP]), l'effet électroacoustique (Pulsed Electro Acoustic, [PEA]), la propagation d'une onde thermique (Thermal Step Method [TSM], ou Laser Intensity Modulation Method [LIMM]), entre autres [65] [66] [67].

La mesure des charges d’espace n’est pas la seule façon de caractériser la réponse d’un matériau diélectrique. D’autres techniques sont utilisées, comme par exemple la mesure du déclin et de la cartographie du potentiel de surface, ou encore la mesure de la conductivité et de la permittivité avec la spectroscopie diélectrique [68]. D’autres techniques utilisent la mesure de courant comme par exemple la mesure des courants thermo-stimulés (CTS), ou encore la mesure du courant de conduction (MCC) [69]. Toujours dans la mesure du courant, on retrouve la « Méthode Miroir » (MM) et « ICM » « Influence Current Measurement », ces techniques donnent une information sur le piégeage des charges, sur le courant de surface et sur le courant d’influence lors de la charge. La microscopie à balayage électronique quant à elle permet de donner en plus une information sur la structure microscopique des matériaux. Le tableau I.5 et I.6 regroupent les différentes techniques avec les principales informations fournies et les caractéristiques des matériaux étudiés [70] [71] [72] [73] [74] [66].

Tableau I.5 : Principales techniques de mesure de distribution de charges d’espace.

Techniques		Informations fournies	Objets étudiés
Focused Intensity Modulation Method (FLIMM)	Laser	▪ Détection de charges d’espace ; ▪ Profil de polarisation ; ▪ Cartographie 3D.	Matériaux d’épaisseurs (10 – 150 μm) ;
Pulse Acoustique (PEA)	Electro-	▪ Distribution spatiale du champ électrique et des charges d’espaces ; ▪ Mesure de polarisation.	▪ Matériaux d’épaisseurs (0,1 – 1 mm) ; ▪ Convenable pour les polymères (films, plaques)
Méthode de l’Onde Thermique (MOT)		▪ Répartition des charges piégées et du champ interne du matériau ; ▪ Evolution de l’état électrique.	▪ Matériaux d’épaisseurs (100 nm – 25 mm) ; ▪ Convenable pour nombreux matériaux isolants solides.
Courants Stimulés (CTS)	Thermo-	▪ Identification des températures de piégeage de charges et/ou de polarisation ; ▪ Détermination de l’origine des charges électriques piégées.	▪ Matériaux d’épaisseurs (100 nm – 25 mm) ; ▪ Convenable pour nombreux matériaux isolants solides.
Laser-Induced Pressure Pulse (LIPP)		▪ Distribution spatiale des charges d’espace ; ▪ Distribution du champ électrique.	▪ Matériaux d’épaisseurs (100 μm à quelques mm) ; ▪ Adaptée à des polymères (propriétés acoustiques)

Tableau I.6 : Autres techniques de caractérisation des matériaux diélectriques.

Techniques	Informations fournies	Objets étudiés
Spectroscopie diélectrique (SD)	▪ Permittivité (ϵ_r) ; ▪ Conductivité volumique (σ_v) ; ▪ Résistivité volumique (ρ_v)	▪ Matériaux isolants solides (polymères, oxydes et composites) ; ▪ Epaisseurs de 100 nm à quelques mm.
Potentiel de surface (DPS)	▪ Déclin du potentiel de surface ; ▪ Cartographie 2D du potentiel.	▪ Matériaux polymères, céramiques, composites (films, pastilles, plaques) ; ▪ Epaisseurs de 100 nm à quelques mm.
Mesure de courant de conduction (MCC)	▪ Résistivité surfacique et volumique ; ▪ Phénomènes de conduction.	▪ Epaisseurs compris entre 100 nm et quelques mm ; ▪ Matériaux isolants solides (polymères, oxydes et composites)
Méthode miroir (MM)	▪ Quantité de charges piégées ; ▪ Mécanismes de piégeage et dépiégeage avec la température ; ▪ Mobilité des charges sous champ électrique.	▪ Diélectriques d'épaisseurs > 1 mm ; ▪ Matériaux céramiques, polymères et composites (films, plaques, câbles...)

I.2.3. Caractérisation électrique des diélectriques

La caractérisation électrique des matériaux diélectriques comporte le plus souvent deux types de mesures :

- Mesure de courant ;
- Mesure de potentiel (ou charge).

Nous allons voir dans les prochains paragraphes les principales méthodes utilisées pour la mesure de potentiel de surface sans contact (sonde capacitive, moulin à champ, sonde à condensateur vibrant).

A. Sonde capacitive

Les sondes capacitatives sont formées d’un conducteur sur lequel une charge d’influence est mesurée. Ces capteurs fournissent une mesure du champ vu par la sonde et non pas une mesure absolue du potentiel. La distance entre la sonde et la surface de mesure influe la mesure. La figure I.20 illustre le schéma de principe d’une sonde capacitive [75] [76] [77] [78] [79].

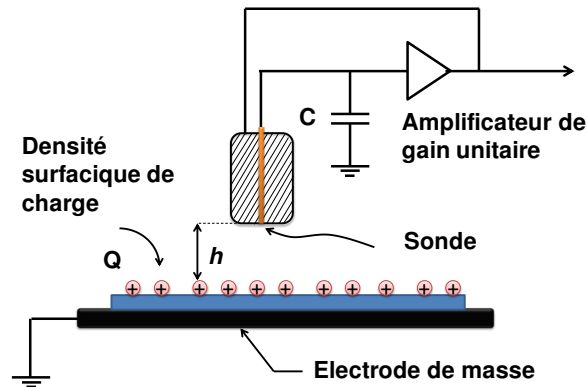


Figure I.20 : Principe de fonctionnement d’une sonde capacitive

Cette méthode est simple à mettre en œuvre et elle est peu coûteuse, cependant elle est sensible à la présence de particules chargées.

B. Moulin à champ

Les moulins à champ fonctionnent dans la même logique que les sondes capacitatives, seulement il y a une évolution par rapport à ces dernières, notamment l’utilisation d’une surface de mesure plus large qui permet d’éviter les dérives systématiques des sondes capacitatives. La figure I.21 représente le schéma de principe de cette sonde à moulin à champ. Une ailette tournante est placée devant l’aillette sensible. La modulation de la charge induite, obtenue par la modulation de la surface exposée au champ incident, génère un signal alternatif proportionnel au champ, ainsi le signal généré peut être amplifié à l’aide d’un système de détection synchrone. L’abréviation PSD (Phase-Sensitive Detection) correspond à un détecteur synchrone.

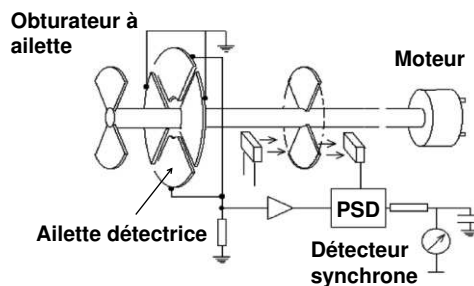


Figure I.21 : Principe de fonctionnement d’une sonde moulin à champ [3]

C. Sonde à condensateur vibrant

Les voltmètres électrostatiques utilisent généralement des sondes « à condensateur vibrant ». Ces sondes sont connues sous le nom de Kelvin-Zisman. La mesure effectuée ici est une mesure du potentiel de surface sans contact, le principe de fonctionnement du capteur est basé sur l’annulation du champ électrique (figure I.22). En effet, la variation de la surface utile (ou de la position) d’une électrode à fréquence connue engendre un courant induit si le champ vu par cette électrode n’est pas nul [64]. Un dispositif d’asservissement permet de faire varier le potentiel de l’électrode de manière à annuler ce courant, et donc le champ en face d’elle [75]. L’instrument se caractérise par une bonne stabilité et une grande précision de la mesure.

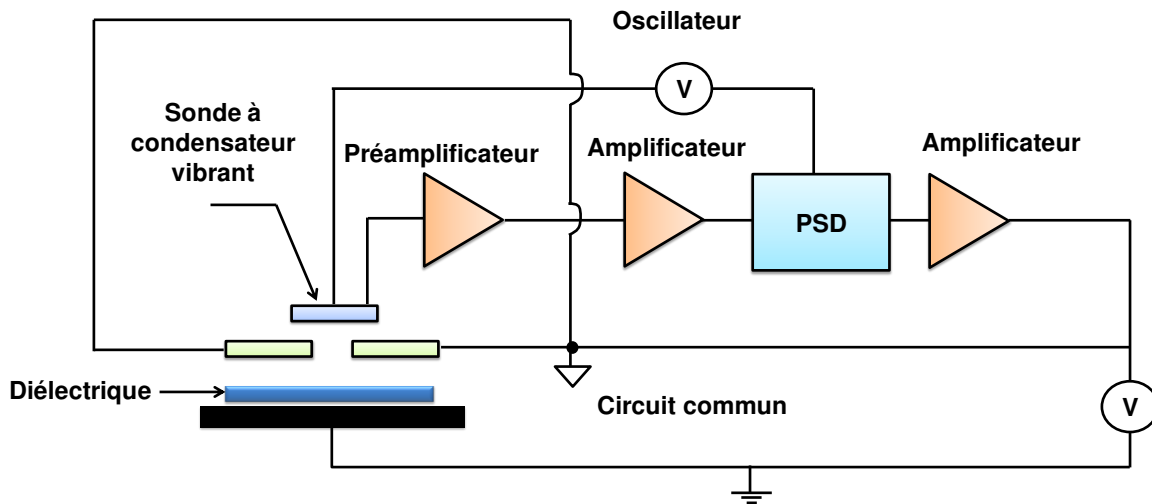


Figure I.22 : Principe de fonctionnement d’une sonde à condensateur vibrant [76]

I.2.4. Représentation des données

La représentation des données de mesure du potentiel de surface a une importance pour mieux interpréter les phénomènes physiques. Dans la littérature, les représentations les plus utilisées sont les suivantes :

- $V = f(t)$, pour étudier le déclin du potentiel de surface sur une position donnée en fonction du temps ;
- $V = f(t)/V_0$, il s’agit d’une normalisation pour comparer la dynamique du déclin de potentiel surface.

Pour une durée de mesure longue, l’échelle logarithmique est souvent utilisée pour mieux voir l’évolution du potentiel de surface. Philippe MOLINIE a recensé plusieurs représentations, listées dans le tableau I.7 avec leurs avantages et leurs inconvénients [64] [80]. Nous avons par exemple la représentation ($t \cdot dV/dt = f(\log(t))$) qui apporte une information sur l’accroissement du potentiel de surface entre deux instants.

Tableau I.7 : Les différents types de représentations des données d’une mesure de potentiel de surface.

Type de représentation	Avantages	Inconvénients
$V = f(t)$	Représentation simple des données brutes.	Systématiquement décroissante, difficile de détecter certaines caractéristiques.
$V = f(t)/V_0$	Normalisation des courbes pour mieux comparer les résultats.	Mêmes inconvénients que la représentation précédente.
$V = f(\log(t))$	Cette méthode supprime le 2 ^e inconvénient de la 1 ^{ère} méthode ($V = f(t)$).	Systématiquement décroissante.
$\log\left(\frac{dV}{dt}\right) = f(\log(t))$	Cette méthode de représentation met mieux en lumière les variations de la dynamique du déclin.	
$\log\left(\frac{dV}{Vdt}\right) = f(\log(t))$	Avec cette représentation on regarde les variations relatives du potentiel.	
$t \frac{dV}{dt} = f(\log(t))$	Interprétation sur la variation du potentiel entre deux instants.	

La figure I.23 illustre deux représentations de la mesure du potentiel de surface dans le temps, la figure I.23(a) est le résultat d’une représentation $V = f(t)$, et la figure I.23(b) donne la représentation $t.dV/dt = f(\log(t))$. Nous pouvons voir ici la clarté qu’apporte cette représentation indépendamment de toute interprétation physique des courbes [64]. L’illustration montre une dynamique différente lors de l’augmentation de température (pic autour de 1000 secondes pour une température de 80°C) et dans l’autre situation (25°C) le pic se trouve autour de 10 secondes.

La représentation $t.dV/dt = f(\log(t))$ nécessite cependant un traitement de calcul supplémentaire avec des instants de points de mesure adaptatifs pour ne pas obtenir un signal bruité. Utilisant l’échelle logarithmique, cette représentation convient parfaitement pour l’étude des phénomènes physiques de longue durée.

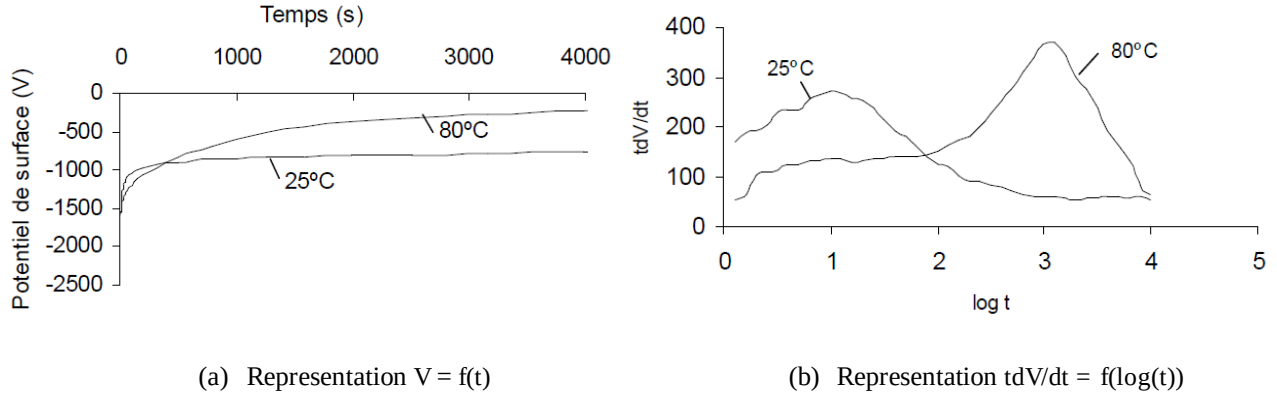


Figure I.23 : Représentation de la mesure du potentiel de surface dans le temps selon deux méthodes, films en polypropylène chargés par décharge couronne, $V_0 = -2$ kV [64].

I.2.5. Caractérisation de l’efficacité de la collecte

Dans cette section, nous définirons les équations utilisées pour le calcul de l’efficacité de collecte fractionnaire et globale. Nous nous intéresserons par la suite à la classification des filtres en tenant compte du facteur de qualité et de la perte de charge.

A. Efficacité de collecte

Les éléments principaux caractérisant un filtre sont l’efficacité de collecte et la perte de charge. L’efficacité de collecte (η_g) définit la capacité d’un media filtrant à retenir des particules dans un écoulement d’un fluide. On mesure la concentration de particules en amont (C_{amont}) et en aval (C_{aval}) du media filtrat, puis on détermine le rapport de filtration. Le rapport suivant détermine l’efficacité de collecte globale d’un filtre [47] [48].

$$\eta_g = 1 - \frac{C_{aval}}{C_{amont}} \quad (I.25)$$

Certains appareils permettent de déterminer l’efficacité de collecte par classe de tailles de particules, celle-ci sera nommée « efficacité fractionnaire », on la notera :

$$\eta_f^i = 1 - \frac{C_{aval}(d_p^i)}{C_{amont}(d_p^i)} \quad (I.26)$$

avec,

η_f^i : Efficacité fractionnaire de la classe i ;

$C_{amont}(d_p^i)$: Concentration moyenne de particules de la classe i à l’entrée du filtre ;

$C_{aval}(d_p^i)$: Concentration moyenne de particules de la classe i à la sortie du filtre ;

À l’inverse de l’efficacité de collecte, on définit la perméance ou la pénétration (γ) qui traduit la capacité d’un filtre à laisser passer les particules :

$$\gamma = 1 - \eta = \frac{C_{aval}}{C_{amont}} \quad (I.27)$$

B. Perte de charge

La perte de charge (ΔP) caractérise la résistance d’un média filtrant à l’écoulement d’un fluide, elle est définie comme étant l’énergie nécessaire pour vaincre la résistivité du média filtrant à l’écoulement d’un fluide, on la détermine en calculant la différence de pression existante entre la pression en amont (P_{amont}) et en aval (P_{aval}) du media filtrant :

$$\Delta P = P_{amont} - P_{aval} \quad (I.28)$$

C. Facteur de qualité

À partir des éléments précédents (efficacité de collecte, perte de charge, perméance), on définit le facteur de qualité q_f , qui permet de caractériser et comparer les filtres de façon qualitative. On peut ainsi définir le facteur de qualité d’un filtre pour caractériser sa performance à partir de l’efficacité de collecte ou du taux de pénétration γ et de la résistance au flux d’air (perte de charge ΔP) à travers le filtre :

$$q_f = -\frac{\ln(1 - \eta)}{\Delta P} = \frac{\ln(1/\gamma)}{\Delta P} \quad (I.29)$$

D. Classification des filtres

Selon les normes européennes EN779, EN1822 et EN149, la classification des medias filtrants repose sur les paramètres suivants : l’efficacité de filtration (%) et la perte de charge. Cette classification tient compte des diamètres des particules [81] [82]. La figure I.24 résume le regroupement des filtres en cinq classes : les demi-masques (FFP1 à FFP3), les filtres grossiers (G1 à G5), les filtres fins (F5 à F9), les filtres haute efficacité (H10 à H14) et enfin les filtres ultra efficace (U15 à U17).

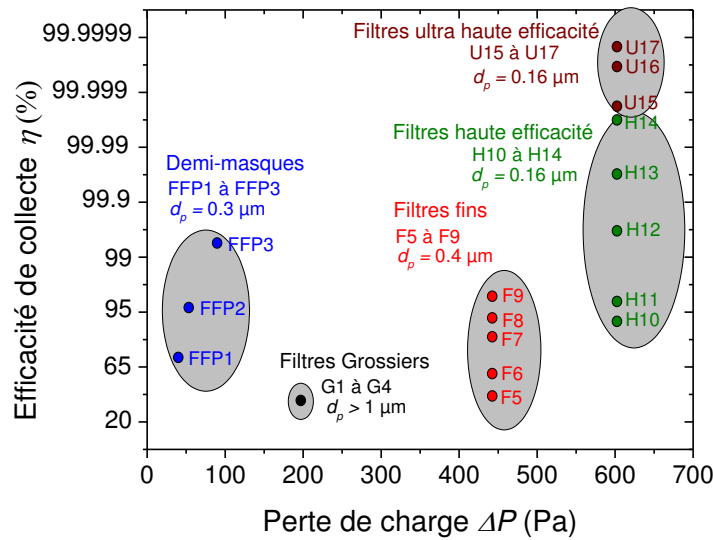


Figure I.24 : Classification des filtres en fonction de l’efficacité, de la perte de charge et de la granulométrie [81]

I.3. Synthèse des travaux antérieurs à la thèse

Ce travail sur « Amélioration des performances des matériaux fibreux non-tissés, chargés par décharge couronne, utilisés pour la filtration de l’air » s’inscrit dans la continuité des recherches réalisées au sein de l’Institut PPRIME sur les deux axes suivantes :

- Etude de l’état de charge des matériaux fibreux, sous la direction de Lucien Dascalescu ;
- Etude de l’efficacité de collecte des précipitateurs électrostatiques, encadrée par Nouredine Zouzou.

I.3.1. Etat de charge des medias fibreux chargés par décharge couronne

L’étude de l’état de charge des matériaux fibreux non-tissés est l’un des sujets de recherche de l’équipe dirigée par le Prof. Lucien Dascalescu sur le site de l’IUT d’Angoulême de l’Institut PPRIME. Le tableau I.8 regroupe les doctorants ayant travaillé au sein de cette équipe sur des sujets proches de celui de la thèse, depuis 2005.

Le premier doctorant ayant réalisé des mesures de potentiel de surface à Angoulême est Adrian-Florin Mihalcioiu [72]. Il a mis au point le premier instrument virtuel pour l’acquisition et le traitement des données fournies par le banc expérimental : des mesures de potentiel de surface, réalisées avec un voltmètre électrostatique relié à un électromètre, équipé d’une liaison GPIB permettant la connexion avec un ordinateur. Belaid Tabti [3] a effectué les premières mesures de potentiel électrique à la surface des médias isolants non-tissés. Il a mis au point un système de déplacement des échantillons entre le poste de charge par effet couronne et le poste de mesure par sonde électrostatique, en utilisant des capteurs de fin de course, qui ont permis le fonctionnement

semi-automatisé du banc expérimental et l’obtention des résultats reproductibles. Ses travaux de recherche ont permis de comprendre certains mécanismes physiques responsables du déclin du potentiel de surface sur les medias non-tissés en polypropylène, notamment l’influence de la température, de l’humidité et de l’intensité de la décharge couronne. Ces paramètres affectent considérablement la dynamique du déclin de potentiel de surface.

Le banc expérimental de Belaid Tabti a servi à la réalisation des premières expériences décrites dans le chapitre 2 de cette thèse, visant la caractérisation de la sonde du voltmètre électrostatique et la compréhension de la signification des mesures réalisées par celle-ci en position statique et en mouvement (mode dynamique). Le banc existant s’est montré limité sur deux points : le mécanisme de déplacement des échantillons et le logiciel d’acquisition. Les vitesses de déplacement n’étaient pas ajustables dans les limites souhaitées et le logiciel d’acquisition ne pouvait réaliser que 5 mesures par seconde, soit une période d’acquisition de 0,2 s. Afin d’améliorer les conditions de travail, un autre banc expérimental a été mis au point, pour assurer une meilleure précision de déplacement des échantillons. Ce deuxième banc donne au chercheur la possibilité de faire une cartographie 2D du potentiel de surface. L’autre amélioration concerne le logiciel d’acquisition. Celui-ci offre désormais la possibilité de choisir des fréquences d’acquisition élevées, allant jusqu’à 48 kHz (limite de la carte d’acquisition). Cependant l’utilisateur sera limité par la fréquence d’acquisition de la sonde électrostatique (5 kHz) pour les mesures de potentiel de surface.

Tableau I.8 : Doctorants ayant travaillé sous la direction de Lucien Dascalescu sur un sujet proche du domaine d’étude depuis 2005

Thésard	Sujet de thèse	Année
B.Tabti	Contribution à la caractérisation des filtres à électret par la mesure du déclin du potentiel de surface	2011
Octavian Blejan	Contribution à l’amélioration du rendement des filtres électrostatiques	2009
Subhankar Das	Electrostatic charging and separation of fine particles	2007
Adrian-Florin Mihalcioiu	Techniques de mesure et instrumentation virtuelle pour l’étude des processus électrostatiques	2005

I.3.2. Efficacité de collecte des medias fibreux chargés par décharge couronne

L’étude de l’efficacité de collecte est basée sur le site de Poitiers sous la direction de Nouredine Zouzou. L’étude de l’efficacité de collecte par des medias filtrants chargés par décharge couronne est un thème tout à fait nouveau sur le site, car les études antérieures concernent la précipitation électrostatique par décharge à barrière diélectrique. Des études sur

l’amélioration de la qualité de l’air par filtration électrostatique ont été effectuées, mais pas avec le même principe que celui qu’on a mené durant la thèse. En effet, à la place de la charge des particules (contexte de la précipitation électrostatique), nous avons chargé les fibres du media pour améliorer l’action des forces mécaniques qui agissent sur la capture des particules polluées qui se trouvent dans un écoulement d’air. Dans ce nouveau contexte, il a fallu :

- Créer un nouveau système pour la charge des medias filtrants par décharge couronne avec une configuration triode (Grille + électrode duale + plan de masse) ;
- Concevoir un banc expérimental pour la mesure de la concentration de particules en amont et en aval du filtre ;
- Créer un logiciel de traitement des données, pour un calcul simultané de l’efficacité de collecte des 14 étages (classes) du nanogranulomètre.

Nous avons conservé le système de génération de particules à partir de la combustion du bâton d’encens qui a été réalisé par Boni Dramane en 2009 [83]. Ce système a été repris par d’autres thésards encadrés par Nouredine Zouzou dans le même laboratoire, notamment Rabah Gouri en 2012 [84] et Arthur Aba’a Ndong en 2014 [85]. Le tableau I.9 regroupe les thésards ayant travaillé avec Nouredine Zouzou sur la précipitation électrostatique.

Tableau I.9 : Doctorants ayant travaillé sous la direction de Nouredine Zouzou sur un sujet proche du domaine d’étude depuis 2009

Thésard	Sujet de thèse	Année
Arthur Aba’a Ndong	Décharges à barrière diélectrique pulsée de volume et de surface appliquées à la précipitation électrostatique et à la régénération de surface	2014
Rabah Gouri	Optimisation électrique et géométrique d’un électrofiltre à barrière diélectrique en configuration fil-tube carré. Application aux particules submicroniques.	2012
Boni Dramane	Précipitation électrostatique de particules submicroniques par décharge à barrière diélectrique : étude électrique, granulométrique et aérodynamique	2009

Conclusion

1) La production des textiles non-tissés en Europe et dans le monde est en évolution constante. Ces matériaux offrent un avantage considérable aux industriels en termes de coûts et de délais de fabrication des textiles pour la filtration de particules fines et ultra fines.

2) Les études réalisées depuis une quarantaine d’années montrent que l’association des forces électrostatiques (force de Coulomb, force diélectrophorétiques,...) aux forces mécaniques (diffusion, interception et impaction inertielle) contribue significativement à l’amélioration de l’efficacité de collecte des medias non-tissés. Plusieurs techniques de charge de ces medias ont été étudiées par de nombreux chercheurs. Le meilleur contrôle de dépôt de charges peut être fait avec le système de charge « triode ». Il sera adopté aussi pour la réalisation des études présentées dans les chapitres suivants de cette thèse.

3) La caractérisation de l’état de charge des matériaux diélectriques peut être réalisée avec plusieurs techniques (thermique, acoustique, électroacoustique). Parmi ces techniques, la mesure du déclin de potentiel électrique de surface s’est imposée par sa simplicité et son caractère non intrusif (mesure sans contact). Elle sera utilisée par la suite de ce travail.

Chapitre **II**

INSTALLATIONS EXPERIMENTALES

Ce chapitre est structuré en trois parties, la première partie est concentrée sur l'étude de deux systèmes de génération de charges électriques par effet couronne, il s'agit du système classique « fil – plan » et du système triode « fil – grille – plan ». Nous étudierons l'évolution de la décharge couronne dans le temps, le profil de distribution du courant et les caractérisations courant – tension pour les deux polarités (positive et négative), en absence et présence du média filtrant. La deuxième partie décrit les bancs expérimentaux utilisés pour la caractérisation de l'état de charge des médias filtrants. Le banc expérimental utilisé pour la caractérisation de l'efficacité de collecte fait l'objet de la troisième partie.

II.1. Systèmes de charge électrique des médias filtrants

Les charges électriques présentes à la surface ou dans le volume des médias non-tissés en polypropylène améliorent l'efficacité de collecte des particules polluées présentes dans l'air. Dans cette partie de l'étude, nous allons nous intéresser uniquement au processus de charge électrique des médias. Ainsi, nous allons caractériser plusieurs types de configurations d'électrodes utilisées pour la génération de charges électriques par décharge couronne. Nous allons nous intéresser principalement à l'étude des configurations b et d de la figure II.1, respectivement le système « fil – plan » et le système triode « fil – grille – plan ».

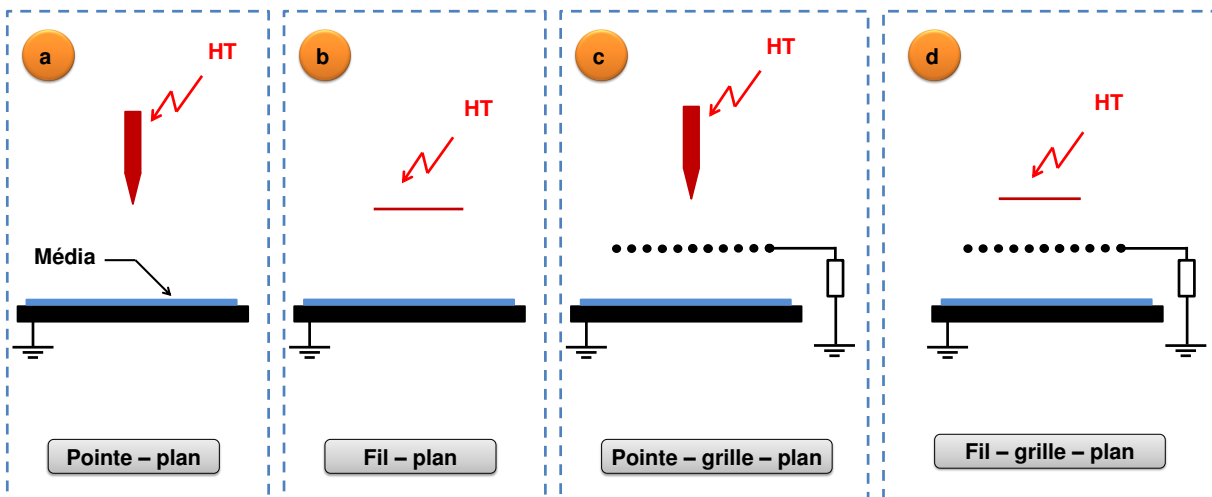


Figure II.1 : Exemples de systèmes de charge électrique des médias filtrants par décharge couronne.

II.1.1. Décharge couronne fil – plan

Du fait de la simplicité de mise en œuvre, la configuration « fil – plan » est l'une des plus utilisées dans les laboratoires de recherche pour produire une décharge couronne. Cette configuration nécessite seulement le contrôle de deux facteurs :

- D_f : distance inter-électrodes ;
- V_s : tension source, fournie par l'alimentation haute tension.

Nous allons étudier la caractéristique courant – tension, la distribution du courant sous l'électrode haute tension en fonction de la distance D_f et de la tension source V_s pour les deux polarités, positive et négative. Nous ferons une comparaison entre les résultats obtenus en présence et en absence du média filtrant.

II.1.1.1. Installation expérimentale

La figure II.2 illustre le schéma du montage utilisé pour la caractérisation électrique de la configuration fil – plan.

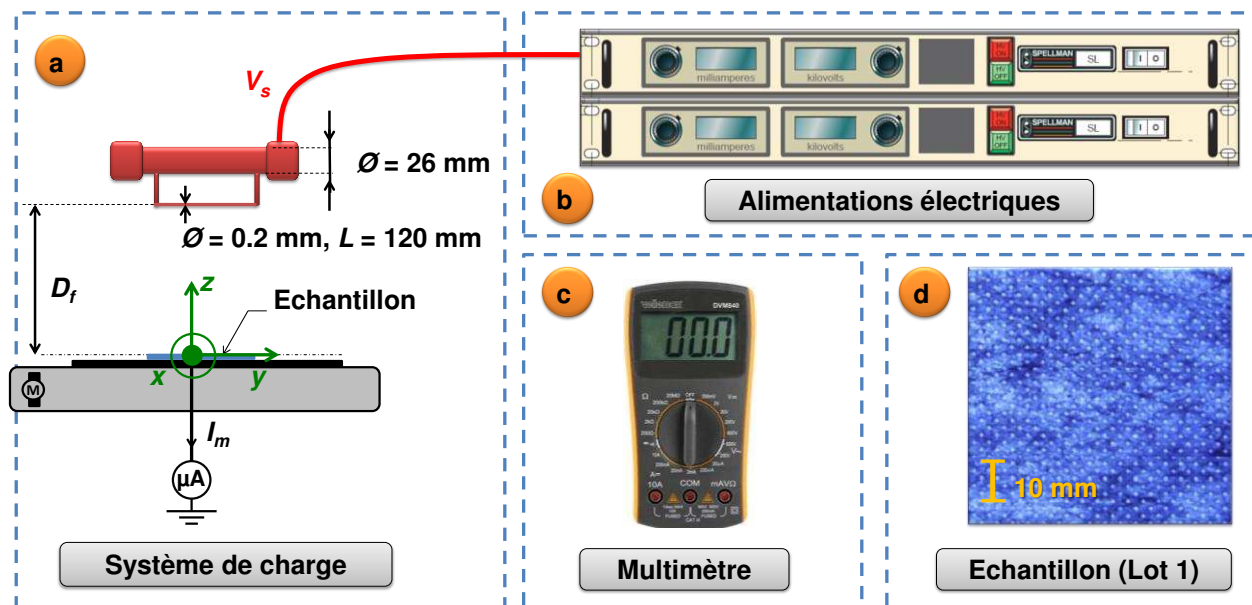


Figure II.2 : Installation expérimentale utilisée pour la caractérisation de la décharge couronne dans une configuration « fil – plan ». (a) Système d'électrodes ; (b) alimentations électriques ; (c) appareil de mesure de courant ; (d) le média filtrant.

Le schéma ci-dessus comporte quatre blocs, à savoir :

- (a) le système d'électrodes qui produit la décharge couronne ;
- (b) les alimentations électriques à haute tension ;
- (c) l'appareil de mesure du courant ;
- (d) le média filtrant.

A. Description des différents éléments de l'installation expérimentale

A.1. Système de charge par effet couronne : Ce système contient l'électrode active composée d'un cylindre et d'un fil de 0,2 mm de diamètre. Le cylindre a pour but d'orienter les lignes de champ électrique vers le média. Le support sur lequel est placée l'électrode de masse peut se déplacer suivant l'axe x, ce qui permet d'effectuer une mesure du profil du courant grâce à une plaque contenant une lame de 2 mm de large et 50 mm de longueur séparée du reste de l'électrode de masse par un espace diélectrique de 0,2 mm (figure II.3).

A.2. Alimentations électriques : Il s'agit ici de deux alimentations continues de marque SPELLMAN l'une positive et l'autre négative. La positive est un modèle SL40P150 (+40 kV, 3,75 mA, 150 W), et la négative est un modèle SL40N150 (-40 kV, -3,75 mA, 150 W).

A.3. Appareil de mesure de courant : Pour mesurer le courant de la décharge couronne, nous avons utilisé un multimètre de marque VELLEMAN model DVM840. Il s'agit d'un multimètre CAT. III 600V avec une précision relative de 1,5% pour des mesures de la gamme 200 μ A. L'appareil est protégé contre les surcharges (200 mA/250 V).

A.4. Média filtrant : Il s'agit d'un média en polypropylène, dont les fibres sont distribuées de manière aléatoire, d'où le nom de « non-tissé ». L'épaisseur du média est de 0,4 mm avec un diamètre moyen des fibres de 20 μ m. Les dimensions de chaque échantillon utilisé seront précisées dans les paramètres de configuration expérimentale.

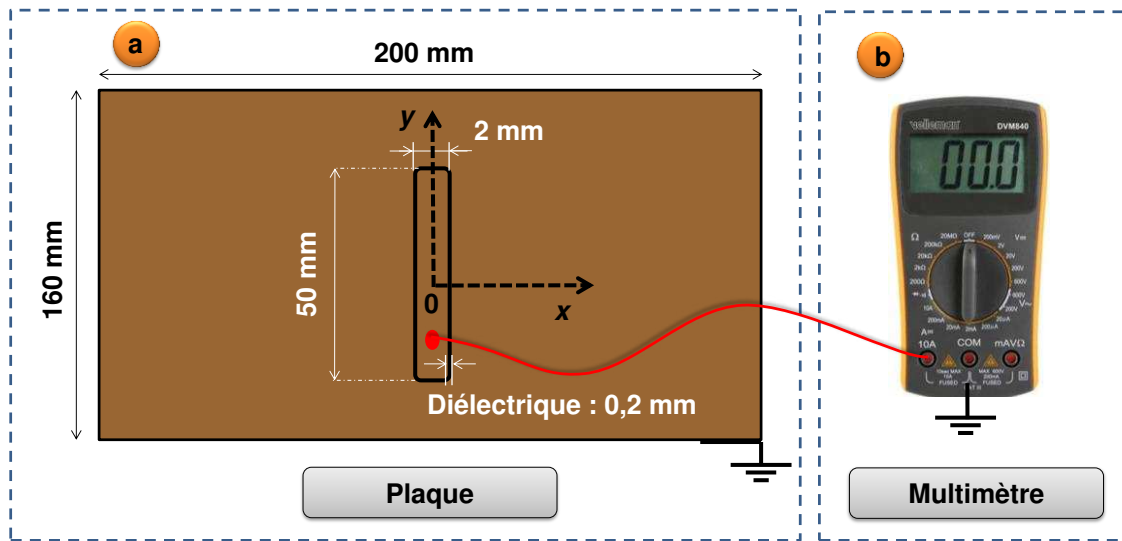


Figure II.3 : (a) Plaque utilisée pour la caractérisation de la distribution du courant. (b) Multimètre de mesure.

B. Protocole expérimental

Une fois les paramètres géométriques et électriques réglées, nous mettons en marche l'alimentation haute tension connectée à l'électrode de décharge couronne, et nous notons la valeur mesurée par l'ampèremètre tout les 10 s pendant une minute. Une fois la minute écoulée, nous éteignons la décharge couronne et attendons 10 s avant de relancer une nouvelle mesure, ceci permettrait à l'alimentation de revenir à son état initial (0 kV).

Après avoir relevé les caractéristiques courant – tension de la configuration d'électrodes fil – plan, nous allons nous intéresser à la distribution du courant suivant l'axe des x. Pour mesurer le profil du courant, nous avons utilisé un plan de masse contenant une lame de 100 mm² (2 mm × 50 mm) déconnectée du reste du plan de masse par un espace diélectrique de 0,2 mm. La première mesure est effectuée en plaçant la lame de l'électrode de masse face à l'électrode haute tension, puis elle est déplacée de 2 mm suivant l'axe des x, jusqu'à atteindre un courant I_m nul. Connaissant la surface de la lame, il est possible de présenter la densité de courant J_m à la place d' I_m . Les paramètres de l'étude sont la tension source V_s et la distance D_f (distance entre le fil et le plan de masse).

Il est important de noter que les expériences ont été réalisées à une température comprise entre 22°C et 26°C pour une humidité relative variant entre 36% et 53%. Pour éviter de détériorer le matériel électrique, nous avons limité le courant source I_s de l'alimentation à 0,3 mA et nous avons veillé à ne pas dépasser un courant I_m de 290 μA à travers l'échantillon de média non-tissé, peu importe la distance D_f et la tension V_s . Quelle que soit la polarité de la source de tension utilisée, les niveaux de tension et de courant sont indiqués en valeur absolue.

II.1.1.2. Résultats et interprétations des mesures

Les mesures obtenues nous ont permis de relever la caractéristique courant – tension et la distribution de la densité du courant à la surface de l'électrode de masse dans plusieurs situations d'intérêt pour notre étude.

A. Caractéristique courant – tension

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à l'étude des courbes courant – tension en configuration fil – plan pour plusieurs facteurs :

- Influence de la polarité ;
- Influence de la présence du média et de sa taille ;
- Et l'influence de la durée de la décharge couronne (T_c).

A.1. Effet de la polarité

La figure II.4 montre l'allure de la caractéristique courant – tension d'une configuration fil – plan pour les des deux polarités.

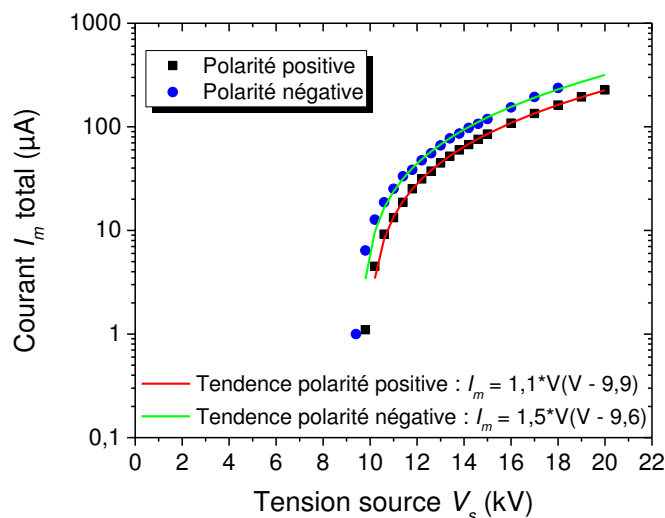


Figure II.4 : Caractéristiques courant-tension en absence du média. Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, distance fil – plan de masse $D_f = 20$ mm, $T = 22^\circ\text{C}$ et $HR = 53\%$.

À partir de la tension seuil d'amorçage de la décharge couronne (V_0), le courant augmente graduellement suivant une loi de type [86] :

$$I_m = C \cdot V_s \cdot (V_s - V_0) \quad (\text{II.1})$$

Où « C » est une constante qui dépend de la géométrie, la température, la pression et la composition du gaz. Les courbes expérimentales obtenues nous permettent de déduire les courbes de tendances pour les deux polarités (voir tableau II.1).

Tableau II.1 : Paramètres d'ajustement entre les points expérimentaux et l'équation (II.1)

Paramètre	Polarité positive	Polarité négative
C ($\mu\text{A}/\text{kV}^2$)	1,1	1,5
V_0 (kV)	9,9	9,6

La tension d'ionisation de la décharge couronne négative est généralement plus faible comparée à la positive ($V_s^- < V_s^+$). De plus, le courant I_m de polarité négative est supérieur à celui généré en polarité positive, dû à une mobilité des porteurs de charge plus importante en polarité négative ($C^- > C^+$). Par ailleurs, l'apparence visuelle des deux décharges est complètement différente. La décharge couronne négative génère des spots lumineux discrets bien répartis le long du fil appelés « Tufts » [87], tandis que la décharge positive se développe sous forme d'une gaine lumineuse uniforme autour du fil comme le montre la figure II.5.

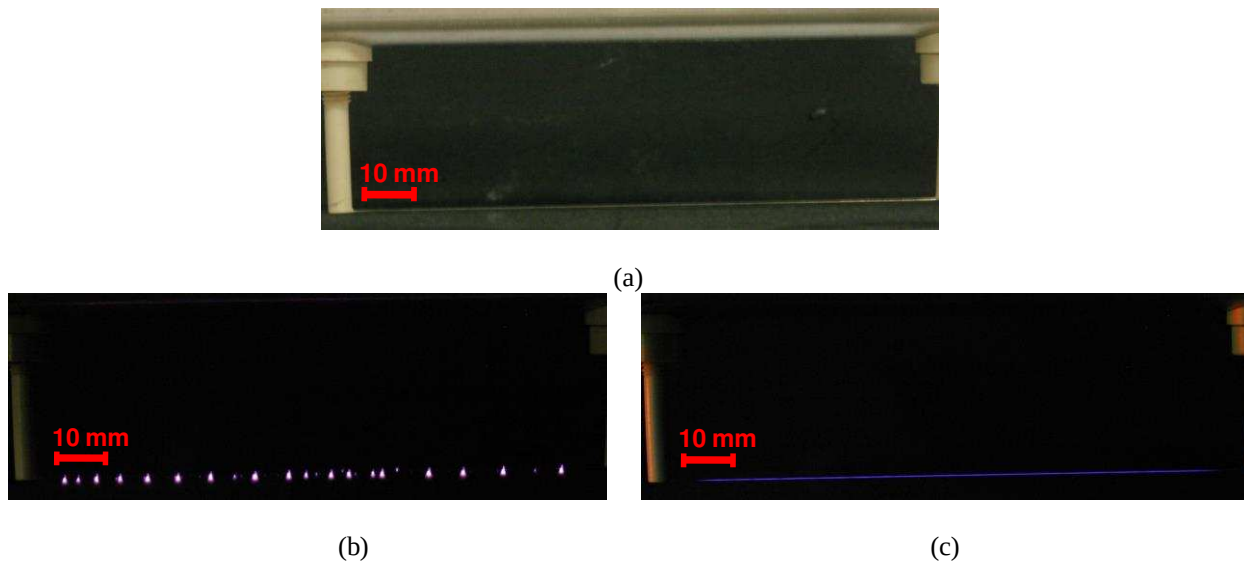


Figure II.5 : Photographies d'une décharge couronne positive et négative : (a) $V_s = 0$ kV, (b) $V_s = - 8$ kV, (c) $V_s = + 8$ kV. Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, $D_f = 9$ mm, $T = 24^\circ\text{C}$ et $\text{HR} = 50\%$.

A.2. Effet de la présence du média

La figure II.6 montre l'effet de la présence du média en polarité positive (figure II.6(a)) et en polarité négative (figure II.6(b)).

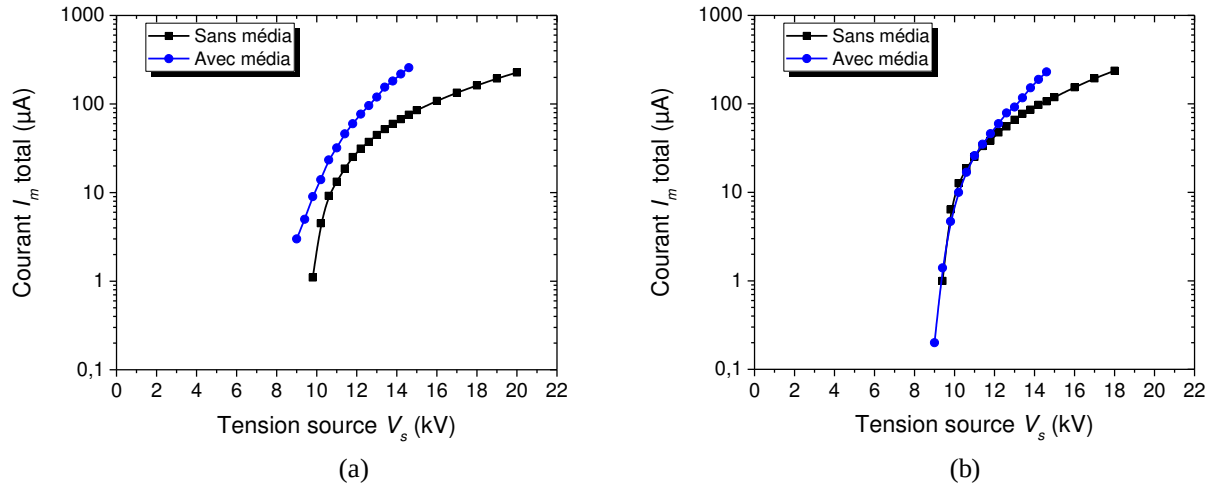


Figure II.6 : Caractéristiques courant-tension en présence et en absence du média. (a) Polarité positive ; (b) polarité négative. Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_f = 20$ mm, $T = 22^\circ\text{C}$ et $HR = 53\%$.

Pour les deux polarités, la présence du media a pour effet un appel fort de courant lorsque la tension source appliquée devient importante. L'effet est plus significatif en polarité positive, où le courant I_m est toujours supérieur au courant généré en absence du media. Ceci peut être expliqué par l'apparition de la décharge couronne inverse, due au champ électrique intense créé à l'interface entre le média fibreux très bien chargé et l'électrode plane liée à la terre.

A.3. Effet de la taille de l'échantillon

La figure II.7 montre l'effet de la taille de l'échantillon sur le courant I_m lors de la décharge couronne pour des variations de l'échantillon suivant les directions x (variations de la longueur L) et y (variations de la largeur l). La figure II.7(a) donne les résultats du courant I_m pour les variations de la longueur L en maintenant la largeur l fixe (150 mm), tandis que la figure II.7(b) montre les résultats pour les variations de la largeur l pour une longueur L fixée à 200 mm.

Les résultats montrent que la modification de la taille de l'échantillon suivant l'axe des x a très peu d'influence sur la caractéristique courant – tension. En effet, dans cette direction, le fil (électrode HT) se trouve toujours face à une surface de l'électrode de masse couverte par le média. Dans le cas de la réduction de la largeur l dans la direction des y , une partie de plus en plus importante de la décharge couronne se trouve face au plan de masse, ce qui explique une caractéristique courant – tension qui tend vers celle obtenue sans média.

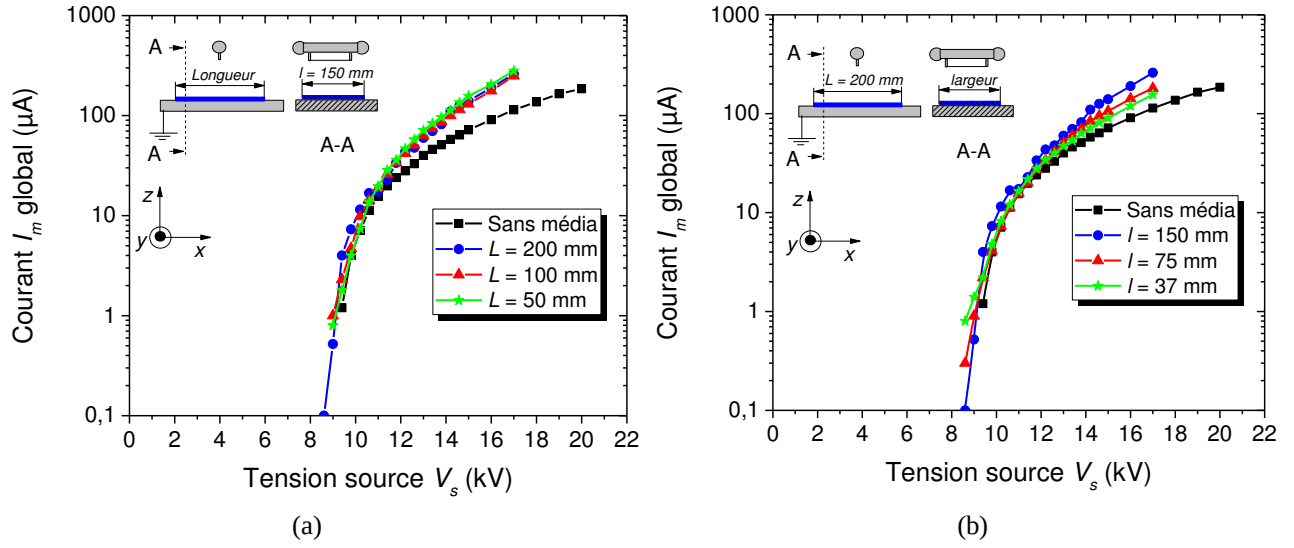


Figure II.7 : Influence de la taille de l'échantillon. (a) Variations de L suivant l'axe x ; (b) Variations de l suivant l'axe y . Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, polarité positive, lot 1, l et L représentent respectivement la largeur et la longueur de l'échantillon, $D_f = 20$ mm, $T = 24^\circ C$ et $HR = 36\%$.

A.4. Effet de la durée de la décharge couronne

La figure II.8 illustre l'effet de la durée de la décharge couronne (T_c) en absence du média (figure II.8(a)) et en présence du média (figure II.8(b)) sur le courant global I_m mesuré lors de la décharge couronne.

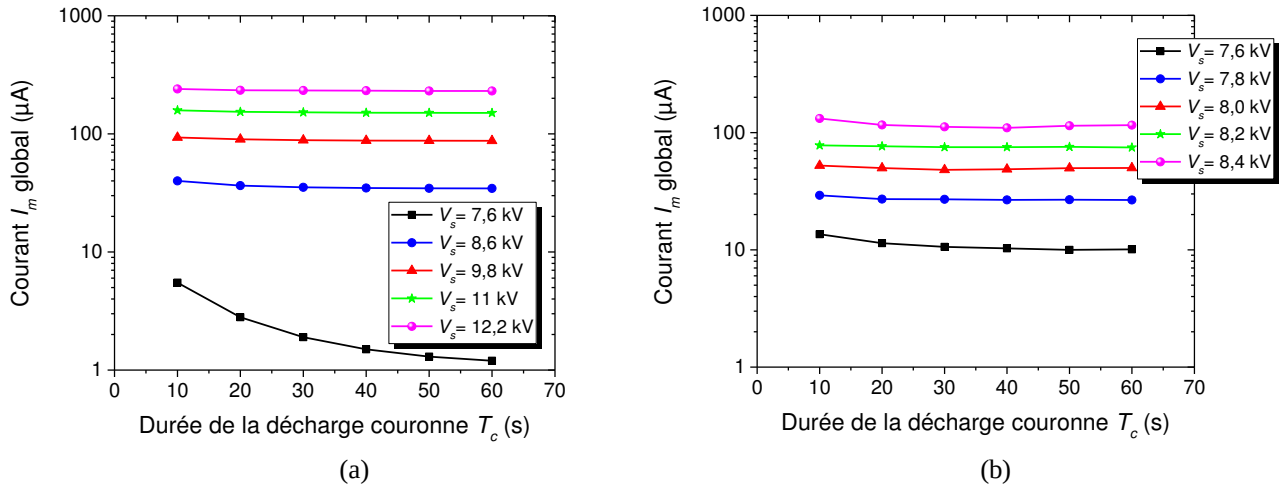


Figure II.8 : Influence de la durée de la décharge couronne T_c en absence (a) et en présence (b) du média. Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, Lot 1, $l = L = 100$ mm, $D_f = 10$ mm, $T = 26^\circ C$ et $HR = 44\%$.

En présence ou en absence du média, le courant I_m enregistré en début de la décharge couronne (ici 10 s) est toujours supérieur à celui enregistré au bout d'une minute. La différence entre les deux courants mesurés aux deux instants ($T_c = 10$ s et $T_c = 60$ s) est plus remarquable en présence du media. En effet, la présence du média fait appel à un courant fort au début de la décharge, puis après 30 s, la décharge retrouve un régime stable. En absence du media, lorsque la tension source est loin de la zone critique d'amorçage de la décharge couronne, le courant I_m enregistré est presque identique durant les 60 premières secondes. Lorsque la tension source est proche de la tension d'amorçage de la décharge couronne, le courant I_m tend rapidement vers 0, comme le montre la figure II.8(a) pour $V_s = 7,6$ kV.

B. Distribution du courant

Avec la plaque présentée précédemment pour la mesure du courant I_m (figure II.3), nous allons mesurer la distribution du courant I_m suivant la position x de la sonde de mesure, nous nous intéresserons principalement à la densité de courant J_m , qui est donnée par la relation :

$$J_m = \frac{I_m}{S} \quad (\text{II.2})$$

avec,

I_m : le courant mesuré par la sonde (voir la figure II.3);

S : la surface de la lame de mesure (2 mm×50 mm).

Pour différentes distances de D_f (fil couronne – plan de masse), nous réaliserons les mesures pour un potentiel source V_s constant, et pour un courant I_m constant (lame en position centrale $x = 0$).

B.1. Variation de D_f pour V_s constant

La figure II.9(a) illustre la distribution du courant suivant la position x du capteur de courant, tandis que la figure II.9(b) montre le même résultat, mais en valeurs normalisées pour différentes distances D_f .

Les résultats obtenus montrent une densité du courant plus forte au centre, qui décroît vers les extrémités de l'électrode reliée à la terre. Le profil de la distribution du courant a une forme qui dépend de la distance D_f . Lorsqu'on augmente D_f pour la même tension source V_s , la fenêtre de distribution du courant devient plus large au détriment de l'intensité du courant distribué au centre.

D'après E. Jones [88], la loi de distribution de la densité du courant pour une configuration pointe – plan est de la forme :

$$J(x) = J(0) \cdot \cos(\theta)^m = J(0) \cdot \cos\left(\arctan\left(\frac{x}{D_f}\right)\right)^m \quad (\text{II.3})$$

avec,

$J(0)$: la densité du courant au point d'abscisse $x = 0$;

m : coefficient ($m = 4,82$ pour une décharge couronne positive et $m = 4,65$ pour une décharge couronne négative);

θ : angle formé entre la position x et la hauteur D_f ;

La loi de croissance obtenue ici avec la configuration fil – plan suit bien celle décrite dans l'équation (II.3) pour les deux hauteurs $D_f = 20$ mm et 40 mm.

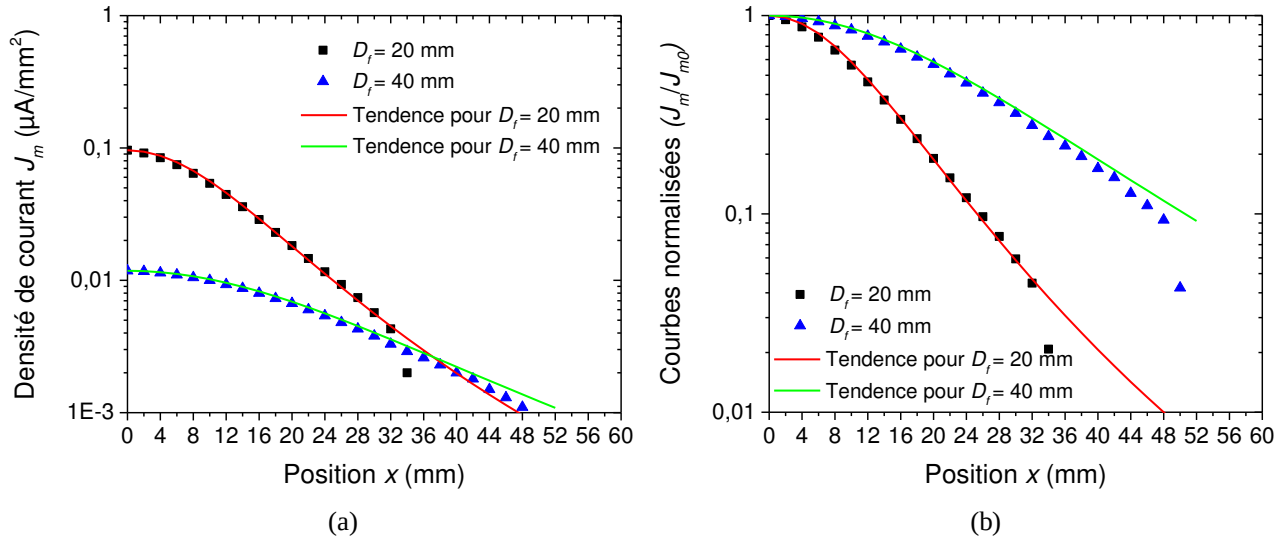


Figure II.9 : (a) Distribution de courant suivant la position x en fonction de D_f pour V_s constant ; (b) courbes normalisées. Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, polarité positive, capteur de courant (une lame) de largeur $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, $T = 25^\circ C$ et $HR = 47\%$, $V_s = 22,8$ kV.

B.2. Variation de D_f pour I_{m0} constant

La distribution du courant dépend essentiellement du champ électrique moyen E_{moy} , qui est lié au potentiel source V_s et à la distance D_f . Pour confirmer l'hypothèse avancée, nous allons à présent fixer le même courant I_m au centre (I_{m0}), puis mesurer la distribution du courant suivant la position x du capteur de courant pour différentes valeurs de D_f .

Pour maintenir constant le courant I_m lorsque la distance D_f augmente, il est important d'augmenter la tension source V_s . Nous constatons que le rapport entre la tension source V_s et la distance D_f est proche pour le courant I_{m0} . Nous pouvons en déduire que l'application du même champ électrique au centre permet d'obtenir le même courant I_m au centre peu importe la valeur

de D_f . Cependant le champ de distribution du courant n'est pas le même pour les différentes distance D_f . En effet, l'augmentation de D_f a pour effet de couvrir une zone de distribution de charges plus large comme le montre la figure II.10.

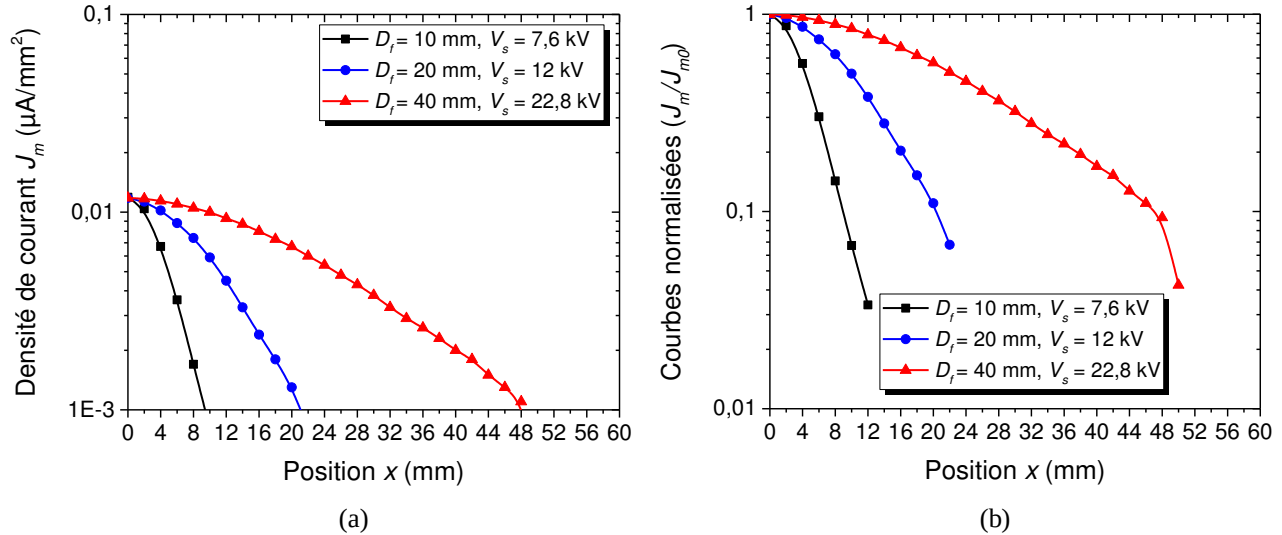


Figure II.10 : (a) Distribution de courant suivant l'axe des x pour une densité de courant J_{m0} constante ; (b) courbes normalisées. Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, capteur de courant (une lame) de largeur $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, $T = 25^\circ C$ et $HR = 47\%$, $J_{m0} = 0,0118 \mu A/mm^2$.

B.3. Effet de la polarité et de la présence du média

La figure II.11(a) montre une comparaison des deux polarités sur la distribution du courant suivant l'axe des x, et la figure II.11(b) illustre la distribution du courant en présence et en absence du média en polarité positive. L'étude de la caractérisation courant – tension montre un appel fort du courant en polarité négative, ce résultat se confirme sur le profil de distribution du courant. En faisant la comparaison entre la distribution de la densité du courant en présence et en absence du média, nous pouvons noter une similarité avec les résultats de la caractéristique courant – tension. L'augmentation de la densité du courant en présence du média est essentiellement dû à l'augmentation de la taille de l'échantillon dans la direction y. En augmentant la surface de l'échantillon, la zone sous l'électrode haute tension est couverte, ce qui permet à l'échantillon de recevoir plus de charges électriques.

Nous avons étudié l'ensemble des paramètres de la configuration fil – plan, l'un des paramètres importants de cette étude est le champ électrique moyen E_{moy} qui dépend certes de la forme géométrique de l'électrode active, mais surtout de la tension source V_s et la distance D_f . L'augmentation du champ électrique moyen permet d'intensifier la densité du courant de décharge sous l'électrode haute tension et l'augmentation de D_f permet d'élargir la zone de dérive des ions.

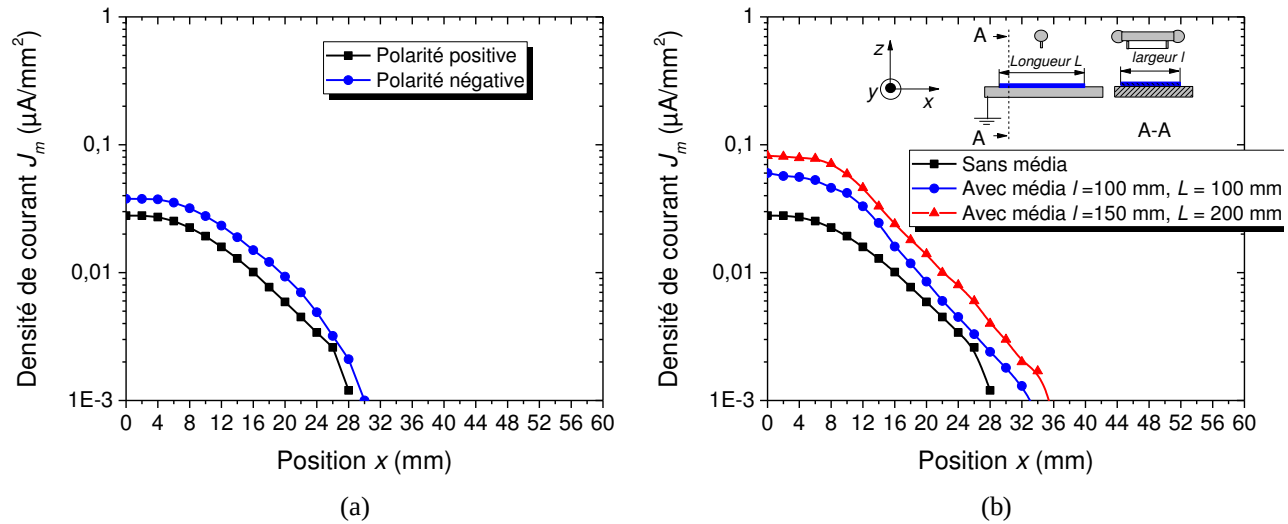


Figure II.11 : Influence de la polarité sans média (a) et de la présence du média en polarité positive (b) sur la distribution de courant suivant la position x pour V_s constant. Conditions expérimentales : Configuration fil – plan, lot 1, capteur de courant (une lame) de largeur $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, $T = 26^\circ\text{C}$ et $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.

II.1.2. Décharge couronne triode (fil – grille – plan)

Dans cette nouvelle configuration, nous utiliserons les mêmes éléments que précédemment pour la caractérisation de la décharge couronne fil – plan, à savoir :

- Les alimentations électriques ;
- L'électrode haute tension et le plan de masse ;
- L'appareil de mesure.

L'élément nouveau dans cette configuration est l'ajout d'une grille entre le fil et le plan de masse.

Les recherches menées au sein de l'équipe ElectroFluidodynamique (EFD) sur cette géométrie d'électrode montrent un meilleur contrôle de la décharge couronne et une uniformisation du dépôt de charges électriques sur les surfaces.

II.1.2.1. Installation expérimentale

L'installation expérimentale utilisée dans cette étude ressemble rigoureusement à celle utilisée précédemment sur le système fil – plan, à l'exception de la grille qui modifie la géométrie du système de charge. La figure II.12 illustre le dispositif expérimental.

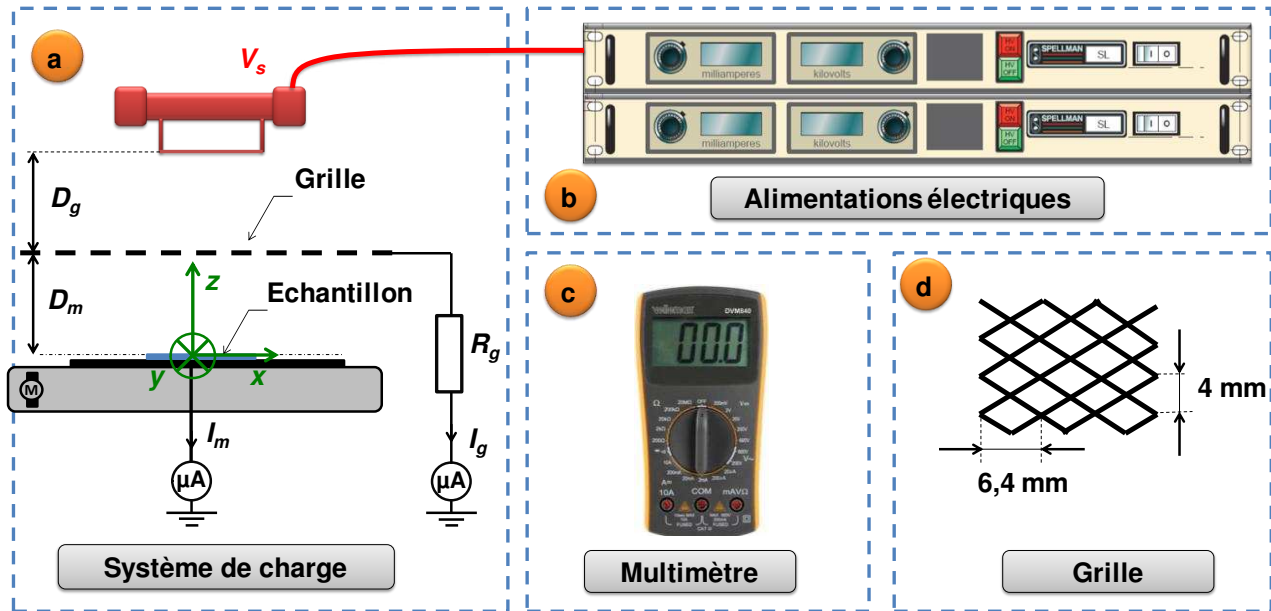


Figure II.12 : Installation expérimentale pour la caractérisation de la décharge couronne dans une configuration d'électrodes « fil – grille - plan ». (a) Système d'électrodes ; (b) alimentation à haute tension ; (c) instrument de mesure ; (d) aspect de l'électrode grille.

La présence de la grille rajoute quatre nouveaux paramètres à l'étude :

- D_m , distance entre la grille et le plan de masse ;
- D_g , distance entre la grille et le fil – électrode ;
- R_g et I_g , respectivement la résistance et le courant de grille qui permettent de contrôler le potentiel de grille que l'on nomme V_g .

II.1.2.2. Résultats et interprétations des mesures

Dans une première partie, nous présenterons la caractérisation courant – tension en analysant l'effet de la polarité et de la présence du média en configuration triode, puis nous nous intéresserons à la distribution du courant. Avec cette nouvelle configuration d'électrodes on étudiera l'effet de la présence de la grille ainsi que les effets des nouveaux paramètres ajoutés à savoir :

- Distance fil – grille (D_g) ;
- Distance grille – plan de masse (D_m) ;
- Résistance de grille (R_g).

A. Caractéristique courant – tension

A.1. Effet de la polarité

La configuration triode se caractérise par deux courants caractérisant la décharge couronne : le courant de grille $I_g (= V_g/R_g)$ et le courant I_m récolté au niveau du plan de masse. Mais comme pour la configuration fil – plan, la polarité négative fait toujours appel à un courant de décharge plus élevé avec la configuration triode (figure II.13). Le contrôle du potentiel V_g passe par la maîtrise de la valeur du courant de grille en ajustant la valeur de la tension de la source V_s .

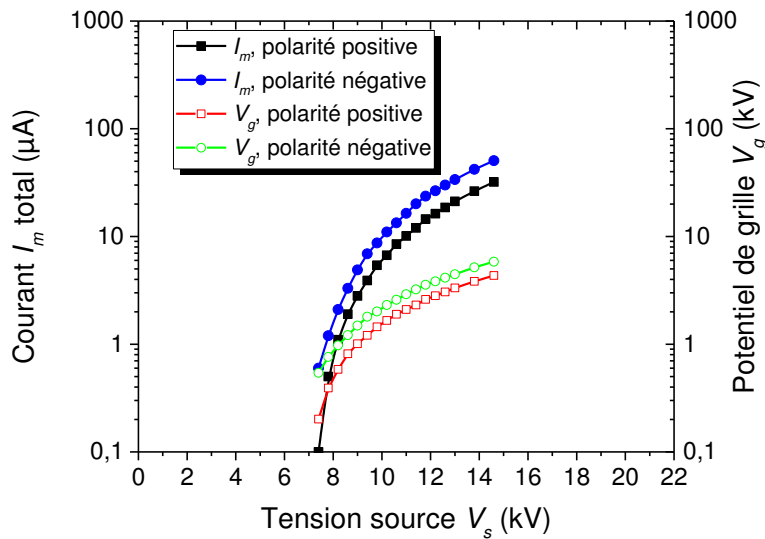


Figure II.13 : Influence de la polarité en absence du média. Conditions expérimentales : Configuration fil – grille – plan, $R_g = 20 \text{ M}\Omega$, lot 1, $l = 100 \text{ mm}$ et $L = 150 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 22^\circ\text{C}$ et $HR = 53\%$.

Les résultats expérimentaux obtenus nous permettent de déduire les courbes de tendances en utilisant l'équation (II.1) Les résultats de l'interpolation sont indiqués dans le tableau II.2.

Nous pouvons constater que le seuil de déclenchement de la décharge couronne (V_0) est plus faible en polarité négative, comparé à celui de la polarité positive, cependant le courant I_m généré est plus important en polarité négative.

Tableau II.2 : Paramètres d'ajustement entre les points expérimentaux et l'équation (II.1)

Paramètres	Polarité positive	Polarité négative
C ($\mu\text{A}/\text{kV}^2$)	0,3	0,5
V_0 (kV)	7,9	7,8

A.2. Effet de la présence du média

La figure II.14 montre que pour les deux polarités, la présence du média n'a pas une influence significative sur le potentiel de grille V_g . L'effet du media se manifeste surtout sur le courant I_m récolté au niveau du plan de masse. Pour une tension V_s constante et inférieure à 14 kV, le courant I_m est moins important en présence du média pour les deux polarités. En effet, lorsque le champ électrique moyen E_{moy} est faible, la résistivité du matériau empêche les ions de pénétrer en profondeur vers le plan de masse. En augmentant la tension source V_s , on augmente le champ électrique moyen E_{moy} , ce qui permet d'accélérer le mouvement des ions vers le plan de masse, d'où la réduction de l'écart entre le courant mesuré en présence du média et celui mesuré en absence du média. À partir d'un certain seuil de la tension source ($V_s \approx 14$ kV) le media n'est plus résistif. En accumulant les charges électriques, le média favorise l'apparition d'une décharge couronne inverse ; le courant mesuré dépasse celui crée en absence du média.

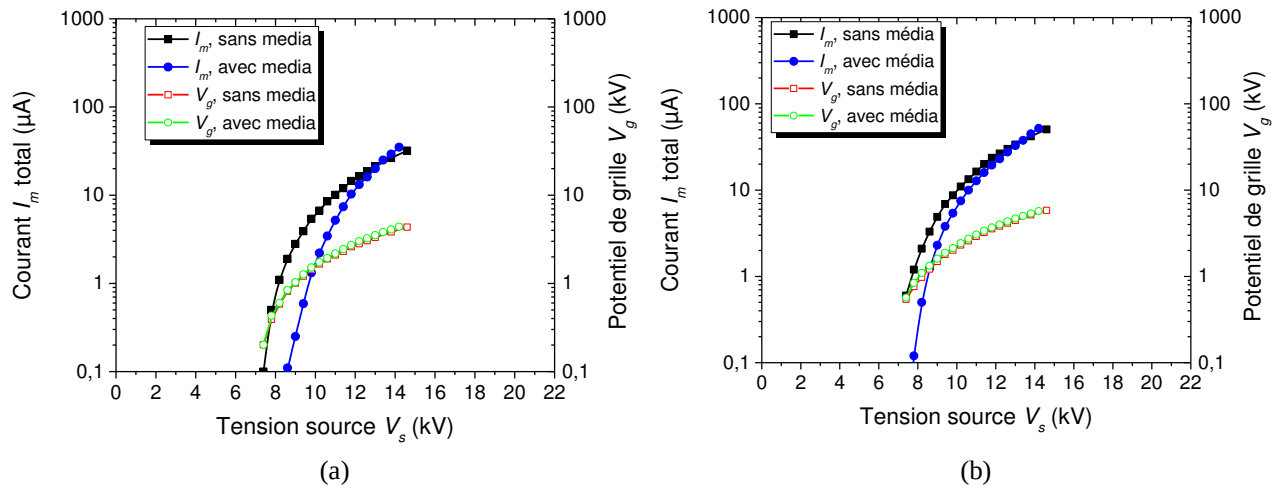


Figure II.14 : Influence de la présence du média en polarité positive (a) et négative (b). Conditions expérimentales : Configuration fil – grille – plan, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $R_g = 20$ M Ω , $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 22^\circ C$ et $HR = 53\%$.

A.3. Effet de la présence de la grille

Les résultats de la figure II.15 montrent qu'en présence de la grille et pour la même distance entre le fil et le plan de masse, la décharge couronne débute à un niveau de tension V_s plus faible comparé à la configuration triode. En absence du média, jusqu'à une tension seuil de 10,4 kV, le courant récolté au plan de masse pour la configuration triode est supérieur à celui enregistré en configuration fil – plan, la tendance s'inverse pour les tensions élevées supérieures à 10,4 kV.

En présence du média, le courant I_m récolté au plan de masse en configuration triode est toujours inférieur à celui enregistré en configuration fil – plan. En effet, pour les tensions faibles,

la présence du média bloque le passage du courant I_m , par contre pour les tensions élevées une grande partie des ions emprunte le circuit de la grille vers la masse. Par conséquent, en présence du média le courant I_m restera toujours inférieur en configuration triode. Cependant, la configuration triode permet d'imposer un champ électrique moyen $E' (=V_g/D_m)$ quasi-uniforme entre la grille et la surface de l'échantillon à charger.

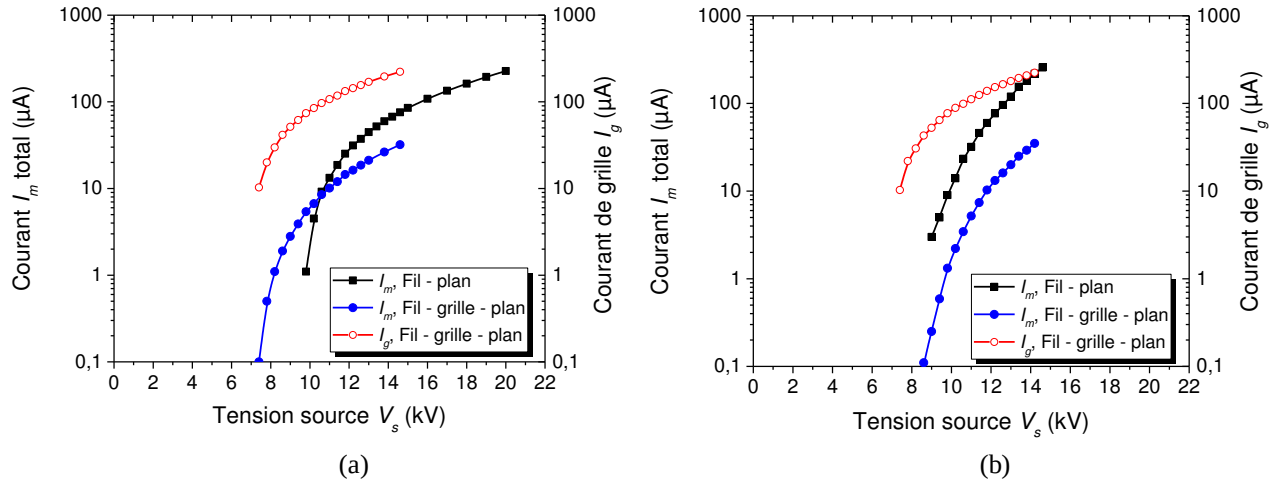


Figure II.15 : Influence du mode de charge en absence (a) et en présence (b) du média. Conditions expérimentales : Polarité positive, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $R_g = 20$ M Ω , $D_g = D_m = 10$ mm, $D_f = 20$ mm, $T = 22^\circ C$ et $HR = 53\%$.

Nous allons maintenant nous intéresser à la distribution de la densité du courant I_m avec le système triode, on étudiera aussi l'effet de la variation des distances D_m et D_g sur la densité du courant tout en maintenant la tension source constante à 14,6 kV. Nous limitons la tension source V_s à 14,6 kV pour éviter de passer au claquage.

B. Distribution du courant

Nous analyserons ici, la distribution du courant en configuration d'électrodes « fil – grille – plan ». Dans cette étude, nous verrons l'effet du média, l'effet de la grille et les effets des paramètres de la grille (R_g , D_g et D_m).

B.1. Effets de la présence du média

Nous constatons sur les deux graphiques de la figure II.16 une similarité des profils de distribution de la densité du courant I_m en présence et en absence du média. Il s'agit ici de la densité d'un courant localisé sur une lame ayant une surface de 100 mm^2 , ce qui veut dire que dans la direction x , la distribution de la densité du courant avec la grille permet d'obtenir le même courant en présence et en absence de média.

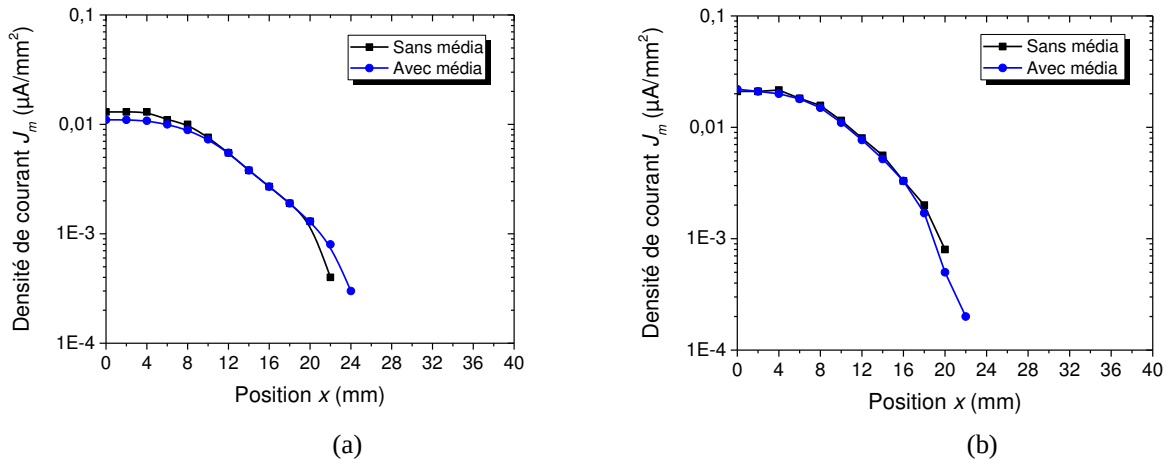


Figure II.16 : Distribution de courant suivant la position x pour V_s constant, à polarité positive (a) et négative (b). Conditions expérimentales : Configuration fil – grille – plan, capteur de courant (une lame) de largeur $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $R_g = 20$ M Ω , $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 26^\circ C$ et $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.

Nous allons maintenant étudier l'influence de D_m , distance entre la grille et le plan de masse, tout en maintenant D_g constant (distance entre le fil – électrode et la grille). Le potentiel source V_s est maintenu constant à 14,6 kV.

B.2. Effet de D_m

La figure II.17(a) représente les mesures de la densité du courant (J_m), tandis que la figure II.17(b) illustre les données normalisées (J_m/J_{m0}).

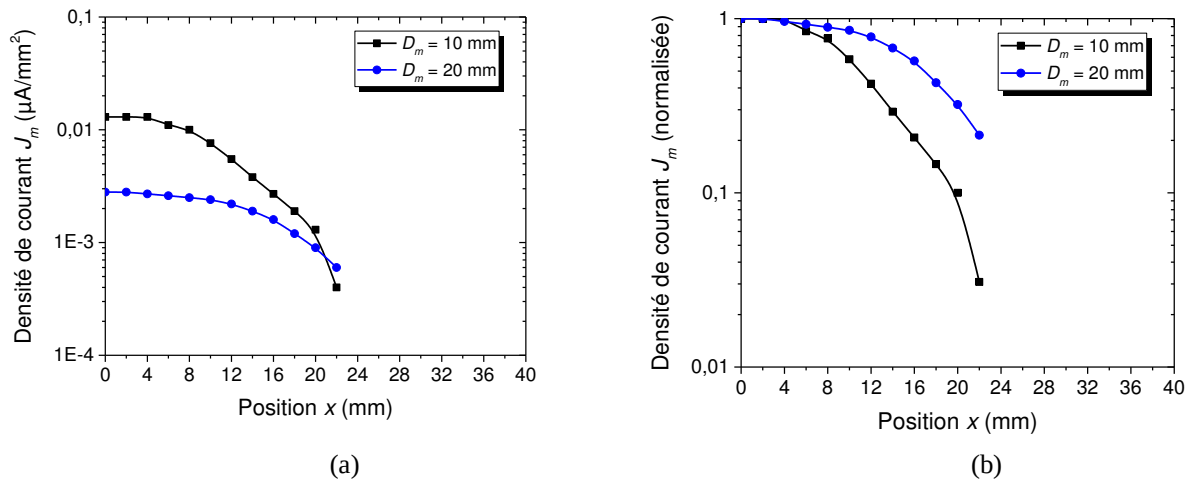


Figure II.17 : (a) Distribution de courant suivant la position x en fonction de D_m pour V_s constant ; (b) Courbes normalisées. Conditions expérimentales : Configuration fil – grille – plan, polarité positive, capteur de courant (une lame) de largeur $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, $R_g = 20$ M Ω , $D_g = 10$ mm, $T = 26^\circ C$ et $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.

Comme nous pouvons le constater, l'augmentation de la distance D_m a pour conséquence une diminution de l'intensité de la densité de courant (J_m), due à une baisse du champ électrique moyen ($E_{moy} = V_g/D_m$), par conséquent la densité de courant J_m devient faible mais la distribution est plus homogène. Les courbes normalisées nous montrent que le rapport (J_m/J_{m0}) décroît rapidement lorsque D_m diminue car la zone de dépôt de charges est plus faible. Nous obtenons une distribution plus homogène lorsque la distance D_m augmente, le seul inconvénient est le niveau de la charge distribuée qui devient plus faible lorsque D_m augmente.

Nous pouvons alors vérifier si les mêmes effets se retrouvent sur la variation de la distance D_g , pour cela nous fixons la distance D_m à 10 mm et nous faisons varier D_g . Nous ne prendrons ici que deux valeurs de D_g (10 mm et 20 mm) pour alléger l'étude tout en maintenant constant la tension source à 14,6 kV.

B.3. Effet de D_g

La figure II.18(a) montre la distribution de la densité de courant suivant la position x pour les deux distances de D_g (10 mm et 20 mm), tandis que la figure II.18(b) montre les courbes normalisées de la densité de courant (J_m/J_{m0}). L'effet de D_g sur la densité du courant dans le cas de la configuration triode est similaire à celui observé en configuration fil – plan avec la variation de D_f . Une diminution de l'intensité du courant due à l'affaiblissement du champ électrique lorsque D_g augmente est illustrée sur la figure II.18. Cependant l'augmentation de D_g permet d'élargir la zone d'ionisation.

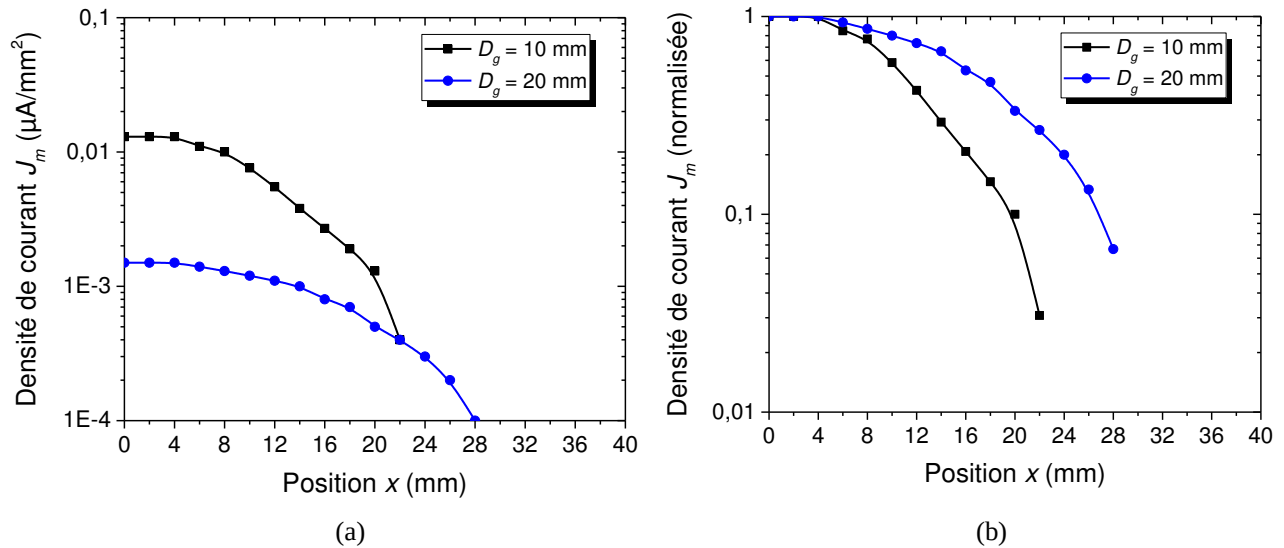


Figure II.18 : (a) Distribution de courant suivant la position x en fonction de D_g pour V_s constant ; (b) Courbes normalisées. Conditions expérimentales : Configuration fil – grille – plan, polarité positive, capteur de courant (une lame) de largeur $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, $R_g = 20$ MΩ, $D_m = 10$ mm, $T = 26^\circ C$ et $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.

B.4. Effet de R_g sur J_m et I_g

La figure II.19(a) montre l'effet de la variation de la résistance de grille R_g sur la densité du courant total ($J_{mT} = I_m/(150 \times 100)$), avec I_m étant le courant mesuré par l'ampèremètre qui est connecté au plan de masse. L'échantillon posé sur le plan de masse a pour dimensions $100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$. La figure II.19(b) illustre aussi l'effet de la variation de la résistance de grille R_g sur la densité du courant, mais cette fois en utilisant la lame de ($2 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) pour mesurer le courant. La densité du courant partiel (J_{mP}) mesuré par la lame de 100 mm^2 est comparée à celle obtenue avec le plan de masse en entier. La densité partielle du courant est donnée par $J_{mP} = I_m/(100)$, avec I_m étant le courant mesuré par l'ampèremètre qui est connecté à la lame de 100 mm^2 . La lame est positionnée au centre ($x = 0$) et elle est parallèle au fil de l'électrode (suivant l'axe des y), elle isolée du reste du plan de masse par un espace diélectrique de $0,2 \text{ mm}$.

Pour les deux expériences menées, les résultats obtenus ont la même allure. Cependant, la densité par rapport à la surface totale de l'échantillon J_{mT} est très faible devant la densité partielle J_{mP} , ce qui veut dire que le courant total en dehors de la zone centrale est moins influent. Pour les deux graphiques, nous obtenons un courant I_m stable à partir de $40 \text{ M}\Omega$. La résistance de grille R_g a plus d'influence sur le courant de grille I_g que sur le courant I_m . L'augmentation de R_g fait diminuer le courant I_g au bénéfice du courant I_m qui croît légèrement. Nous pouvons noter que la densité du courant dans les deux cas d'études se stabilise à partir de $R_g = 40 \text{ M}\Omega$.

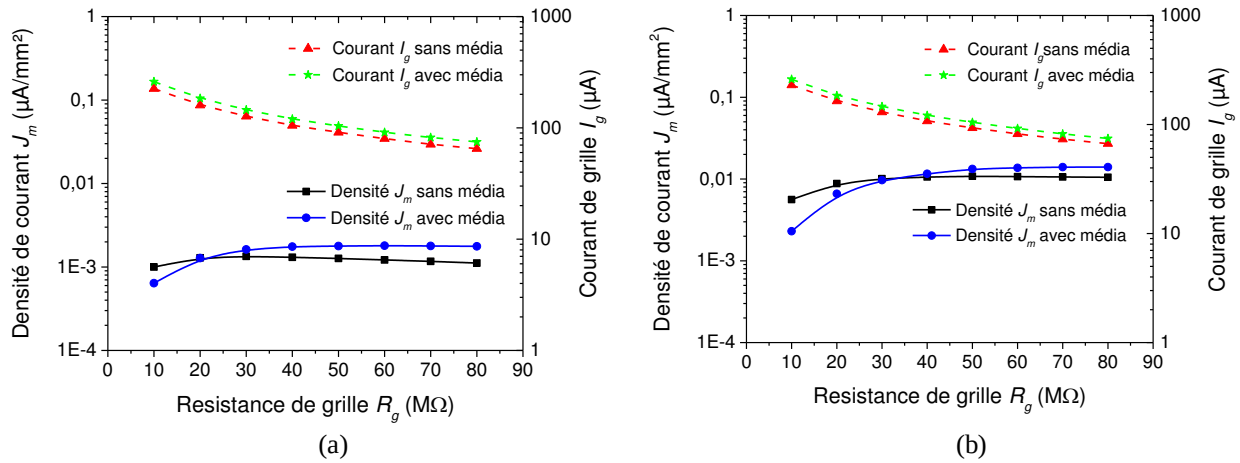


Figure II.19 : Influence de R_g sur le courant de grille I_g et sur la densité du courant total J_{mT} (a) et la densité du courant partiel J_{mP} (b). Conditions expérimentales : Configuration fil – grille – plan, polarité positive, capteur de courant (une lame) de largeur $L_s = 2 \text{ mm}$ et de longueur $L_s = 50 \text{ mm}$, lot 1, $l = 100 \text{ mm}$ $L = 150 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 26^\circ\text{C}$ et $\text{HR} = 49\%$, $V_s = 14,6 \text{ kV}$.

B.4. Effet de la présence de la grille

La figure II.20 illustre la distribution de la densité de courant suivant l'axe des x en absence du média (figure II.20(a)) et en présence du média (figure II.20(b)) pour les deux configurations.

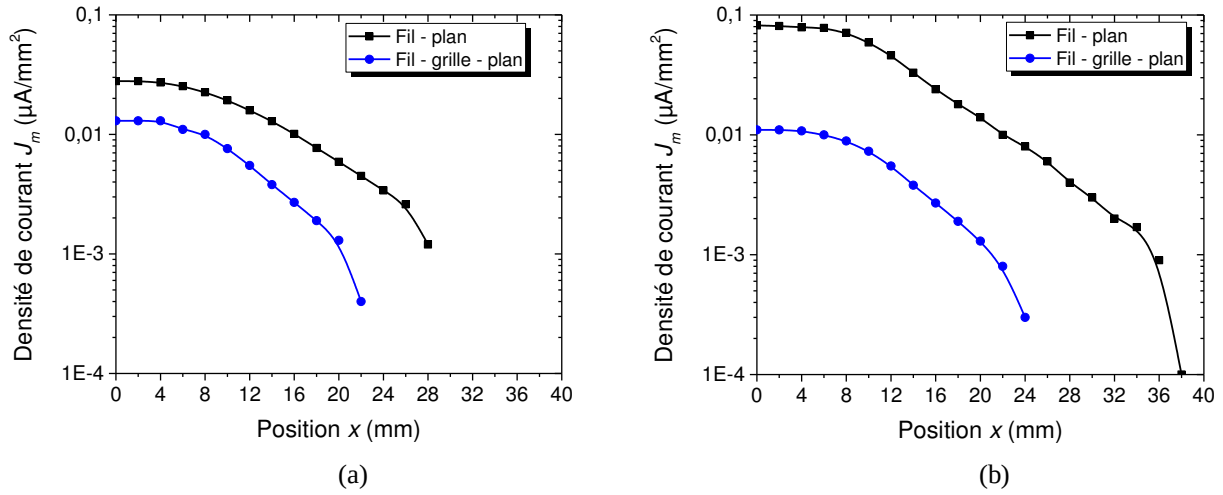


Figure II.20 : Influence du mode de charge sur la distribution du courant en absence (a) et en présence (b) du média. Conditions expérimentales : polarité positive, capteur de courant (une lame) de largeur $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $D_f = 20$ mm, $T = 26^\circ C$ et $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.

La configuration fil – plan offre une meilleure distribution du courant en termes d'intensité par rapport à la configuration triode. En effet, pour la configuration fil – plan, tout le courant de la décharge va directement sur le media contrairement à la configuration triode où une partie du courant est récupérée par la grille. En normalisant les courbes on arrive à faire la comparaison entre les deux configurations sur la distribution du courant (figure II.21). En effet, la configuration fil – plan offre une distribution plus large que la configuration triode.

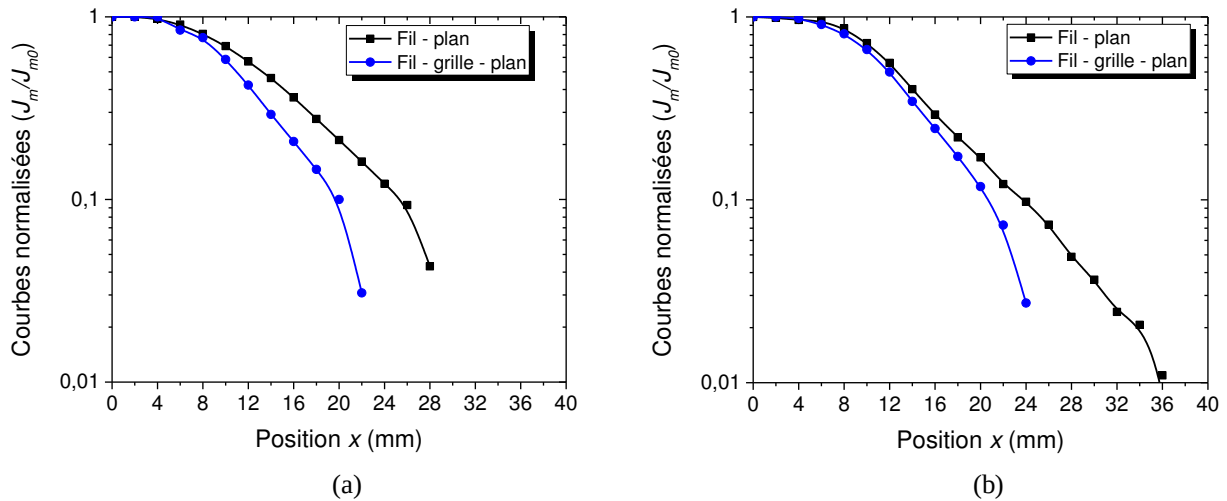


Figure II.21 : Courbes normalisées de la distribution de la densité de courant J_m en absence (a) et en présence (b) du média. Conditions expérimentales : Polarité positive, capteur de courant (une lame) de $l_s = 2$ mm et de longueur $L_s = 50$ mm, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $R_g = 20$ M Ω , $D_g = D_m = 10$ mm, $D_f = 20$ mm, $T = 26^\circ C$ et $HR = 49\%$, $V_s = 14,6$ kV.

II.1.3. Résumé de l'étude de caractérisation

L'étude de la caractérisation de la décharge couronne fil – plan et de la configuration triode fil – grille – plan a permis de mettre en évidence les performances de chacune des deux configurations. Les études réalisées donnent les conclusions suivantes :

- a) Pour la même tension source V_s (en valeur absolue), la puissance consommée ($I_s \times V_s$) est plus importante en polarité négative ;
- b) En présence du média, nous avons l'effet d'une décharge couronne inverse qui produit une augmentation du courant pour les tensions sources élevées ;
- c) Lorsque la distance entre l'électrode active et le plan de masse augmente, alors le champ électrique moyen diminue, par conséquent le courant I_m diminue aussi, mais la zone de distribution de charges augmente ;
- d) L'intensité et la distribution du courant sont importantes en configuration fil – plan comparé à la configuration triode, cependant la configuration fil – plan ne permet pas un contrôle de dépôt de charges, pour cela on privilégiera la configuration triode pour les études qui vont suivre.

II.2. Premier banc pour la caractérisation de l'état de charge des médias filtrants

Dans la section suivante nous allons décrire les caractéristiques du premier banc expérimental utilisé en début de thèse pour la caractérisation de l'état de charge des médias filtrants.

II.2.1. Description du premier banc expérimental

Le système de génération et de mesure de charge décrit dans la figure II.22 est le résultat de la contribution des anciens doctorants encadrés par le professeur Lucien Dascalescu, sur le site d'Angoulême depuis 2003 [72] [89] [3]. Le système est composé de deux sous-ensembles distincts : un poste de génération de charge et un poste de mesure de potentiel de surface.

Le poste de génération de charge comprend les éléments suivants :

- Un générateur basse fréquence (GBF) modèle FG300 ;
- Un amplificateur haute tension model 30/20A, Trek Inc. ;
- Une électrode de type triode (électrode + grille + plan de masse).

Le poste de mesure de potentiel de surface est composé des éléments suivants :

- Une sonde électrostatique modèle 3450, Trek Inc. ;
- Un voltmètre électrostatique modèle 341B, Trek Inc. ;
- Un électromètre modèle 6514, Keithley Instruments ;

- Une carte interface GPIB de marque National Instruments ;
- Un ordinateur avec un logiciel Labview pour l'acquisition et la sauvegarde des données.

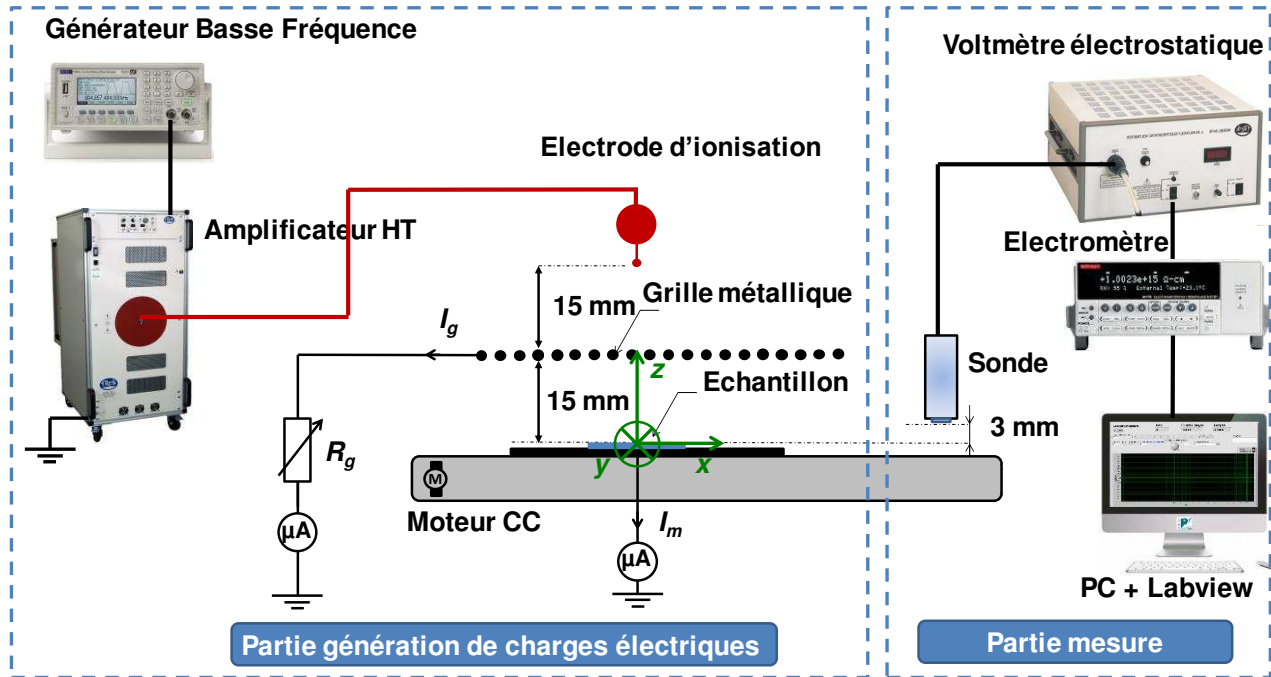


Figure II.22 : Dispositif général du premier banc expérimental.

Le schéma du dispositif expérimental est composé de deux blocs, à savoir :

- Une chaîne de génération de charge ;
- Et une chaîne de mesure.

II.2.1.1. Poste de charge

Le poste de charge réalise les opérations suite auxquelles les échantillons sont chargés électriquement par décharge couronne, en une configuration d'électrodes de type « triode ». Le mode de charge utilisé ici est dit « statique », c'est-à-dire que l'échantillon, étalé sur une électrode plane liée à la terre, reste immobile par rapport au système d'électrodes, pendant la durée de la décharge couronne. Le temps de charge T_c est de l'ordre de quelques secondes, généralement 10 s. Des recherches antérieures effectuées sur ce système de charge ont permis de mettre en évidence la possibilité de mieux contrôler le niveau et l'uniformité du dépôt de charge, comparé aux autres configurations d'électrodes couronne de type « pointe – plan » ou « fil – plan ».

La figure II.23(a) montre une photographie du poste charge. On distingue clairement l'arrivée du câble d'alimentation haute tension reliée à l'électrode cylindrique en cuivre (a) dont le diamètre est de 26 mm, auquel est attaché un fil en acier inoxydable de 0,2 mm de diamètre.

En général, ce fil est placé à 15 mm de la grille (b). L'électrode cylindrique (a) a pour mission d'orienter les lignes de champ électrique, ainsi que le flux d'ions de la décharge couronne, vers l'échantillon (c) qui est posé sur le plan de masse (d). La grille, placée typiquement à mi-chemin entre le fil et le plan de masse, est un élément essentiel dans le dispositif permettant de limiter le niveau de charge de l'échantillon. En effet, cette grille est reliée à une résistance R_g d'une valeur de $20\text{ M}\Omega$ qui est connectée à la terre et qui lui permet d'être portée à un potentiel V_g , dû au produit $R_g \times I_g$, I_g étant le courant de grille traversant la résistance R_g .

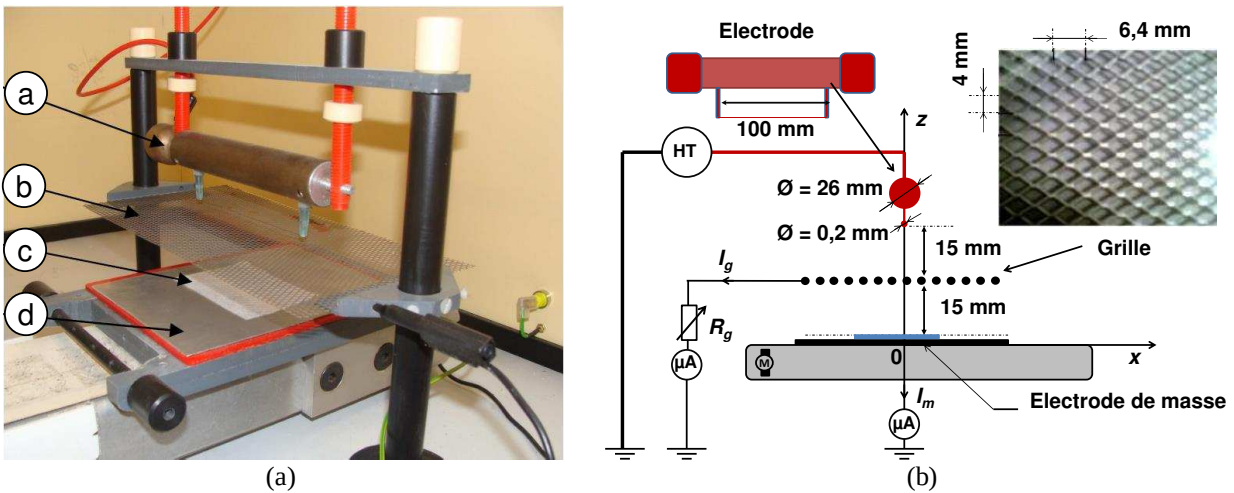


Figure II.23 : (a) Photographie et (b) représentation schématique du poste de charge du premier banc expérimental ; a : électrode « dual » ; b grille métallique ; c : échantillon ; d : électrode plane liée à la terre

Lors du processus de charge par décharge couronne, les ions générés au voisinage du fil connecté à la source de haute tension, sont attirés vers la masse sous l'action du champ électrique imposé par la différence de potentiel entre la grille et l'électrode sur laquelle se trouve posé l'échantillon. Les ions arrivent aux fibres de l'échantillon avec des niveaux d'énergies plus ou moins importants, suivant le potentiel appliqué à l'électrode couronne. En accumulant des charges, l'échantillon monte en potentiel jusqu'à atteindre le niveau de potentiel de la grille, ainsi le champ électrique dû à la différence de potentiel entre l'échantillon et la grille devient quasi-nul. À cette étape, le processus d'ionisation de l'air par décharge couronne continue, mais les nouveaux ions générés empruntent le circuit de la grille pour rejoindre la masse, ce qui limite le niveau de charge de l'échantillon au potentiel de la grille V_g .

À la fin du processus, l'échantillon est déplacé vers la position de mesure à l'aide d'un tapis roulant, dont le moteur est alimenté en tension continue variable. La longueur du tapis est de 100 mm. Des capteurs électromécaniques permettent de contrôler la position de l'échantillon afin que celui-ci s'arrête toujours au même endroit (position de charge ou position de mesure du potentiel de surface). La figure II.24 illustre le système de convoyage. Le câblage du circuit de

commande du moteur est fait de manière à ce que lorsque l'échantillon se déplace en direction de la position de charge, la commande puisse s'interrompre lorsque le support de l'échantillon est en contact direct avec le détecteur de position droit. La même logique est utilisée pour stopper l'échantillon, lorsque celui-ci se déplace vers la gauche, pour éviter tout débordement ou endommagement du système de déplacement.

La mesure de l'évolution du potentiel de surface dans le temps est faite au centre de l'échantillon. Le capteur de position au centre du convoyeur permet de stopper le support de l'échantillon de manière reproductible pour effectuer cette mesure. À cause des frottements mécaniques du système poulie – moteur, la tension minimale utilisable pour alimenter le moteur est de 4,7 V, celle-ci permet de vaincre la résistance due à ces frottements mécaniques, cependant la vitesse de déplacement du tapis est de 28 mm.s^{-1} dans ces conditions.

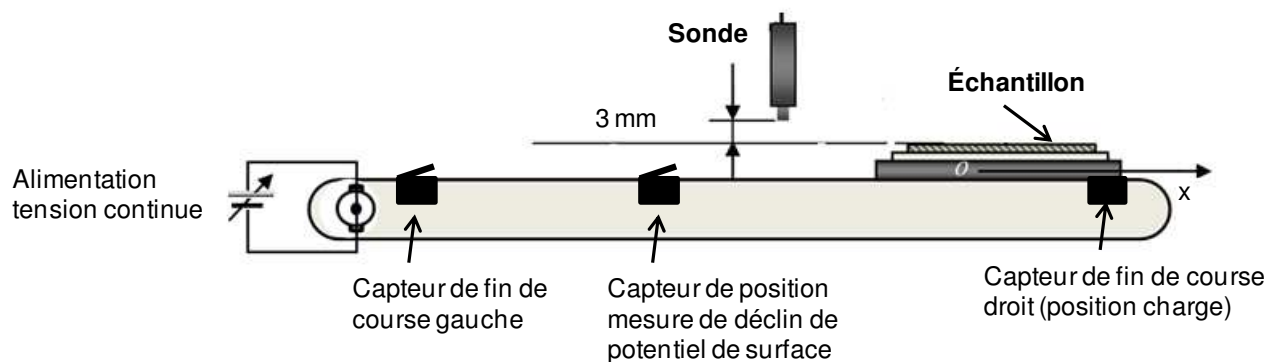


Figure II.24 : Système de convoyage du premier banc expérimental.

II.2.1.2. Poste de mesure

Le poste de mesure correspond à l'ensemble de la chaîne d'acquisition des signaux utilisés pour évaluer la charge électrique présente sur la surface de l'échantillon (figure II.25(a)). Il s'agit ici des mesures de potentiel de surface, V_{sp} . Ces signaux sont acquis en utilisant un capteur non-intrusif, sans contact direct avec l'échantillon pour permettre des mesures plus fiables et plus représentatives de la quantité de charge présente sur le media. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'une sonde électrostatique, model 3450 de marque Trek, placée à une hauteur h de 3 mm au-dessus de l'échantillon. Pour pouvoir conditionner le signal électrique généré par le capteur, la sonde est reliée à un voltmètre électrostatique, model 341B de marque Trek, qui a la capacité de mesurer des potentiels variant de 0 à 20 kV avec un temps de réponse inférieur à 200 μs .

Un signal analogique en sortie du voltmètre électrostatique représente l'image du potentiel électrique mesuré par la sonde électrostatique. Ce signal est envoyé à un électromètre, model 6514 de marque Keithley (figure II.25(b)). L'amplitude du signal reçu par l'électromètre ne représente qu'un millième du potentiel réel mesuré par le voltmètre électrostatique. Grâce au bus de communication GPIB de l'électromètre, les données sont transmises à l'ordinateur via la carte d'acquisition National Instruments. L'interface graphique de l'instrument virtuel faite à partir de Labview permet de paramétrer le nombre de points à enregistrer par seconde ; ce nombre est compris entre 1 et 5.

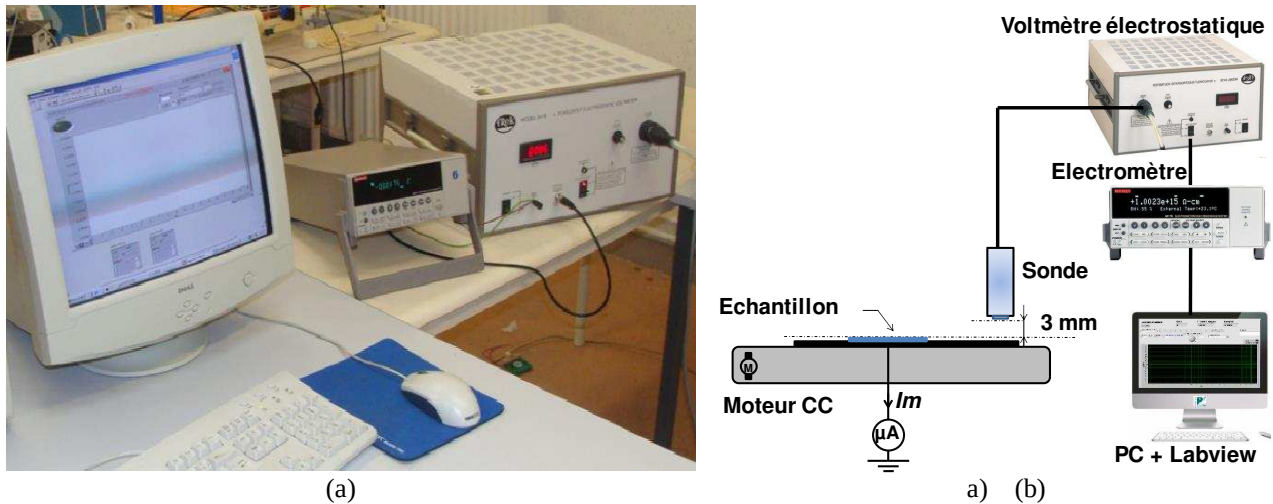


Figure II.25 : (a) Photographie et (b) représentation schématique du poste de mesure de potentiel de surface du premier banc expérimental.

II.2.1.3. Échantillons

Le travail effectué dans le cadre de la thèse de B. Tabti, a contribué à la caractérisation des filtres à électret par la mesure du déclin de potentiel de surface [3]. Il a utilisé un média non-tissé en polypropylène, disponible en grande quantité dans notre laboratoire de recherche sur le site d'Angoulême (figure II.26). Il a pu comparer les caractéristiques physiques et le comportement diélectrique de ce matériau par rapport à d'autres médias non-tissés mis à sa disposition par un fournisseur de l'industrie automobile. Ses résultats montrent que ce média est bien adapté à l'étude que nous souhaitons faire : « Amélioration des performances des matériaux fibreux non-tissés chargés par décharges couronne utilisés pour la filtration de l'air ». Le principal inconvénient du tissu est la non-uniformité de la porosité, ce qui peut entraîner une variation de la charge totale injectée sur le media. Cette non-uniformité, à laquelle s'ajoutent l'humidité relative (HR) et la température (T), sont des facteurs influents sur les mesures de déclin du potentiel de surface. Le tableau II.3 nous donne les caractéristiques générales du média non-tissé.

Tableau II.3: Caractéristiques physiques et mécaniques du média non-tissé. [3]

Propriétés	Données
Matière	Polypropylène (PP)
Type de tissage	Non-tissé
Grammage surfacique (g.m^{-2})	42,44
Absorption d'eau (équilibre en %)	0,03
Taille des échantillons ($\text{mm} \times \text{mm}$)	80×80
Epaisseur (mm)	0,3
Diamètre moyen des fibres (μm)	20
Résistance diélectrique (kV.mm^{-1})	30 à 40
Résistivité surfacique des fibres ($\Omega.\text{cm}^{-2}$)	10^{13}
Résistivité volumique des fibres ($\Omega.\text{cm}^{-3}$)	10^{16} à 10^{18}

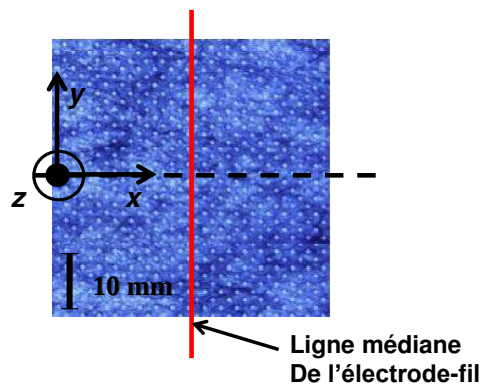


Figure II.26 : Photographie du média non-tissé en polypropylène.

II.2.2. Limites d'utilisation du premier banc expérimental

Nous avons vu précédemment que le système de déplacement ne peut pas avoir une vitesse inférieure à 28 mm.s^{-1} car le couple nécessaire pour vaincre le système en arrêt nécessite une tension d'alimentation au niveau du moteur de 4,7 V, or la fréquence d'acquisition paramétrable sur le logiciel d'acquisition est de 5 points par seconde au maximum. Compte tenu de ces informations, nous allons étudier l'impact de la fréquence d'acquisition sur la mesure du potentiel de surface, afin de déterminer les limites d'utilisation du banc expérimental.

II.2.2.1. Configuration expérimentale

La figure II.27 illustre le dispositif expérimental utilisé. Nous avons remplacé le tissu non-tissé par une électrode sur laquelle on a appliqué directement un potentiel connu. Deux cas d'électrode sont étudiés : un fil de 0,2 mm de diamètre et une bande de 48 mm de large soumis à un potentiel fixe de 874 V. Nous avons effectué une étude comparative des valeurs acquises pour la fréquence minimum (1 point par seconde) et la fréquence maximum (5 points par seconde) pour une vitesse de balayage de l'échantillon fixe ($V_b = 28 \text{ mm.s}^{-1}$).

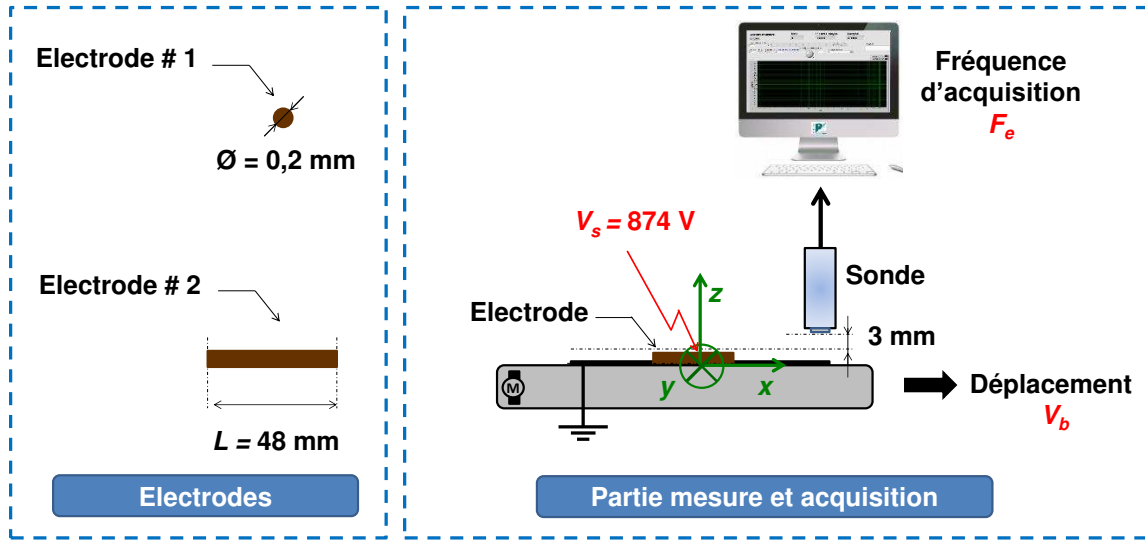


Figure II.27 : Caractérisation de la sonde avec le premier banc expérimental.

II.2.2.2. Résultats et interprétations des mesures

La figure II.28 compare le profil de distribution du potentiel de surface pour une mesure statique avec une résolution de 2 mm par point par rapport à une mesure en balayage ($V_b = 28 \text{ mm.s}^{-1}$) avec une fréquence d'acquisition variable $F_e = 1 \text{ Hz}$ et 5 Hz .

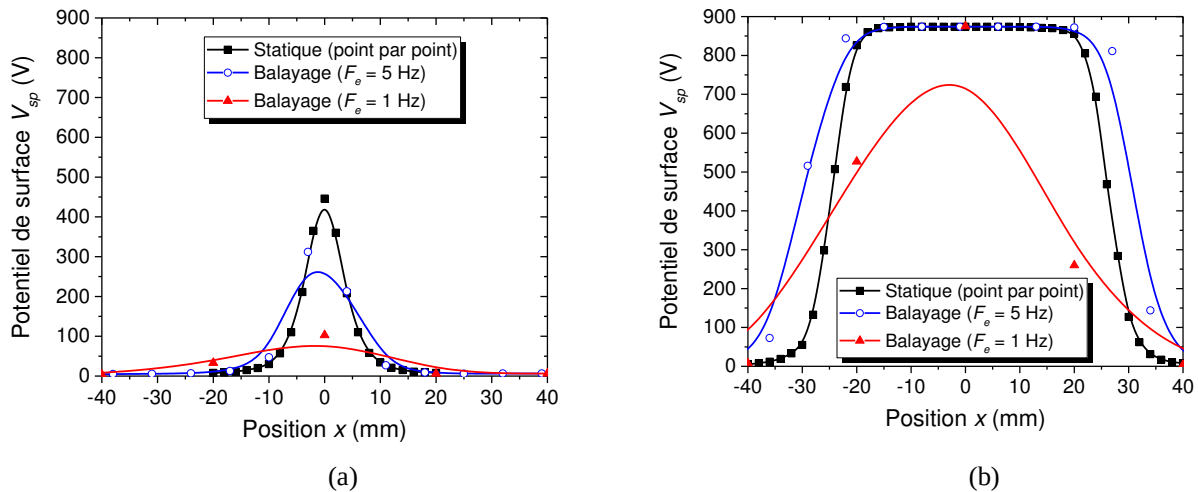


Figure II.28 : Impact de la fréquence d'acquisition sur la mesure du potentiel de surface avec l'électrode #1 (a) et de l'électrode #2 (b). Conditions expérimentales : $V_s = 874 \text{ V}$.

Les résultats montrent une différence significative entre la mesure obtenue en mode statique et celle obtenue en mode balayage. Le décalage s'accroît encore plus lorsque la fréquence d'acquisition F_e baisse. En effet, la fréquence d'acquisition influe sur la résolution spatiale (distance séparant deux points acquis). En ayant fixé la vitesse de balayage, seule la

fréquence d'acquisition peut modifier la distance séparant deux points de mesure. Lorsque F_e augmente, cette distance diminue et nous obtenons une courbe en balayage qui se rapproche à celle mesurée en mode statique.

II.2.3. Informations importantes du premier banc expérimental

L'étude de caractérisation de la sonde de mesure avec le premier banc expérimental nous permet de conclure que le banc expérimental ne sera pas bien adapté pour des mesures de profil compte tenue de la résolution spatiale qui ne permet pas d'obtenir une précision fine du potentiel de surface en mesure dynamique. Par conséquent, il est primordial d'optimiser le banc d'expérimentation.

II.3. Deuxième banc pour la caractérisation de l'état de charge des médias filtrants

Dans cette section, nous présenterons les caractéristiques du deuxième banc expérimental, sa particularité et pour terminer une conclusion sur son utilisation.

II.3.1. Description du deuxième banc expérimental

La figure II.28 nous montre la configuration générale du deuxième banc expérimental. Le deuxième banc expérimental se distingue du premier par le mode de déplacement de l'échantillon, assuré par des moteurs pas à pas permettant d'avoir une précision de l'ordre du micromètre. Ce système était utilisé auparavant pour l'usinage et le fraisage de pièces, nous l'avons adapté pour la charge et la mesure de potentiel de surface.

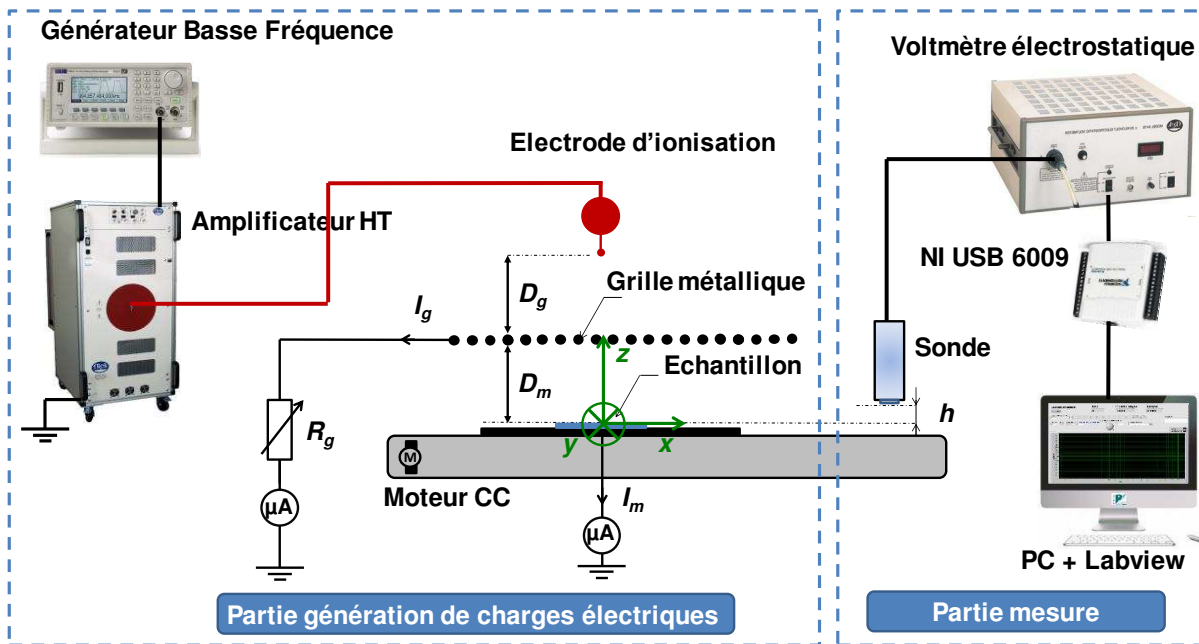


Figure II.29 : Deuxième banc expérimental pour la caractérisation de l'état de charge des medias filtrants.

Toutes les actions (déplacement absolu ou relatif suivant les 3 axes, temporisation, vitesse de déplacement linéaire) sont programmées et exécutées en séquentielle sous forme de liste de codes. Pour l'acquisition des données, nous avons remplacé l'électromètre par une carte d'acquisition National Instruments (NI USB 6009), celle-ci a la possibilité d'acquérir des données jusqu'à 48 kHz, contrairement à l'électromètre qui est limité par le bus de communication IEEE-488 bus (500 lectures par seconde au maximum).

II.3.1.1. Postes de charge et de mesure

Le poste de charge est rigoureusement le même que celui utilisé dans l'ancien banc expérimental, la géométrie de l'électrode couronne est un peu différente comme on peut le voir sur la figure II.30(a). En effet, le diamètre du cylindre de l'électrode est deux fois plus petit. On utilise toujours une configuration triode, cependant les distances grille – fil-électrode et grille – plan de masse restent variables pour étudier leurs influences.

L'électrode (b), à laquelle est attaché le fil, est connectée à la haute tension grâce à l'amplificateur HT. La sonde de mesure (a) est placée à 3 mm de l'échantillon (c), qui est posé sur le plan de masse (d). Les échantillons sont coupés de manière circulaire pour avoir la même forme que les médias utilisés pour l'étude de l'efficacité de collecte, leurs diamètres est de $\varnothing = 95$ mm. Le bloc 1 de la figure II.30(b) se déplace suivant les axes x et z, respectivement en valeur absolue, leurs courses sont de 300 mm et 100 mm. Par contre, le bloc 2 se déplace uniquement sur l'axe y, sa course en valeur absolue est de 200 mm. Le système de déplacement utilise un moteur pas à pas piloté par un ordinateur. Ce nouveau système offre la possibilité de commander le système avec des vitesses de déplacement très faibles, de l'ordre de $10 \mu\text{m.s}^{-1}$, la vitesse de déplacement maximum est de 30 mm.s^{-1} .

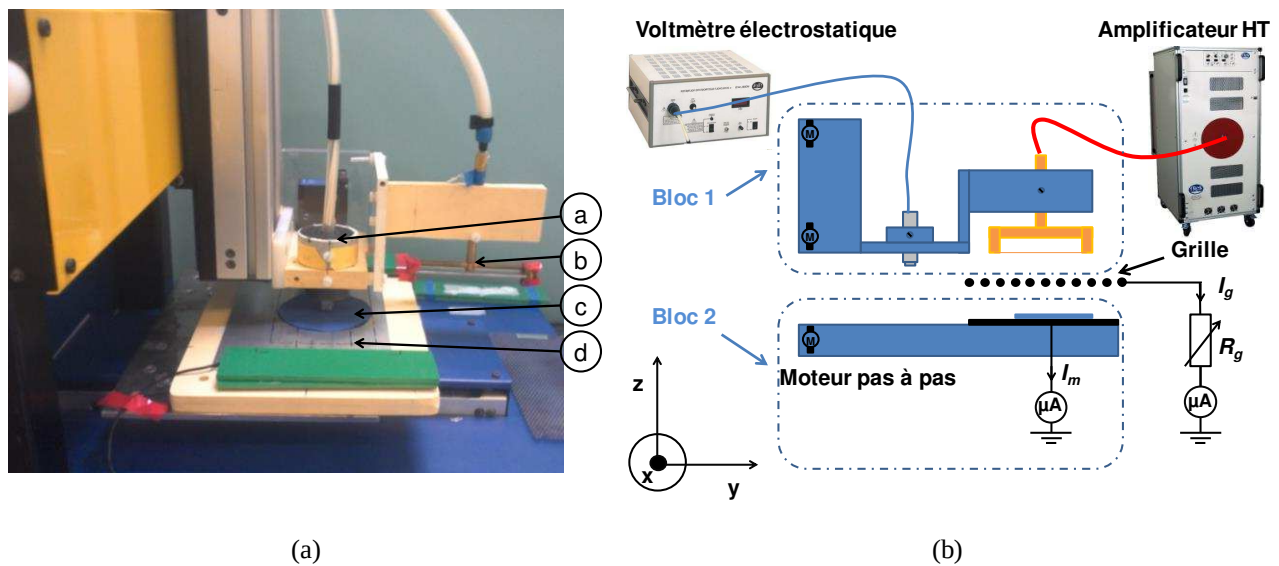


Figure II.30 : (a) Photographie et (b) représentation schématique du poste de charge et mesure de potentiel de surface du deuxième banc expérimental.

II.3.1.2. Acquisition et sauvegarde des données

L'acquisition des données se fait à l'aide d'une carte National Instruments NI USB 6009, qui remplace l'électromètre. Nous avons conçu un nouveau programme dans l'environnement Labview. La commande du système de déplacement est indépendante de celle de l'acquisition de données. La synchronisation se fait à partir d'une temporisation programmée. La sortie analogique du voltmètre électrostatique est connectée directement à une des entrées analogiques de la carte NI USB 6009. Il s'agit d'une mesure différentielle dont la conversion analogique – numérique se fait sur 14 bits. L'impédance à l'entrée du circuit analogique est de l'ordre de 130 k Ω , elle est assez faible, comparée à celle d'un électromètre qui est supérieur à 200 T Ω . L'amplitude différentielle maximum acceptable à l'entrée de la carte d'acquisition est ± 20 V, cependant la tension maximale de n'importe quelle broche est ± 10 V par rapport à la masse (GND).

La figure II.31 montre le panneau de configuration du logiciel d'acquisition. L'utilisateur peut choisir la fréquence, le nombre de points à acquérir, le mode de déclenchement de l'enregistrement de données et le chemin d'enregistrement du fichier d'acquisition. Avec ce nouveau logiciel l'utilisateur peut faire une acquisition finie, il suffit de programmer le nombre de points à acquérir. Le déclenchement de l'acquisition peut se faire de manière manuelle ou automatique en comparant le niveau du signal du potentiel lu par la sonde par un seuil fixé par l'utilisateur.

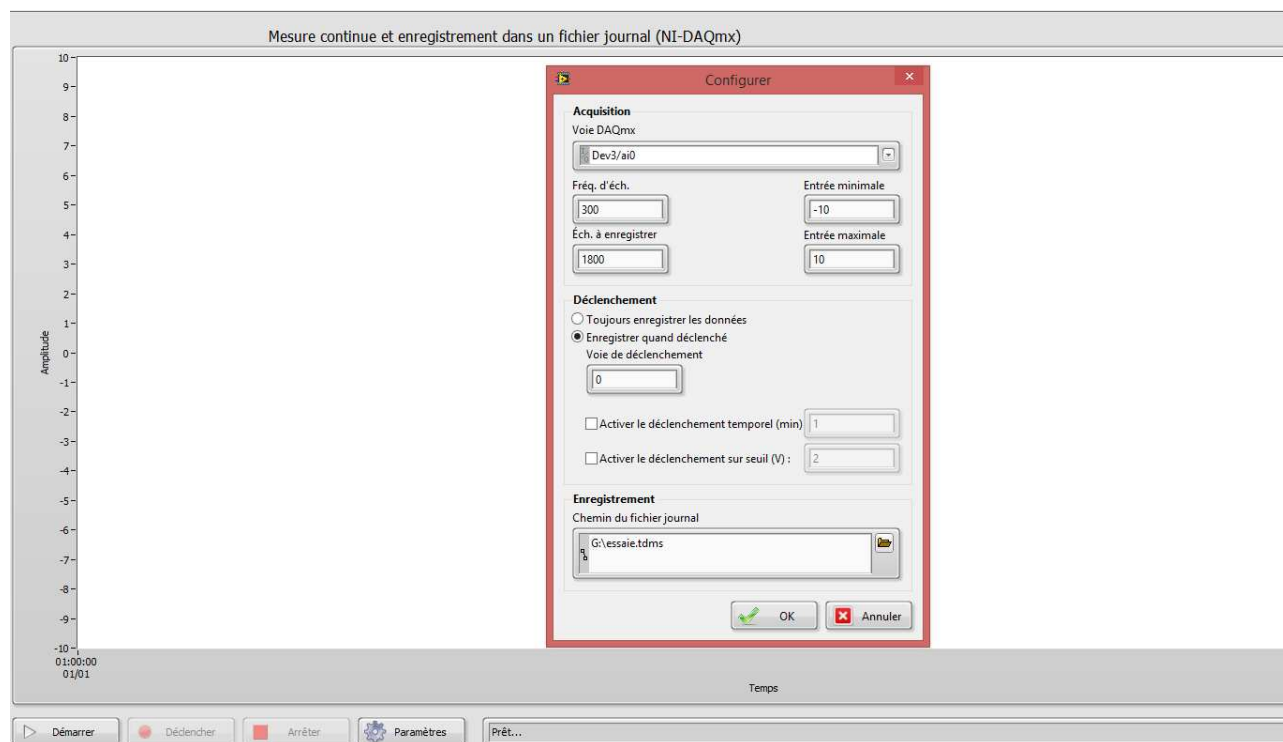


Figure II.31 : Panneau frontal du logiciel d'acquisition du deuxième banc expérimental.

II.3.2. Particularité d'utilisation du deuxième banc expérimental

Le deuxième banc expérimental a la particularité d'offrir un déplacement de l'échantillon sur les deux axes, x et y avec une meilleure précision et une résolution spatiale très faible, de l'ordre de 10 μm . Contrairement au premier banc expérimental, celui-ci permet d'obtenir une cartographie du potentiel de surface suivant les deux axes x et y. Le contrôle informatisé des mouvements de déplacement et des temporisations optimise la reproductibilité des expériences.

Les tableaux suivants regroupent les paramètres géométriques et électriques configurables du banc expérimental (tableau II.4 et tableau II.5).

Tableau II.4: Paramètres géométriques.

Paramètres	Nature
h	Hauteur de l'espacement entre la sonde de mesure et l'échantillon
V_b	Vitesse relative entre échantillon et sonde de mesure ou électrode haute tension
D_g	Distance entre l'électrode-fil et la grille
D_m	Distance entre la grille et le plan de masse
D_f	Distance entre le fil-électrode et le plan de masse

Tableau II.5: Paramètres électriques.

Paramètres	Nature
T_c	Durée de la décharge couronne
V_s	Potentiel de sortie de l'alimentation haute tension
I_s	Courant fourni par l'alimentation haute tension
P_e	Puissance fournie par l'alimentation haute tension $P_e = V_s \times I_s$
R_g	Résistance reliée entre la grille et la masse
I_g	Courant traversant la résistance de grille R_g vers la masse
V_g	Potentiel de grille, formé par le produit $I_g \times R_g$

II.3.3. Informations importantes du deuxième banc expérimental

Le deuxième banc expérimental apporte de la précision spatiale sur la lecture du potentiel de surface local. De plus, la commande programmée apporte une simplification et une bonne reproductibilité de la mesure, tout en ayant moins de composants électromécaniques. Le déplacement du support sur les deux axes (x et y) nous permettra de mieux caractériser l'instrument de mesure du potentiel de surface et d'étudier la distribution du potentiel sur les deux dimensions afin de la corréler à la densité des fibres des tissus utilisés pour la collecte de particules.

Maintenant que nous disposons d'un banc expérimental avec lequel on peut contrôler la position de déplacement avec un pas très fin (10 μm), nous allons présenter le banc expérimental utilisé pour l'étude de l'efficacité de collecte.

II.4. Banc pour la caractérisation de l'efficacité de collecte

Dans cette section nous présenterons le banc expérimental conçu pour l'étude de l'efficacité de collecte sur le site du Futuroscope. Nous donnerons une description détaillée du banc expérimental utilisé pour la partie charge des médias, mais aussi pour la partie mesure granulométrique liée directement à l'étude d'efficacité de collecte.

II.4.1. Description de l'ensemble du banc d'étude d'efficacité de collecte

Le dispositif expérimental se décompose en quatre blocs, une partie concerne la charge des médias filtrants, une autre partie est dédiée à la mesure du potentiel de surface et la mesure de la quantité de charge électrique stockée par méthode capacitive, puis la dernière partie concerne la génération de particules polluées et mesure d'efficacité de collecte. La figure II.32 montre le schéma général du banc expérimental pour la génération et la mesure de charges électriques ainsi que le schéma de génération de particules et celui de la mesure d'efficacité de collecte. Nous détaillerons ici les quatre blocs en particulier ceux qui ont des éléments nouveaux, à savoir : la mesure de potentiel de surface (figure II.32(b)), la mesure de charge électrique (figure II.32(c)) et la génération de particules et mesure d'efficacité de collecte (figure II.32(d)).

A. Description des éléments nouveaux présents sur le schéma

A.1. Mesure du potentiel de surface : Ici on utilise un voltmètre électrostatique de marque Trek, model 370. Celui-ci est muni d'une sonde électrostatique avec une gamme de mesure de 0 à ± 3 kV. Le système de déplacement utilise une vis avec un pas de $2,5 \text{ mm.tr}^{-1}$, le déplacement s'effectue uniquement sur une seul axe (axe des x). La course maximale de déplacement du support est de 330 mm, la vitesse minimale est 5 mm.s^{-1} et la vitesse maximale est de 25 mm.s^{-1} .

A.2. Mesure de la charge électrique : Nous utilisons ici une cage de Faraday reliée à la terre pour empêcher toute perturbation extérieur. Dans la cage se trouve une électrode séparée de la cage et de l'échantillon par des supports en Téflon de 50 mm et 5 mm, respectivement. L'électrode est reliée à un électromètre (Keithley, model 6514) pour effectuer la mesure de la charge électrique (calibre 200 nF).

A.3. Génération de particules et mesure de l'efficacité de collecte : Pour générer les particules, on utilise la combustion de bâtons d'encens dans une enceinte fermée (volume = 8 l). L'air propre arrivant dans l'enceinte est contrôlé à l'aide d'un débitmètre et d'un régulateur de pression. Un diluteur est utilisé pour réduire la quantité de particules arrivant à l'entrée du nanogranulomètre (Impacteur électrique basse pression, ELPI+). Le rapport de dilution r_d est un ratio tenant compte du débit d'air propre Q_a et du débit d'air pollué Q_p , ce qui nous donne :

$$r_d = \frac{Q_a + Q_p}{Q_a} \quad (\text{II.4})$$

avec,

Q_a et Q_p : Débit en l.min^{-1} .

Des électrovannes commandées en inverse permettent d'aiguiller le flux de particules afin de mesurer la concentration de particules en amont C_{amont} et en aval C_{aval} du filtre afin de déduire l'efficacité de collecte η , on note :

$$\eta (\%) = \frac{C_{\text{amont}} - C_{\text{aval}}}{C_{\text{amont}}} \times 100 \quad (\text{II.5})$$

avec,

C_{amont} et C_{aval} : Concentration de particules en entrée et en sortie du filtre, en nombre.cm^{-3} .

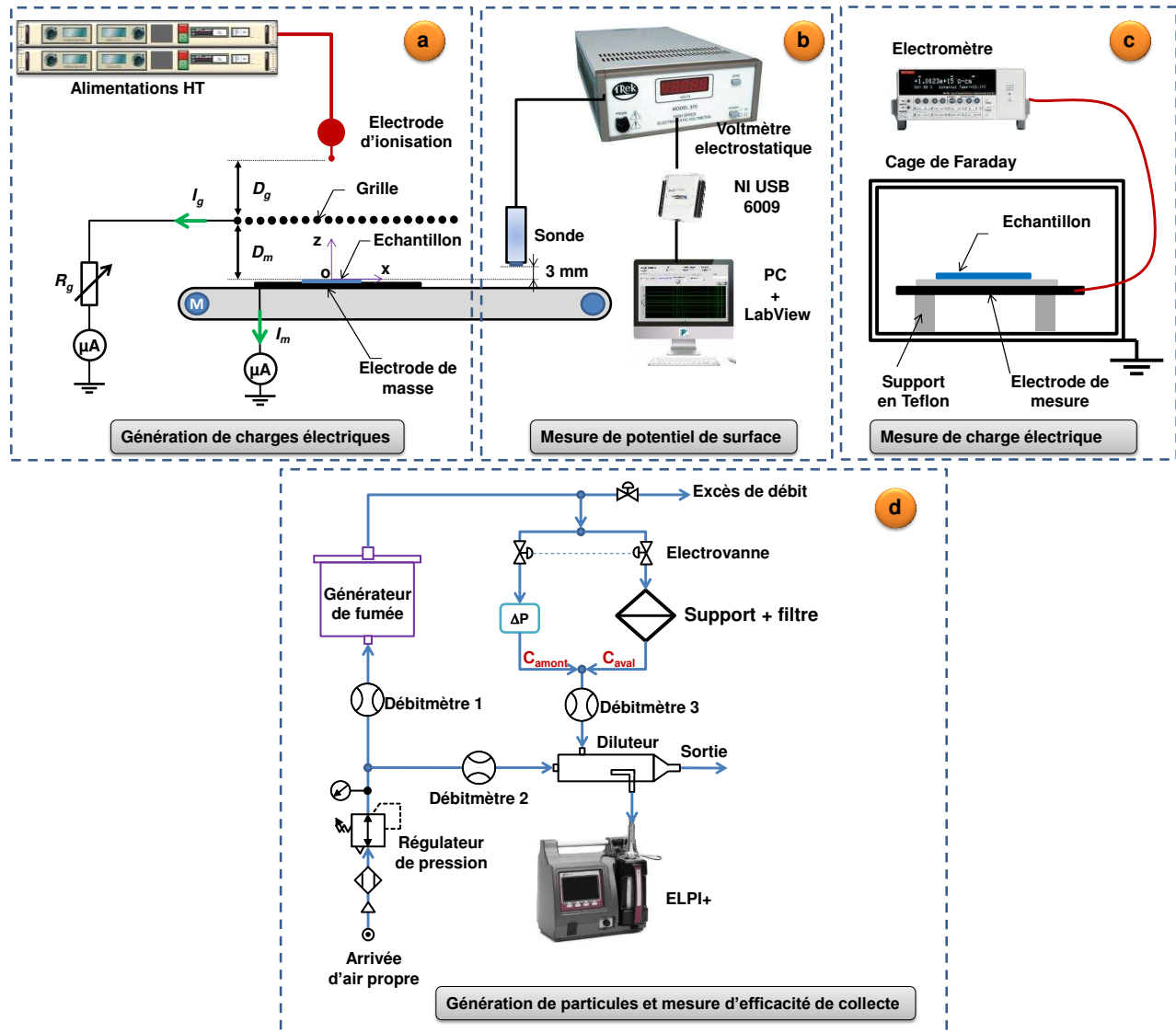


Figure II.32 : Banc expérimental pour les mesures de charge et efficacité de collecte ; (a) : dispositif de charge ; (b) mesure de potentiel électrique de surface ; (c) mesure de charge électrique ; (d) mesure de l'efficacité de collecte.

II.4.2. Description de l'impacteur électrique basse pression

L'instrument utilisé pour la mesure de la concentration de particules est un impacteur électrique basse pression ELPI+, il s'agit d'un produit de la marque DEKATI. Le produit est accompagné d'un logiciel pour l'acquisition et l'analyse des données. Le système comprend un impacteur de 14 étages qui permettent de mesurer en temps réel la distribution de la taille et de la concentration des particules dans la gamme de 6 nm à 10 µm avec un taux d'échantillonnage maximum de 10 Hz. La technologie utilisée permet d'effectuer un post traitement des données pour avoir une analyse chimique des tailles classifiées. Les tableaux suivants détaillent les caractéristiques techniques de l'instrument de mesure.

Tableau II.6: Caractéristiques techniques du ELPI+.

Caractéristiques	données
Taille des particules	0,006 – 10 µm
Nombre de classe de l'impacteur	14
Débit d'échantillonnage	10 lpm
Diamètre à l'entrée de l'impacteur	25 mm
Poids de l'impacteur	8 Kg
Débit requis pour la pompe	20 m ³ /h
Humidité	0 – 90%
Fréquence d'acquisition	10 Hz
Alimentation	100 – 250 V, 50 – 60 Hz, 200 W
Système d'exploitation requis	MS-Windows 7 TM , MS-Windows 8 TM
Port de communication	RS-232 ou Ethernet

Tableau II.7: Calibration individuelle du ELPI+.

Etage	D50% [µm]	Di [µm]	Nombre mini [cm ⁻³]	Nombre maxi [cm ⁻³]	Mass mini [µg.cm ⁻³]	Mass maxi [mg.cm ⁻³]
15	10					
14	5,3	7,3	0,1	1,7E+04	11	3400
13	3,6	4,4	0,1	3,0E+04	4	1300
12	2,5	3,0	0,16	5,2E+04	2,3	730
11	1,6	2,0	0,3	9,7E+04	1,3	400
10	0,94	1,2	0,6	2,0E+05	0,6	195
9	0,6	0,75	1,2	3,9E+05	0,3	85
8	0,38	0,48	2	6,8E+05	0,12	38
7	0,25	0,31	4	1,2E+06	0,06	17
6	0,15	0,19	6	2,0E+06	0,03	7,7
5	0,094	0,12	12	3,7E+06	0,01	3,2
4	0,054	0,071	21	7,0E+06	0,004	1,3
3	0,030	0,040	42	1,4E+07	0,0015	0,47
2	0,016	0,022	90	3,0E+07	0,0005	0,16
1	0,006	0,010	240	7,9E+07	0,0002	0,03

Ce nouveau granulomètre installé récemment dans le laboratoire nous permettra de mesurer la concentration de particules entre 6 nm et 10 μm et d'avoir une distribution de taille sur 14 classes. Cependant un traitement de données est nécessaire pour avoir les mesures d'efficacité de collecte.

II.4.2.1. Principe de fonctionnement de l'impacteur électrique basse pression

Le fonctionnement de l'impacteur électrique basse pression ELPI+ peut être décrit en trois étapes : premièrement la charge de la particule, puis la classification de la taille à travers l'impacteur et enfin la détection électrique avec des électromètres sensibles.

Les particules sont tout d'abord chargées par décharge couronne avec un niveau de charge connu dans un chargeur de type décharge couronne qui se trouve à l'entrée de l'impacteur. Après la charge, les particules pénètrent à basse pression dans les différents étages de l'impacteur placés en cascades. Les 14 étages de l'impacteur sont isolés électriquement les uns des autres. La figure II.33 illustre le schéma de l'impacteur et du chargeur.

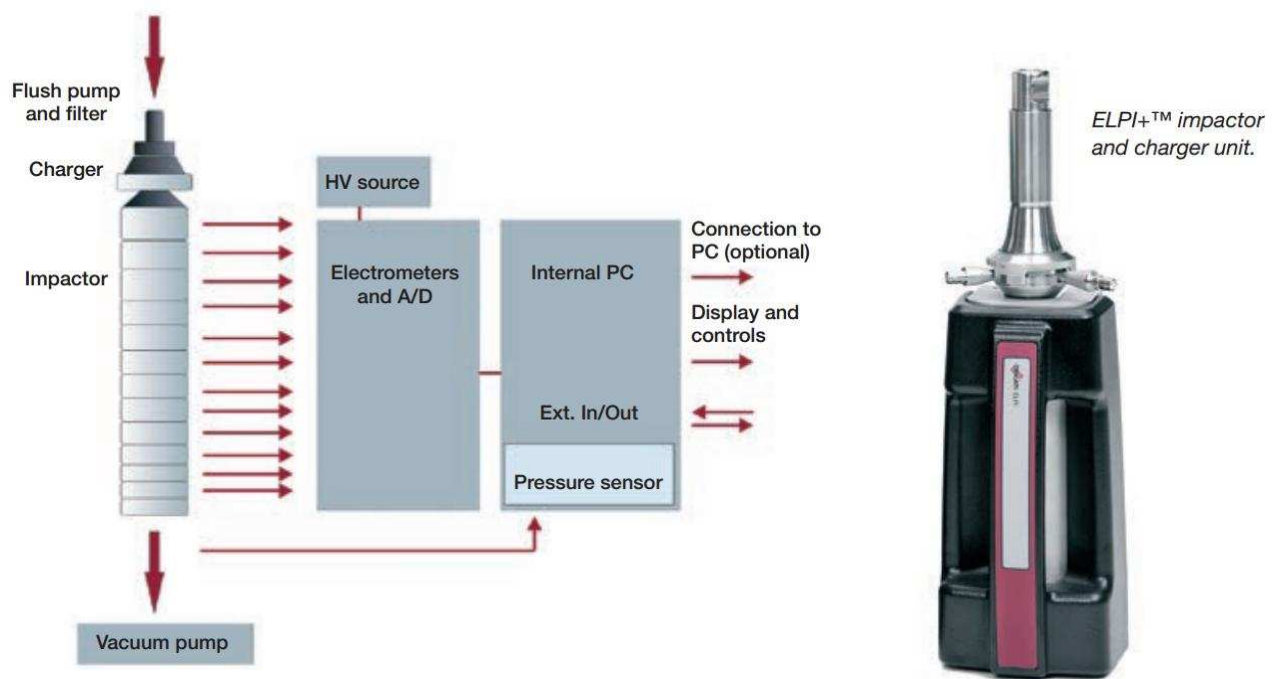


Figure II.33 : Schéma du chargeur et des étages de l'impacteur ELPI+.

II.4.2.2. Exemples d'applications utilisant l'impacteur électrique basse pression

L'impacteur ELPI+ peut être utilisé dans de nombreuses applications, étant donné sa rapidité d'acquisition et sa large gamme de mesure de particules allant du nano au micromètre. On peut noter les exemples suivant :

- Mesure de la qualité de l'air à l'intérieur ou à l'extérieur d'un habitacle ;
- Mesure des gaz d'échappement des véhicules ;
- Mesure de la distribution de charge de particules ;
- Etudes d'efficacité de collecte d'un filtre ;
- Mesure de nanoparticules.

Pour notre cas, nous nous intéresseront particulièrement à l'étude de l'efficacité de filtration des médias en polypropylènes utilisés comme filtre.

II.4.2.3. Techniques de mesure des concentrations de particules

Nous allons décrire ici, la méthode utilisée pour la détermination de la concentration des particules pour le nanogranulomètre utilisé (ELPI+). La figure II.34(a) illustre l'appareil de mesure. Cet appareil intègre une cassette contenant 14 étages d'impaction en cascades (figure II.34(b)).

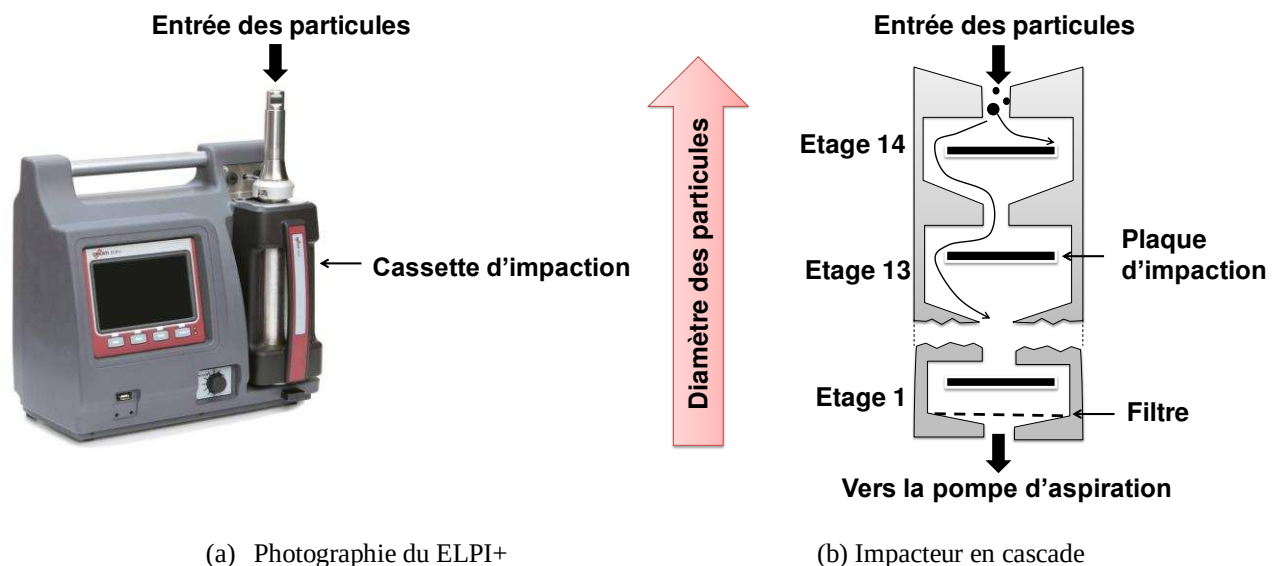


Figure II.34: ELPI+ et cassette contenant les plaques d'impaction

A. Principe de fonctionnement

L'impacteur présenté ici permet de fractionner les particules en 14 classes de 6 nm à 10 μm . Chaque plaque d'impacteur est connectée à un électromètre, qui permet de mesurer la charge totale de l'étage, cette mesure permet de remonter au nombre de particules, à partir d'un algorithme paramétrable par le logiciel de traitement. Une pointe située à l'entrée de l'impacteur permet de charger les particules par décharge couronne (figure II.35(a)). Les grosses particules restent à l'étage supérieur (étage 14), tandis que les particules plus fines sont attirées vers le dernier étage, qui correspond aux particules nanométriques (étage 1). Avant toute mesure, il est nécessaire de faire un « zeroing » pour référencer le compactage des particules. L'instrument est

capable de détecter l'encrassement, ce qui nécessite un nettoyage ou un remplacement des pastilles de l'impacteur (figure II.35(b)).

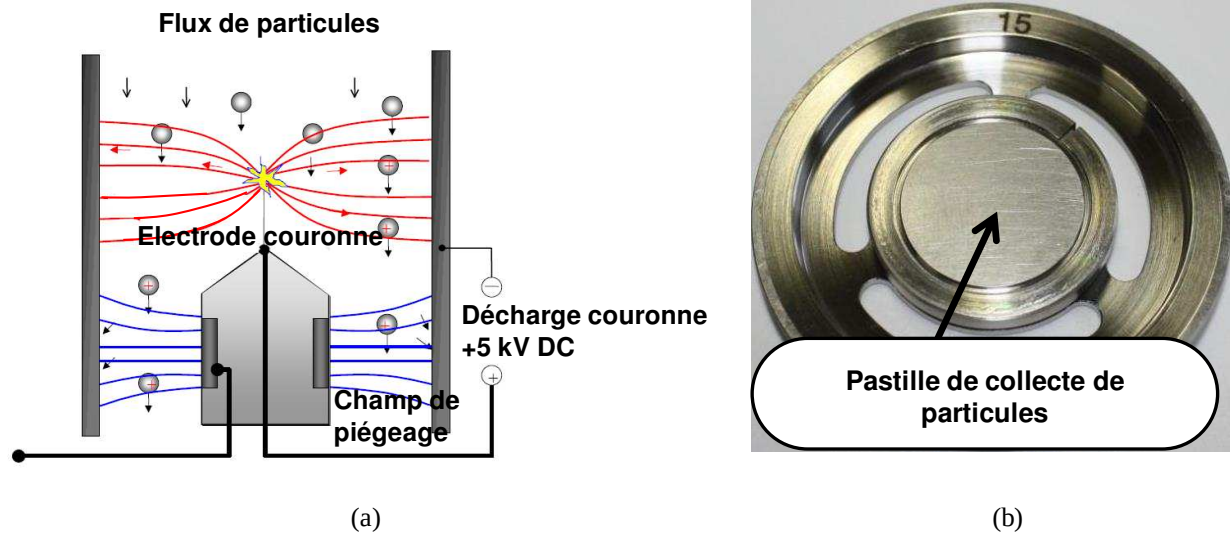


Figure II.35: (a) Chambre de chargement des particules et (b) pastille de collecte de particules

B. Méthode de calcul

Le tableau II.8 suivant représente les différentes équations pour la conversion des données

Tableau II.8: Equations de transformation

Nature	Equation
Nombre N ($1/ \text{cm}^3$)	$\frac{1}{X} \times \text{Dilution}$
Diamètre D ($\mu\text{m}/ \text{cm}^3$)	$\frac{1}{X} \times D_i \times \text{Dilution}$
Surface S ($\mu\text{m}^2/ \text{cm}^3$)	$\frac{1}{X} \times D_i^2 \times \pi \times \text{Dilution}$
Volume V ($\mu\text{m}^3/ \text{cm}^3$)	$\frac{1}{X} \times D_i^3 \times \pi \times \frac{1}{6} \times \text{Dilution}$
Mass V (mg/ cm^3)	$\frac{1}{X} \times D_i^3 \times \pi \times \frac{1}{6} \times \text{Dilution} \times \text{Densité} \times 0,001$

La valeur de X est obtenue en utilisant la relation suivante, cette valeur est propre pour chaque classe :

$$X = 4,48 \times D_{i_s}^{1,9087} \times \frac{\text{Débit du fluide}}{\text{debit de calibration}} \quad (\text{II.6})$$

Pour déterminer le diamètre moyen de chaque étage, on utilise l'expression suivante :

$$Di_n = \sqrt{Dp_n \times Dp_{n+1}} \quad (\text{II.7})$$

avec,

n : numéro de l'étage ;

Di_n : diamètre moyen de l'étage n.

Dans les conditions de transit des particules de fumée dans l'impacteur, le facteur de correction de Cunningham pour le diamètre de Stokes est donné par la relation suivante:

$$Cc_s = 1 + \left(\frac{2}{76 \times Dp_s} \right) \times (6,32 + 2,01 \times e^{-0,1095 \times 76 \times Dp_s}) \quad (\text{II.8})$$

Le diamètre des particules de fumée est obtenu en utilisant l'expression suivante :

$$Dp_s = \frac{Dp_a}{\sqrt{\text{Densité} \times \frac{Cc_s}{Cc_a}}} \quad (\text{II.9})$$

avec,

Dp_a : diamètre aérodynamique des particules ;

Cc_a : facteur de correction de Cunningham pour le diamètre aérodynamique des particules.

$$Cc_a = 1 + \left(\frac{2}{76 \times Dp_a} \right) \times (6,32 + 2,01 \times e^{-0,1095 \times 76 \times Dp_a}) \quad (\text{II.10})$$

Le tableau II.9 suivant résume les propriétés des particules réelles, aérodynamiques et ceux de la fumée.

Tableau II.9: propriétés des particules

Diamètre	Forme géométrique	Vitesse de déplacement v (cm/s)	Diamètre de particule D_p (μm)	Masse volumique ρ_p (g/cm ³)
Aérodynamique		0,22	8,6	1
de Stokes		0,22	4,3	4
Réel		0,22	≈ (3 – 5)	4

II.4.3. Informations importantes du banc de caractérisation de l'efficacité

Le banc d'étude d'efficacité de collecte est le banc le plus complet, nous retrouvons le système de charge, la mesure de potentiel de surface, la mesure de charge avec une cage de Faraday et la mesure d'efficacité de collecte. Les différentes parties de mesure nous permettent de corréler les mesures entre elles (potentiel de surface – état de charge, et état de charge – efficacité de collecte). C'est pour cela qu'il est important d'avoir tous ces éléments de mesure dans ce banc expérimental.

L'instrument de mesure d'efficacité est un système assez complet techniquement, il permet d'avoir des informations sur la classe de distribution, la taille, la masse et la charge électrique d'une particule. Cependant on n'exploitera qu'une partie de ses capacités en se contentant juste de la concentration des particules par classe.

Conclusion

Les mesures de caractéristique courant-tension et de distribution de la densité de courant mettent en lumière les particularités des deux systèmes d'électrodes utilisés pour la charge des média filtrants : la configuration « classique » fil – plan, et la configuration de type « triode » fil – grille – plane. Cette étude a permis de fixer le choix de la géométrie du système de charge, qu'on a utilisé pour atteindre l'objectif de la thèse : améliorer l'efficacité de collecte de particules en utilisant des médias filtrants chargés par décharge couronne.

Au chapitre suivant, nous parlerons de calibrations des différents outils de mesure pour la caractérisation de la sonde de mesure électrostatique et pour la mesure d'efficacité de collecte.

Chapitre **III**

PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons décrire les protocoles expérimentaux permettant une quantification précise de l'état électrique des médias filtrants en polypropylène préalablement chargés par décharge couronne. Ceci passe par la caractérisation de la sonde de mesure du potentiel de surface pour apporter une lumière sur la signification des valeurs affichées par le voltmètre électrostatique. Cette étude permettra par la suite d'établir un protocole fiable pour la mesure de charge et du potentiel de surface en mode statique et dynamique.

En ce qui concerne l'étude d'efficacité de collecte, on établira les conditions nécessaires pour mesurer les concentrations de particules en amont et en aval du filtre afin de déduire l'efficacité de collecte. De la génération des particules jusqu'à la mesure, le conditionnement et la calibration des équipements sont nécessaires pour réduire et écarter des éventuels erreurs comme par exemple la fluctuation de la concentration des particules.

Ce chapitre est structuré en trois parties qui sont la mesure du potentiel de surface en régime « statique », la mesure du potentiel de surface en régime « dynamique », et enfin, la mesure de la charge électrique globale et de l'efficacité de collecte.

III.1. Mesure de potentiel de surface en régime « statique »

Nous avons présenté dans le chapitre précédent les bancs expérimentaux et les différents éléments qui les constituent. Une première étude de caractérisation de la sonde électrostatique a été effectuée avec le premier banc expérimental, la conclusion nous a emmené à utiliser le deuxième banc pour avoir des résultats plus précis. D'une part, la non-uniformité de la distribution des fibres sur l'échantillon, d'autre part la non-homogénéité de la distribution des charges électriques sur l'échantillon nous imposent d'affiner l'étude de caractérisation de la sonde électrostatique, afin de déterminer le « champ de vision » du capteur sur la surface du media. Cette étude a pour objectif d'apporter une lumière sur la signification des valeurs affichées par le voltmètre électrostatique (Trek, model 3450) muni de la sonde électrostatique (Trek, model 341B).

Pour cette étude, différents type d'électrodes ont été utilisées. Un potentiel fixe de 875 V est appliqué aux électrodes, ce qui permet d'obtenir en sortie du voltmètre électrostatique un signal ayant une amplitude de 0,875 V. En effet, un rapport de 1/1000 existe entre le signal réel et le signal enregistré par l'instrument virtuel. Le fait d'imposer un signal proche de 1 kV permet d'enregistrer des valeurs avoisinantes le Volt, ce qui les éloigne du bruit du fond.

Nous avons fait varier les hauteurs h et d , distances respectives « sonde – électrode », « électrode – plan de masse ». Les mesures sont effectuées en mode statique, sur différentes positions relatives entre la sonde et l'électrode. Le dispositif de test pour l'étude de l'influence de la géométrie des électrodes et des hauteurs h et d sont détaillées dans la section suivante.

III.1.1. Influence de la géométrie des électrodes et des hauteurs h et d

III.1.1.1. Description du dispositif de test

La figure III.1 illustre le dispositif expérimental utilisé pour la caractérisation de la sonde électrostatique en mode statique. Nous disposons de trois électrodes en cuivre, un fil de 0,2 mm de diamètre, un cylindre de 4 mm de diamètre et une bande de 40 mm de large. Placées à une distance d de 3 et 5 mm par rapport au plan de masse, les trois électrodes sont soumises à un potentiel fixe de 875 V. L'ordinateur qui contrôle le système de déplacement du banc expérimental est programmé pour déplacer la sonde électrostatique toutes les 2 s de 0,1 mm en partant de $x = -30$ mm à $x = +30$ mm (position relative de la sonde par rapport à l'électrode). La position $x = 0$ correspond à l'alignement de la sonde au centre de l'électrode. Pour chaque déplacement relatif de la sonde par rapport à l'électrode, le potentiel de surface lu par le voltmètre électrostatique est enregistré en faisant la moyenne de 10 points de mesures acquises à une fréquence d'acquisition $F_e = 10$ Hz.

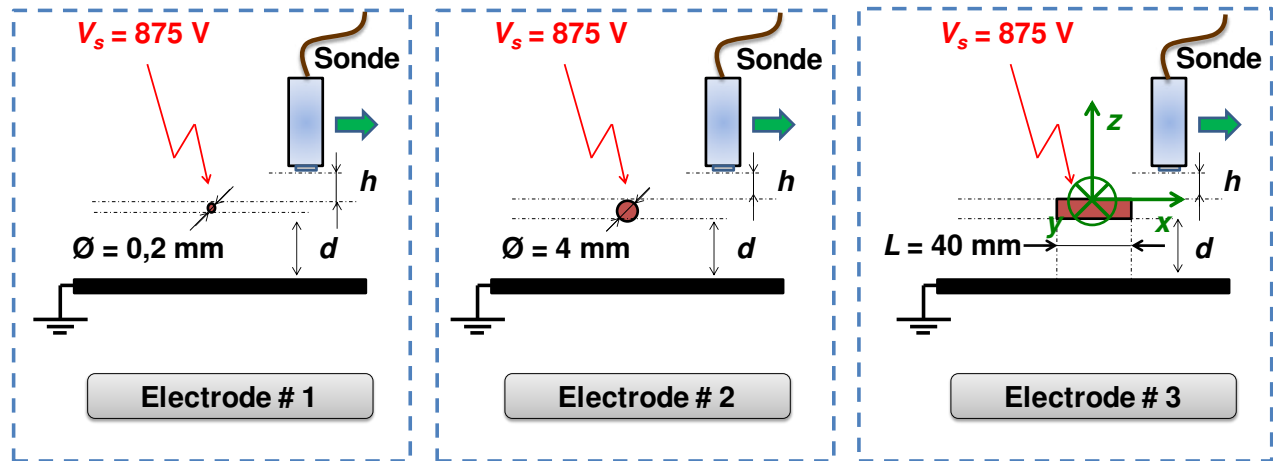
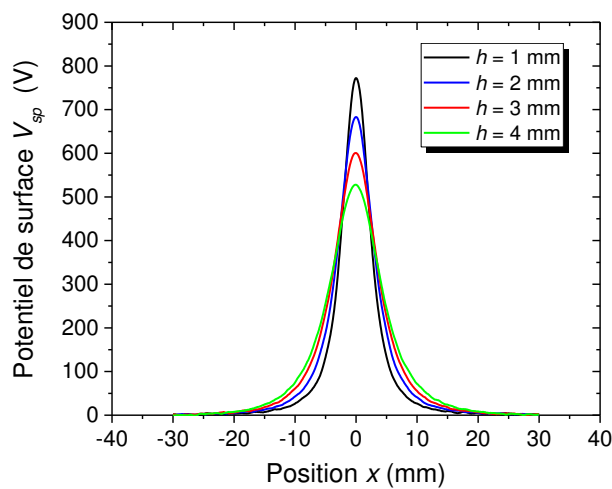


Figure III.1 : Dispositif expérimental pour la caractérisation de la sonde en mode statique.

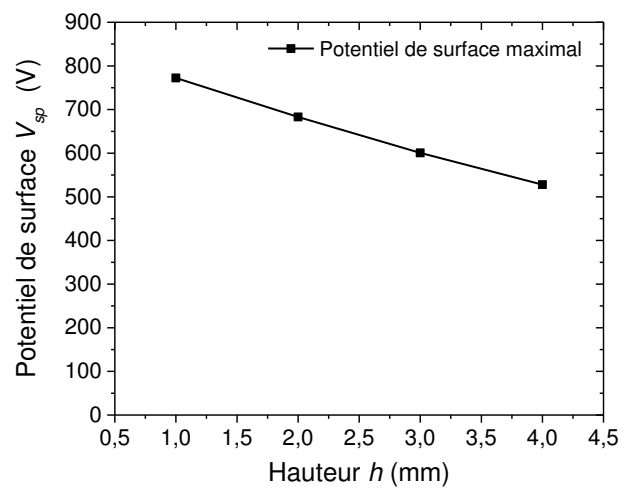
III.1.1.2. Résultats des mesures et interprétations

Les résultats de la figure III.2 montrent le potentiel mesuré par le voltmètre électrostatique pour différentes valeurs de la hauteur h entre la sonde et l'électrode # 1, pour différentes positions relatives entre la sonde et l'électrode. La résolution spatiale d'acquisition des points est de 0,1 mm.

L'augmentation de l'espacement entre la sonde et l'électrode influence de façon significative le potentiel mesuré par le voltmètre électrostatique. En position centrale, on passe de 772 V, pour $h = 1$ mm à 528 V pour $h = 4$ mm. L'écart entre le potentiel réel appliqué et le potentiel mesuré augmente de façon quasi-linéaire.



(a)



(b)

Figure III.2: Evolution du potentiel de surface V_{ps} de la sonde en fonction de la position x (a) et de la hauteur h (b). Conditions expérimentales : Electrode # 1, $V_s = 875$ V, résolution spatiale de mesure = 0,1 mm.

La figure III.3 montre l'évolution du potentiel mesuré point par point en fonction de la position x pour les trois électrodes utilisées et pour deux distances d (écartement entre les électrodes de test et le plan de masse).

Les résultats montrent que le potentiel de surface mesuré pour les électrodes # 1 et # 2 est très élevé, mais légèrement inférieur au potentiel appliqué lorsque la sonde se trouve face à ces électrodes en position centrale. L'électrode # 3 a une surface plus large qui couvre la zone totale vue par la sonde, ce qui permet au voltmètre électrostatique de lire quasiment le potentiel appliqué à cette électrode. En diminuant la distance d , le potentiel de surface mesuré décroît légèrement comme on peut le constater sur la figure III.3(a). Cette décroissance s'accroît lorsque la sonde s'éloigne de la position centrale de l'électrode (figure III.3(b)), notamment pour les électrodes # 1 et # 2 qui ont un diamètre largement inférieur à la largeur de l'électrode # 3. Le rapprochement de la masse en diminuant la distance d modifie les lignes du champ électrique, ce qui explique une baisse du potentiel de surface.

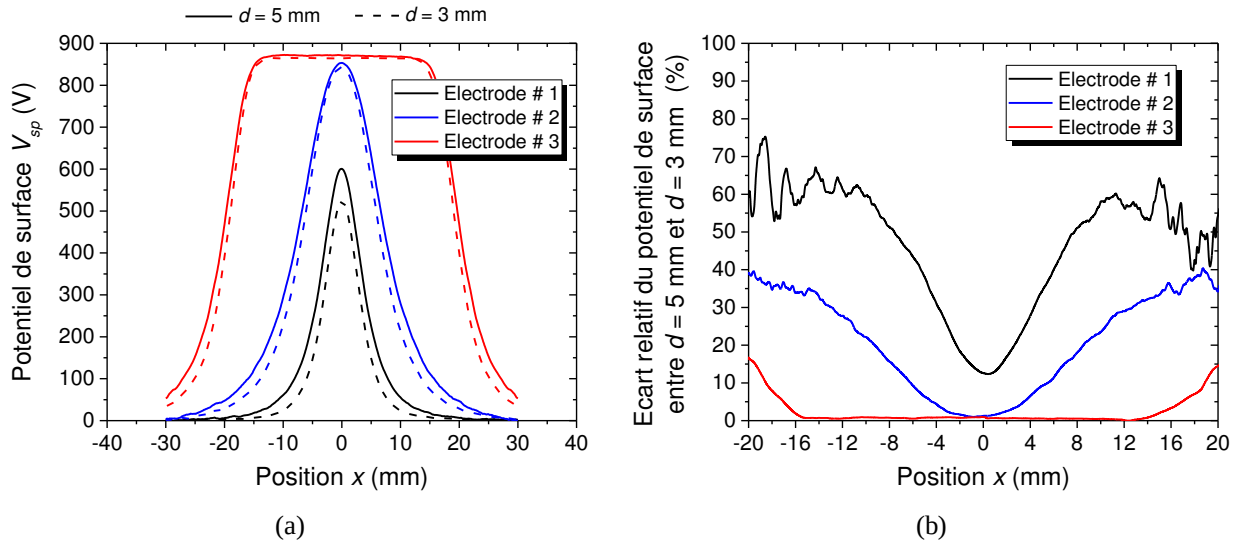


Figure III.3: (a) Potentiel de surface V_{ps} en fonction de la position x pour différentes électrodes polarisées pour $d = 5$ mm et 3 mm ; (b) écart relatif du potentiel de surface en pourcentage pour $d = 5$ mm et $d = 3$ mm. Conditions expérimentales : Electrode # 1 ($\phi = 0,2$ mm), électrode # 2 ($\phi = 0,4$ mm), électrode # 3 ($L = 40$ mm), $V_s = 875$ V, mesure point par point tous les 2 secondes avec une résolution spatiale de 0,1 mm.

III.1.2. Détermination de l'ouverture latérale de la sonde

III.1.2.1. Description de la procédure expérimentale

L'objectif dans cette section est de déterminer la relation entre l'ouverture latérale de l'œil de la sonde (λ) et l'espacement h entre la sonde et la surface de mesure. Pour déterminer la valeur de λ , nous avons conçu des électrodes avec une géométrie bien adaptée. La partie active de

l'électrode est dans le même plan que le plan de la masse, mais ces deux éléments sont séparés d'un espace diélectrique de 0,2 mm.

La figure III.4 montre les schémas de ce type d'électrode ainsi que l'installation expérimentale. Nous avons utilisé le voltmètre électrostatique (Trek, model 3450) muni de la sonde électrostatique (Trek, model 341B) pour mesurer le potentiel de surface. Plusieurs électrodes avec différentes largeurs (L) ont été utilisées pour les expérimentations. Nous avons appliqué différents potentiels à ces électrodes, puis tous les 2 s nous avons mesuré le potentiel en modifiant la position relative entre la sonde et l'électrode suivant l'axe des x avec une résolution de 0,1 mm. Les mesures ont été effectuées pour deux valeurs de h (3 mm et 6 mm).

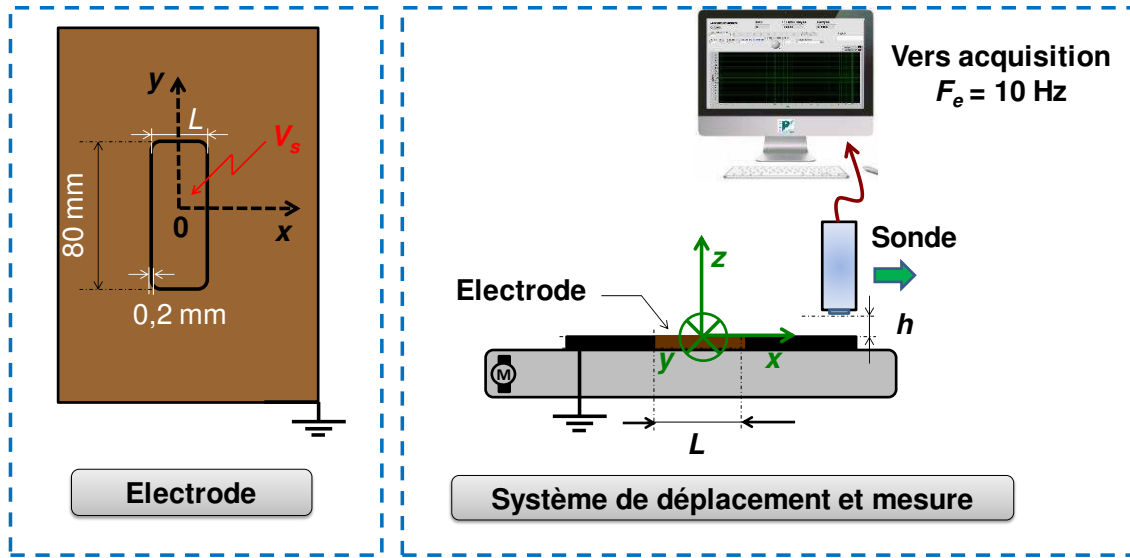


Figure III.4: Configuration expérimentale pour la détermination de l'ouverture latérale λ de la sonde

III.1.2.2. Résultats et interprétations

L'ouverture latérale du capteur λ correspond approximativement à la zone linéaire vue par la sonde pour un espacement entre la sonde et la surface de l'échantillon h donnée.

La figure III.5 montre la méthode utilisée pour la détermination de λ . En effet, en prenant une bande assez large $L \gg \lambda$, le balayage de l'électrode par la sonde électrostatique permettra d'observer un signal qui passe de 0 V au potentiel maximum appliqué $V_{s \max}$, puis retombera à 0 V.

En déduisant la largeur à mi-hauteur du lobe L et la grandeur Δ qui correspond à la distance à laquelle le potentiel de surface est compris entre $\pm 5\%$ du potentiel maximum, nous obtiendrons la valeur de λ . Ceci nous permet d'écrire :

$$\lambda = L - \Delta \quad (\text{III.1})$$

Une deuxième technique pour l'identification de λ consiste à calculer l'écart absolu entre x_1 et x_2 , avec x_1 étant la position à laquelle nous lisons la moitié du potentiel maximal du signal enregistré et x_2 étant la position à laquelle le potentiel lu est à 95% du potentiel maximal. Nous obtenons ainsi l'équation suivante :

$$\lambda = 2 \times (x_2 - x_1) \quad (\text{III.2})$$

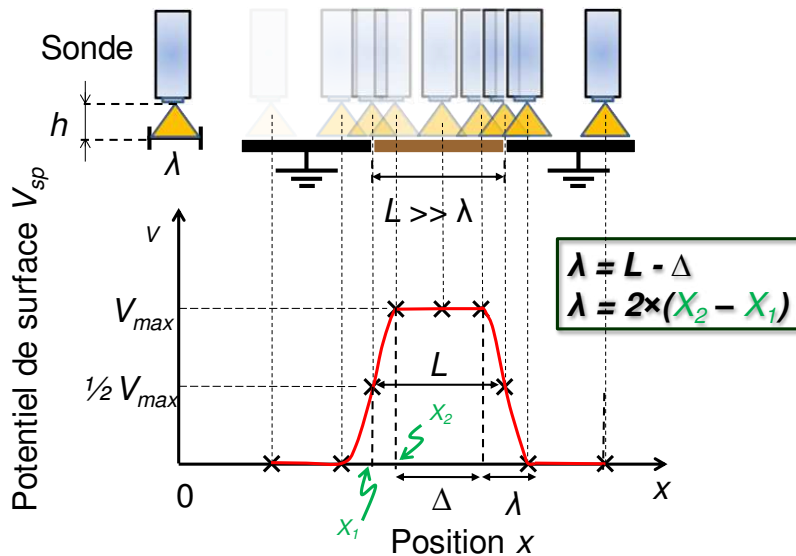


Figure III.5: Détermination théorique de l'ouverture latérale λ de la sonde par mesure du potentiel de surface en fonction de la position x de la sonde.

Différentes largeurs d'électrodes ont été utilisées pour étudier l'influence de la largeur de l'électrode sur la détermination de l'ouverture latérale λ (figure III.6(a)). Les résultats montrent qu'il est nécessaire d'utiliser des électrodes de largeur largement supérieure à la valeur de λ pour pouvoir déterminer la valeur de λ avec la technique citée ci-dessus. En utilisant l'équation (III.2) nous obtenons $\lambda = 8$ mm pour $h = 3$ mm.

Pour étudier l'influence de la hauteur h sur l'ouverture latérale de la sonde, nous avons déterminé λ pour $h = 6$ mm et nous l'avons comparé à la valeur de λ obtenue pour $h = 3$ mm (figure III.6(b)). Les résultats montrent qu'en doublant la hauteur h , l'ouverture latérale de la sonde est multipliée par deux, pour $h = 6$ mm nous obtenons $\lambda = 16$ mm.

Pour terminer l'étude nous avons varié la tension d'alimentation V_s en utilisant la même largeur d'électrode ($L = 20$ mm) et le même espacement entre la sonde et l'électrode ($h = 3$ mm). Comme le montre la figure III.6(c), la variation de la tension V_s n'a pas d'influence majeure sur l'ouverture latérale λ . Les résultats obtenus ici permettent de conclure que parmi les paramètres étudiés, h est le paramètre influant de manière significative la valeur de λ . Nous pouvons déduire des résultats précédents la formule suivante qui donne la valeur de λ en fonction de h :

$$\lambda \approx \frac{8}{3} \cdot h \quad (\text{III.3})$$

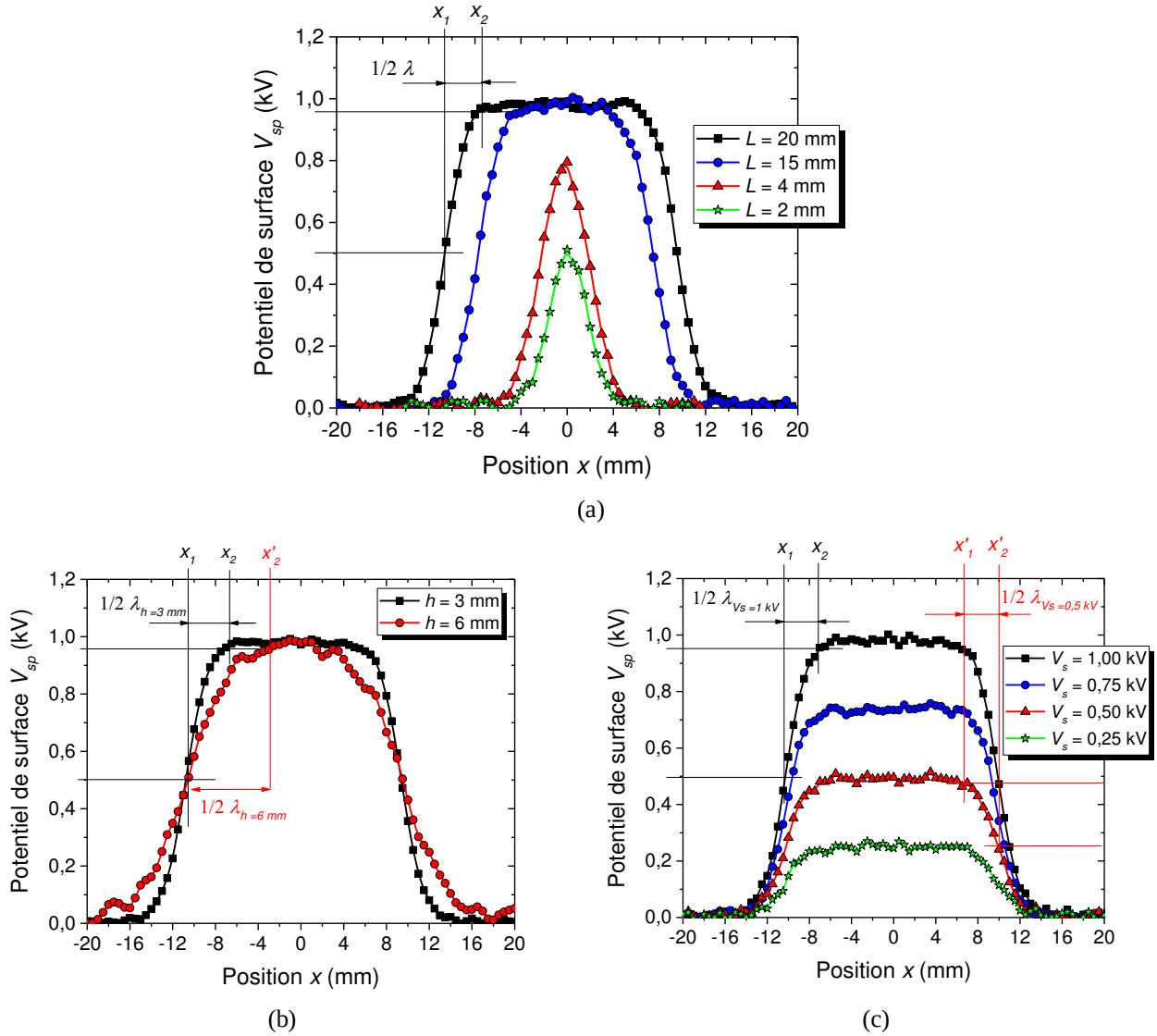


Figure III.6: Influence de la largeur de l'électrode L (a), de la hauteur h (b), et du potentiel source V_s (c) sur l'ouverture latérale λ de la sonde. Conditions expérimentales : (a) $V_s = 1$ kV, $h = 3$ mm, (b) $V_s = 1$ kV, $L = 20$ mm, et (c) $h = 3$ mm, $L = 20$ mm.

III.2. Mesure de potentiel de surface en régime « dynamique »

Dans cette section, nous allons nous intéresser à l'étude de l'influence de la vitesse relative entre la sonde et la surface de mesure V_b ainsi que la fréquence d'acquisition F_e sur la qualité de la mesure du potentiel de surface en régime dynamique (acquisition des données avec la sonde en mouvement).

Dans une première étude, nous ferons varier la vitesse de balayage, tout en fixant la fréquence d'acquisition. Dans la deuxième partie de l'étude, nous fixerons la vitesse de balayage et nous ferons varier la fréquence d'acquisition. Le paragraphe suivant décrit la procédure expérimentale pour les variations de la fréquence d'acquisition et de la vitesse de balayage.

III.2.1. Influence de la fréquence F_e et de la vitesse de balayage V_b

III.2.1.1. Description de la procédure expérimentale

La figure III.7 montre une représentation schématisque du montage expérimental adopté pour la caractérisation de la sonde en mode dynamique. Nous avons utilisé une plaque contenant 5 bandes en cuivre avec une largeur L de 2 mm, excepté la bande N° 5 qui fait 3 mm de large. Chacune des bandes est connectée à un potentiel fixe de 1 kV. Les bandes sont distantes de 2 mm avec un espace diélectrique de 0,2 mm séparant chaque électrode active de la masse. Dans un premier temps le potentiel est mesuré point par point suivant la direction x avec une résolution de 0,1 mm, puis une mesure en balayage est effectuée en faisant varier les paramètres V_b et F_e .

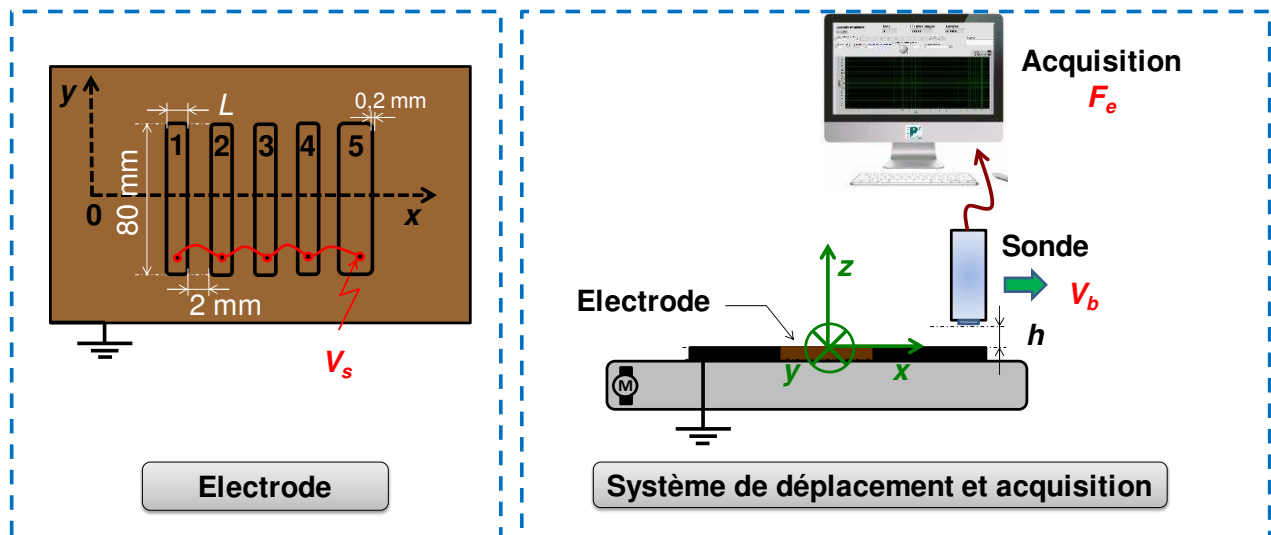


Figure III.7: Configuration expérimentale pour la caractérisation de la sonde en mode dynamique

III.2.1.2. Résultats et interprétations

A. Effet de la vitesse de balayage V_b

La figure III.8 illustre la distribution du potentiel acquise le long de l'axe des x pour différents valeurs de la vitesse de balayage (de $1,5 \text{ mm.s}^{-1}$ à 12 mm.s^{-1}) à fréquence d'acquisition fixe ($F_e = 1 \text{ Hz}$). Pour chaque graphe, nous comparons la distribution obtenue en mesure dynamique par rapport à celle enregistrée en mode statique (mesure point par point) avec une résolution de 0,1 mm.

En analysant la précision du profil de distribution du potentiel enregistré en dynamique, il apparait évident que la diminution de la vitesse de balayage permet de mieux se rapprocher de la courbe réelle obtenue en statique avec une résolution de 0,1 mm. L'inconvénient est le temps nécessaire pour faire toute l'acquisition. En effet, plus la vitesse de balayage diminue, plus le temps nécessaire pour faire l'acquisition est long. La durée d'acquisition peut avoir des conséquences importantes sur les résultats de cartographie du potentiel de surface dans le cas des échantillons ayant une constante temps du déclin de potentiel assez importante.

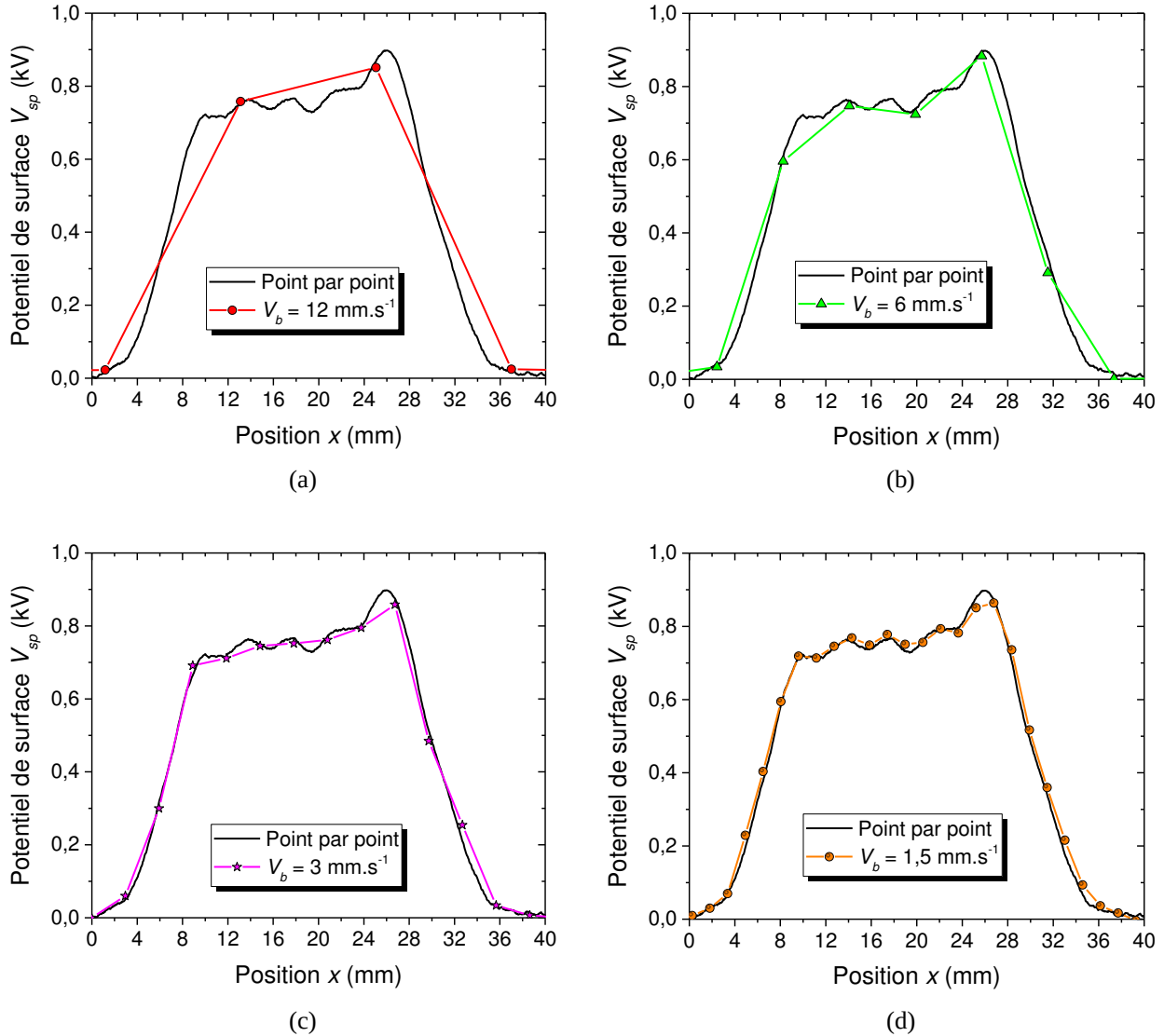


Figure III.8: Comparaison du potentiel de surface V_{sp} en fonction de la position x de la sonde en mode dynamique et en mode statique. Conditions expérimentales : $V_s = 1 \text{ kV}$, $F_e = 1 \text{ Hz}$.

B. Effet de la fréquence d'acquisition F_e

La figure III.9 illustre la distribution du potentiel acquis le long de l'axe des x en balayage $V_b = 14,28 \text{ mm.s}^{-1}$ pour différentes fréquences d'acquisitions (de 1 Hz à 64 Hz). Nous comparons ici la distribution obtenue en mesure dynamique par rapport à celle enregistrée en mode statique (mesure point par point) avec une résolution spatiale de 0,1 mm.

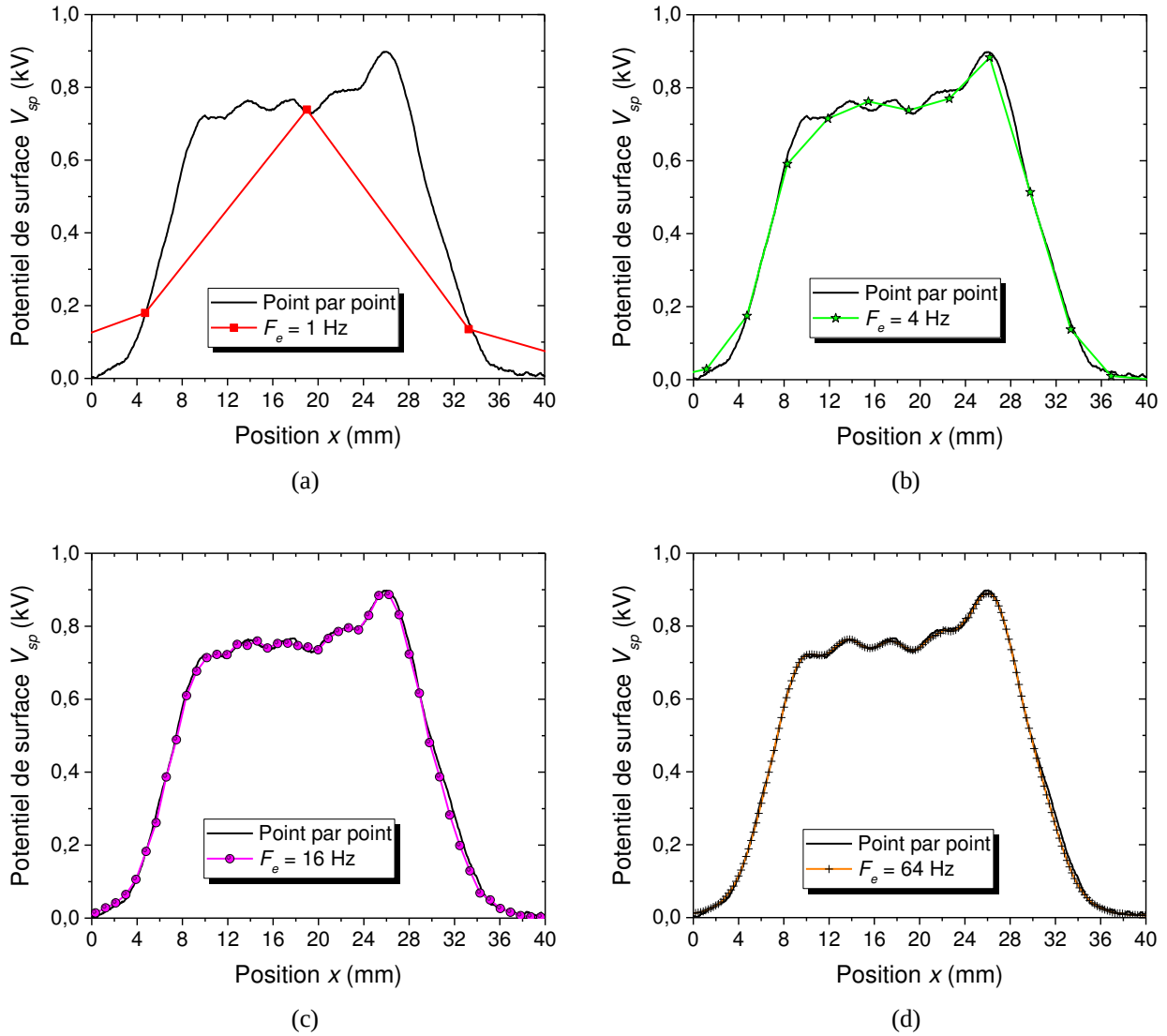


Figure III.9: Comparaison du potentiel de surface V_{sp} en fonction de la position x de la sonde en mode dynamique et en mode statique. Conditions expérimentales : $V_s = 1 \text{ kV}$, $V_b = 14,28 \text{ mm.s}^{-1}$.

Les résultats montrent que l'augmentation de la fréquence d'acquisition permet d'apporter une précision sur la distribution du potentiel de surface en mesure dynamique. Lorsque le rapport k (résolution spatiale utilisée en mode statique) tend vers 0,1, les signaux enregistrés en mode

dynamique et statique sont bien corrélés. Peu importe la valeur de la résolution spatiale k , la valeur enregistrée en mode dynamique à la position x_i correspond à celle enregistrée en mode statique à la même position. En effet, le temps de réponse du voltmètre électrostatique, qui est de $200\ \mu\text{s}$ à plein échelle (0 – 20 kV) est largement suffisant pour nous permettre de travailler dans les conditions expérimentales de la thèse.

C. Discussion sur la résolution spatiale $k = V_b/F_e$

Nous avons étudié précédemment la variation de V_b et de F_e en fixant l'un des deux paramètres. Nous savons que le rapport de ces deux paramètres (V_b/F_e) fixe la résolution spatiale k , par conséquent k fixe la précision sur la forme du signal enregistré en mode dynamique comparé à celle enregistrée en mode statique.

La figure III.10 montre que la diminution de la vitesse de balayage et l'augmentation de la fréquence d'acquisition permet de diminuer la résolution spatiale k . La variation de V_b (figure III.10(a)) répond à une fonction linéaire, alors que celle de F_e répond à une fonction inverse (figure III.10(b)). Par conséquent la variation de la fréquence d'acquisition permettra d'améliorer plus facilement la qualité du signal mesuré comparée à la variation de V_b .

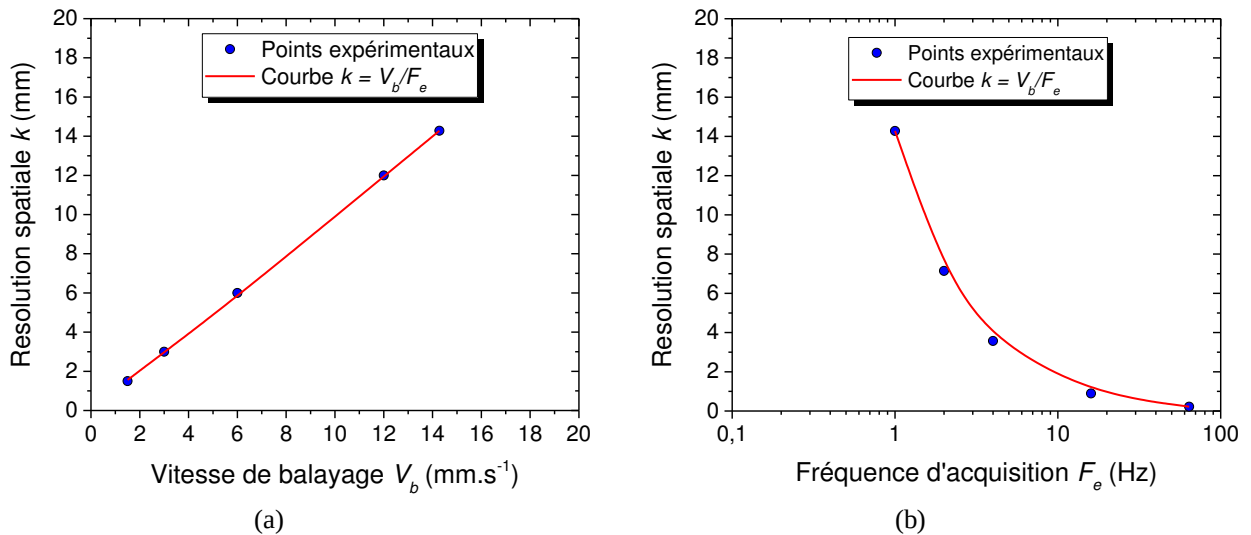


Figure III.10: Résolution spatiale k en fonction de la vitesse de balayage V_b (a) et de la fréquence d'acquisition F_e (b). Conditions expérimentales : (a) $F_e = 1\ \text{Hz}$, (b) $V_b = 14,28\ \text{mm.s}^{-1}$, $V_s = 1\ \text{kV}$.

La vitesse minimale programmable sur la machine est de $1,5\ \text{mm.s}^{-1}$, ceci limite la résolution spatiale à $1,5\ \text{mm}$ pour une fréquence d'acquisition de $1\ \text{Hz}$. Par conséquent, pour augmenter la précision sur la forme du signal mesuré par rapport au signal réel présent sur la surface de mesure, il convient tout simplement d'augmenter la fréquence d'acquisition à la limite de l'instrument ayant la capacité la plus faible sur la chaîne de mesure, en occurrence celle de la sonde, qui est de $200\ \mu\text{s}$, soit $5\ \text{kHz}$.

Une acquisition à 5 kHz pèserait assez lourd sur le traitement des données, cela représenterait un million de points pour une durée de 200 s. Nous allons donc étudier les conditions limites permettant d'obtenir un signal conforme à la distribution du potentiel sur la surface de mesure.

III.2.2. Conditions limites d'utilisation de la sonde

Nous avons vu précédemment les limites physiques d'utilisation du deuxième banc expérimental, à savoir :

- Le pas minimum de déplacement est de $10\ \mu\text{m}$ en mode statique ;
- Le temps de réponse de la sonde en plein échelle (0 – 20 kV) est de $200\ \mu\text{s}$;
- La vitesse minimum de déplacement en mode balayage est de $1,5\ \text{mm.s}^{-1}$.

Compte tenu de ces éléments, nous allons nous intéresser aux conditions pour lesquelles l'utilisation du capteur en mode balayage permettrait d'obtenir un signal qui corrèle bien avec le potentiel présent sur la surface de mesure. L'objectif est d'optimiser la résolution spatiale sans détériorer la forme du signal à mesurer lorsque la vitesse relative entre la sonde et la surface de mesure est maximale.

II.2.2.1. Description de la procédure expérimentale

Nous avons utilisé trois plaques contenant chacune des bandes en cuivre de largeur différente. Les plaques sont numérotées de 1 à 3, la description de chacune d'entre elles se trouve sur la figure III.11.

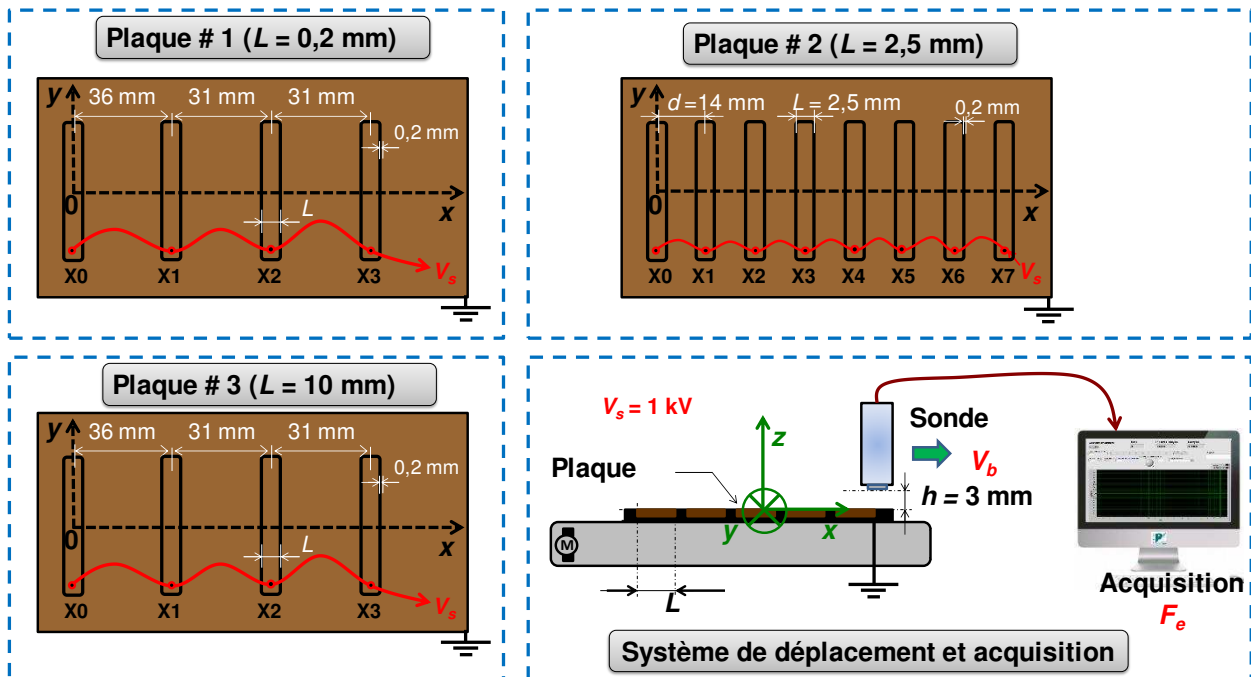


Figure III.11: Configuration expérimentale pour la caractérisation de la limite de la sonde

Les électrodes sont référencées de X_0 à X_n , l'électrode X_0 correspond à la position initiale de la sonde. Les plaques # 1 et # 3 contiennent respectivement 4 bandes de 0,2 mm et 10 mm contrairement à la plaque # 2 qui contient 8 bandes de largeur $L = 2,5$ mm. Chaque bande est isolée du reste de la plaque par un espace diélectrique de 0,2 mm, puis connectée à un potentiel fixe de 1 kV, le reste de la plaque est connecté à la masse. La sonde est placée à une hauteur $h = 3$ mm de la surface de mesure. La vitesse relative entre la sonde et la surface de mesure est fixée à $14,28 \text{ mm.s}^{-1}$. Le potentiel de surface est mesuré en balayage suivant la direction x pour différentes résolutions spatiales en faisant varier la fréquence d'acquisition F_e .

II.2.2.2. Résultats et interprétations

La figure III.12 montre l'influence de la résolution spatiale k sur le potentiel de surface pour trois configurations géométriques (platine # 1, # 2 et # 3). Les trois platines sont soumises à un potentiel fixe de 1 kV. On compare ici les courbes obtenues pour différentes résolutions spatiales dépendantes de F_e , par rapport à une courbe obtenue avec une résolution faible de 0,06 mm ($F_e = 240 \text{ Hz}$).

En fixant la vitesse de balayage, la variation de la fréquence d'acquisition modifie la résolution spatiale. Ainsi, la réduction de la fréquence d'acquisition fait croître la valeur de k , ce qui conduit à une dégradation significative de la qualité du signal obtenu. En analysant les formes des signaux obtenus pour les trois cas étudiés, on peut noter que peu importe la largeur L sur laquelle le potentiel est distribué sur la surface de l'échantillon, c'est bien le paramètre k qui permet de contrôler le rapprochement entre la distribution réelle du potentiel à la surface de mesure et celle mesurée par la sonde. Ces résultats montrent une différence significative lorsque la résolution spatiale k est plus large que la zone d'observation du capteur λ . En effet, pour $k > 8$ mm, la forme du signal obtenu est en décalage par rapport à celle attendue. En revanche, On peut obtenir une forme du signal en adéquation avec celle attendue lorsque la résolution spatiale est inférieure à la moitié de la zone d'ouverture de l'œil de la sonde ($k < 0,5 \lambda$).

Par analogie au principe de Shannon, la représentation d'un signal continu par des échantillons régulièrement espacés, exige une fréquence d'échantillonnage supérieure au double de la fréquence maximale du signal à échantillonner. Un signal échantillonné est plus proche de la forme du signal d'origine lorsque le rapport entre sa fréquence maximale $F_{\max}$ et la fréquence d'échantillonnage F_e est largement inférieure à 0,5. Lorsque ce rapport tend vers 0, on obtient un signal quasi-continu.

Par rapport aux résultats obtenus, on peut choisir une résolution maximale de 0,1 mm, ainsi pour un déplacement de l'échantillon à la vitesse maximale du support (30 mm.s^{-1}), on fixera la fréquence d'acquisition à 300 Hz.

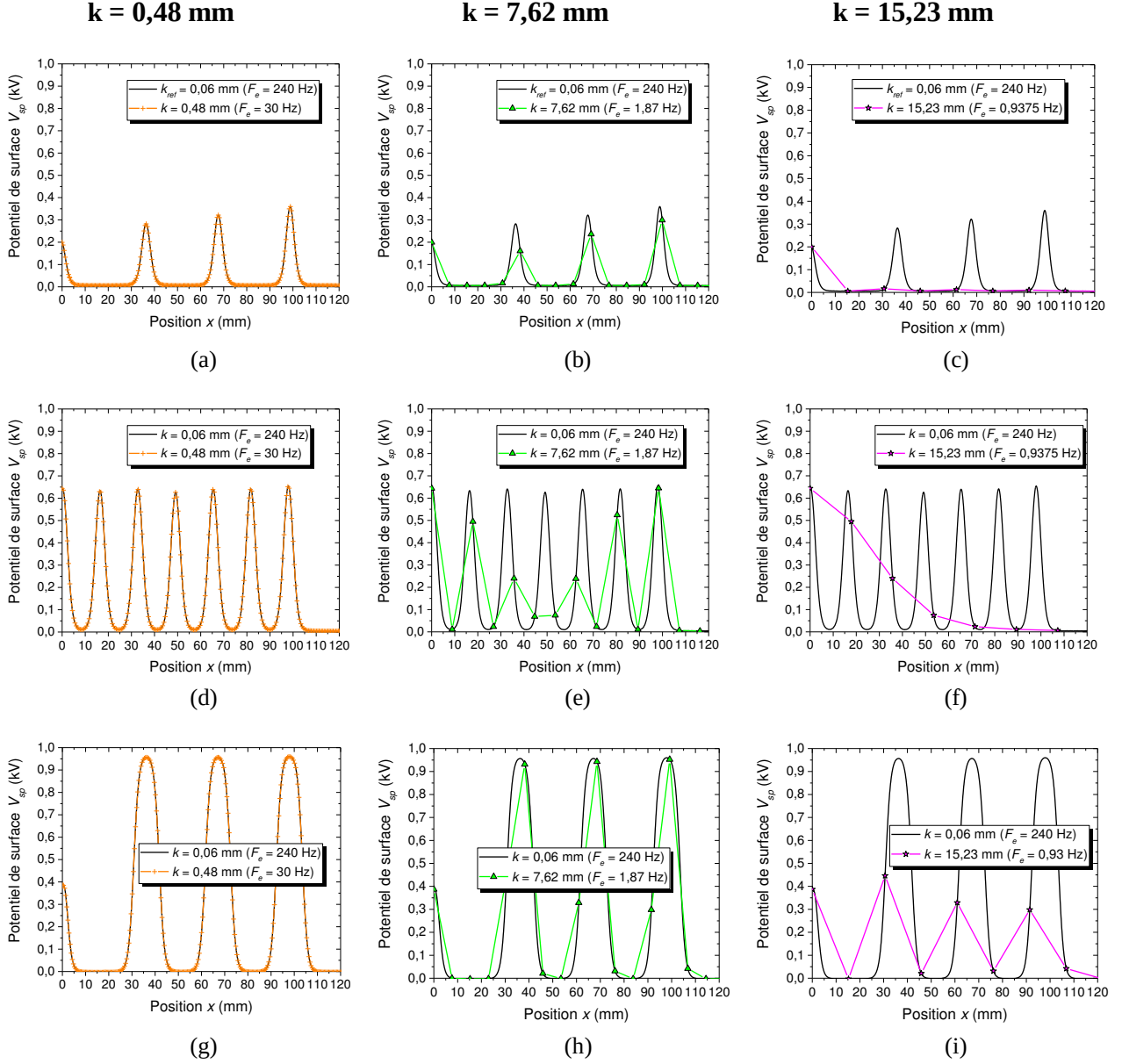


Figure III.12: Influence de la résolution spatiale k par mesure du potentiel de surface V_{sp} en fonction de la position x de la sonde. Conditions expérimentales : (a) – (c) Plaque # 1, (d) – (f) Plaque # 2, (g) – (i) Plaque # 3, signal de référence obtenue avec une résolution spatiale $k_{ref} = 0,06$ mm ($F_e = 240$ Hz), $V_s = 1$ kV, $V_b = 14,28$ mm.s⁻¹.

Sachant que l'ouverture latérale λ du l'œil du capteur dépend essentiellement de la hauteur h (espacement entre l'échantillon et la sonde), nous pouvons écrire à partir de la relation (III.3) la condition limite de la résolution spatiale permettant d'obtenir un signal discrétisé conforme au signal présent sur la surface de mesure :

$$k < 0,1 \quad (III.4)$$

$$k < \frac{8h}{3} \times \frac{1}{80} \quad (\text{III.5})$$

$$k < \frac{h}{30} \quad (\text{III.6})$$

$$\frac{V_b}{F_e} < \frac{h}{30} \quad (\text{III.7})$$

Par rapport à ces informations, il convient de fixer la hauteur h , puis la vitesse de balayage V_b et enfin la fréquence d'acquisition F_e , en s'assurant bien sûr que F_e soit toujours inférieure à 5 kHz.

III.3. Mesure de la charge électrique globale et de l'efficacité de collecte

Dans cette section, nous présenterons le protocole expérimental utilisé pour mesurer la charge électrique globale avec la méthode dite « capacitive », puis nous présenterons le protocole utilisé pour mesurer l'efficacité de collecte.

III.3.1. Mesure de la charge électrique globale

La mesure de la charge électrique globale est intéressante dans le cas où on est amené à effectuer une corrélation entre la quantité de charge et l'efficacité de collecte. L'information sur la charge électrique par la mesure du potentiel de surface nous donne une mesure locale de l'échantillon, or la mesure de l'efficacité est une mesure globale, c'est pour cela que la mesure de la charge électrique globale est intéressante pour compléter l'étude.

III.3.1.1. Configuration expérimentale et protocole de mesure

Une fois l'échantillon chargé par décharge couronne, on mesure le profil du potentiel de surface suivant l'axe x sans toucher l'échantillon à l'aide d'une sonde électrostatique. Puis, à l'aide d'une pince en plastique on place l'échantillon sur un support plan en téflon en contact avec une électrode de mesure en aluminium. Celle-ci est reliée à un coulombmètre pour mesurer la quantité de charge électrique globale comme indiqué sur la figure III.13. Le support en téflon, se trouvant entre l'échantillon et l'électrode plane, a une épaisseur de 5 mm. Quatre supports en téflon ont été placés sous l'électrode de mesure pour l'isoler de la cage de Faraday (boîte en carton recouverte d'un film en aluminium).

Le coulombmètre utilisé ici est un appareil de la marque Keithley (model 6514). Le calibre de l'appareil est réglé sur 200 nQ. Chaque point de mesure de charge correspond à une moyenne de cinq mesures effectuées sur cinq échantillons différents. Pour chaque mesure de la charge électrique globale, nous comparerons le résultat par rapport au calcul de l'intégral du profil du potentiel de surface.

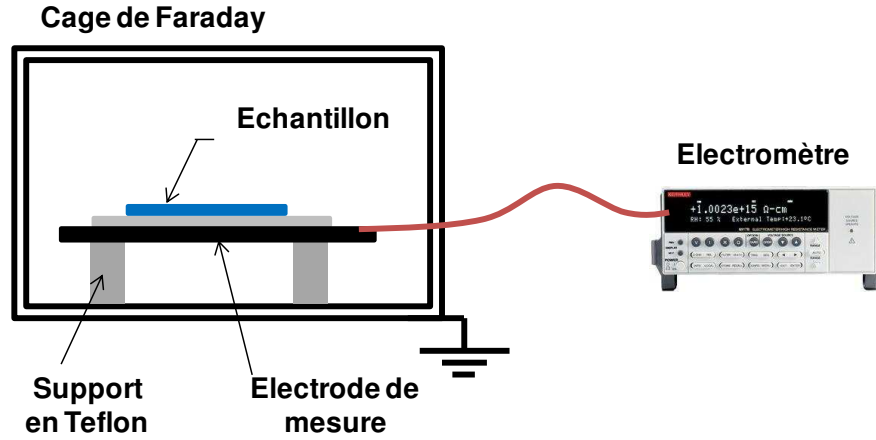


Figure III.13: Configuration expérimentale pour la mesure de charge électrique globale

III.3.1.2. Résultats et interprétations

La figure III.14(a) montre des profils typiques du potentiel de surface obtenu sur la ligne médiane d'un media fibreux de 90 mm de diamètre suivant l'axe x pour trois niveaux de V_g (0,25, 0,5 et 1 kV). A partir de ces résultats, il est possible de calculer le potentiel de surface moyen I_{ps} . Cette grandeur correspond à l'intégrale du potentiel de surface mesuré, c'est-à-dire l'aire sous la courbe du profil, normalisée par rapport au diamètre de l'échantillon.

$$I_{ps} = \frac{1}{D} \int_{-D/2}^{D/2} V_{sp}(x) dx \quad (III.8)$$

avec,

D : Diamètre de l'échantillon;

V_{ps} : Potentiel de surface;

x : position de la sonde.

La figure III.14(b) illustre l'évolution de la charge électrique globale en fonction du potentiel de surface moyen obtenu précédemment.

Les résultats permettent de mettre en évidence une relation linéaire entre la mesure du potentiel moyen I_{ps} et celle de la charge électrique globale Q . L'interpolation linéaire des données nous donne :

$$Q = a \cdot I_{ps} \quad (III.9)$$

Où

a est le coefficient directeur de la droite, $a = 33,5$ (nC.kV⁻¹).

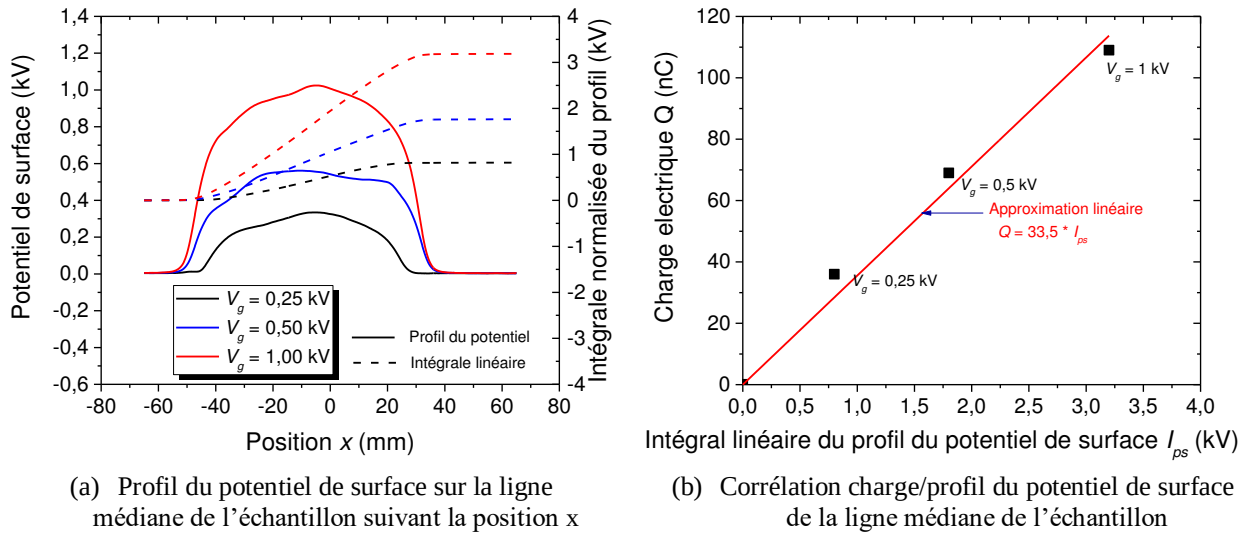


Figure III.14: Corrélation entre le profil du potentiel de surface et la mesure de la charge électrique globale. Conditions expérimentales : Système triode, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 27^\circ\text{C}$, HR = 54%, lot 1, $\phi = 90$ mm.

La détermination de la quantité de charge globale à partir de la mesure du profil du potentiel de surface est intéressante ici car la mesure se fait sans contact direct avec l'échantillon, alors que l'autre méthode (mesure avec un coulombmètre) nécessite une manipulation de l'échantillon, ce qui peut augmenter le risque d'erreur.

III.3.2. Mesure de l'efficacité de collecte

Après avoir chargé l'échantillon et quantifié la charge électrique, la mesure de l'efficacité de collecte reste la dernière étape de notre étude. Pour étudier l'efficacité de collecte, il est important pour nous de bien maîtriser les différentes parties liées à l'étude. Tout d'abord, on doit maîtriser le dépôt de charges électriques sur les médias, puis quantifier cette charge et enfin mesurer l'efficacité de collecte. Pour déterminer l'efficacité de collecte, on doit déterminer les concentrations de particules en amont et en aval du filtre. La mesure de l'efficacité de collecte en soi ne présente aucune difficulté car il suffit juste de mesurer les deux concentrations et calculer leur rapport, cependant les conditions permettant de valider cette mesure nécessitent un protocole expérimental très bien défini.

III.3.2.1. Configuration expérimentale

La figure III.15 schématise l'installation expérimentale utilisée pour la mesure d'efficacité de collecte. Pour générer les particules de test, on utilise l'air propre du réseau d'air comprimé, que l'on fait passer dans une chambre de combustion de bâtons d'encens (une cocotte). Pour réduire l'humidité de l'air arrivant dans la chambre de combustion à environ 5%, on utilise un dessiccateur à base de grains de silice. La régulation de la pression est assurée par des détendeurs et des débitmètres ajustables. Les mesures de concentrations doivent être faites à débit constant

(amont et aval), pour cela on doit choisir une période où la concentration de particules générées ne fluctue pas et surtout compenser la perte de charge due à la présence du filtre sans dépôt de charge électrique. Le système de génération de particules polluées a déjà été utilisé auparavant par d'autres doctorants, notamment Boni DRAMANE [83] et Arthur ABAA N'DONG [85], dans le cadre de leurs études sur la précipitation électrostatique. Nous l'avons adapté en ajoutant un support de filtre, des électrovannes pour les mesures des concentrations amont et aval. Pour effectuer les mesures de concentration de particules à perte de charge égale, nous avons ajouté une vanne réglable pour simuler la perte de charge du filtre (sans dépôt de charge), lorsqu'on « by-passe » celui-ci.

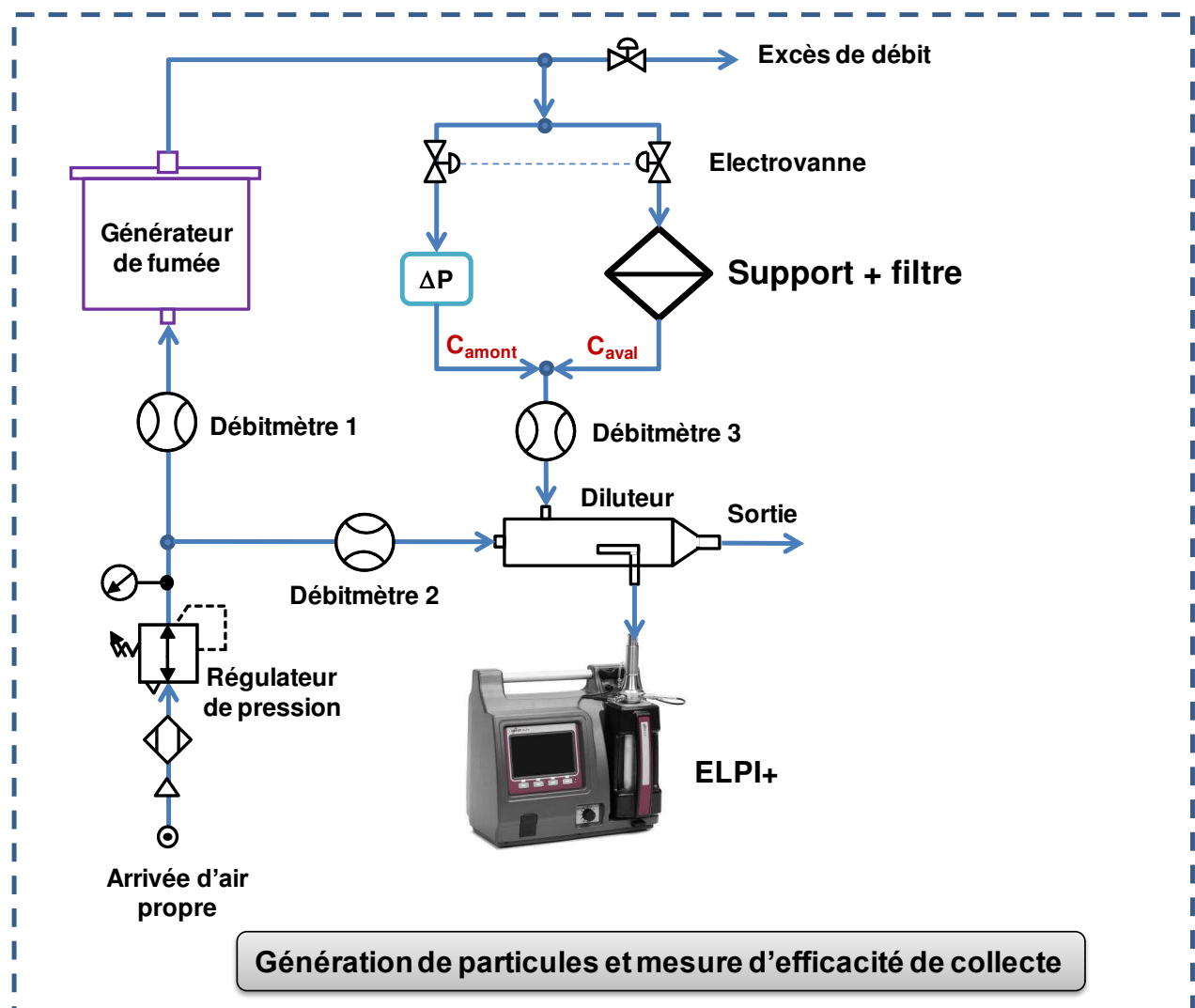


Figure III.15: Configuration expérimentale pour l'efficacité de collecte

Le tableau III.1 ci-dessous regroupe les principales caractéristiques du circuit fluide de l'installation.

Tableau III.1 : Caractéristiques du circuit fluide de l'installation

Propriétés	données
Débit air combustion	15 l.min ⁻¹
Débit air pollué (Q _p)	4 l.min ⁻¹
Débit air propre (Q _a)	70 l.min ⁻¹
Rapport de dilution (r _d)	18.5
Diamètre interne des tuyaux pneumatiques	4 mm
Diamètre interne du support du filtre	40 mm
Pression en sortie du détendeur	2 bars
Débit aspiration pompe vers ELPI+	15 l.min ⁻¹
Diamètre à l'entrée du ELPI+	25 mm
Pression à l'entrée du ELPI+	39 mbar
Fréquence d'acquisition du ELPI+	10 Hz
Humidité de l'environnement de l'installation	25% – 55%

III.3.2.2. Méthode de calcul de l'efficacité de collecte

Avant d'aborder la méthode utilisée pour le calcul de l'efficacité de collecte, il est important de connaître les concentrations typiques (globale et par classe) des particules d'encens.

A. Concentrations globale et par classe des particules d'encens

Le nanogranulomètre utilisé dans le cadre de cette thèse permet de mesurer la variation de la concentration des particules dans la gamme de taille de 6 nm à 10 µm. Les résultats sont classifiés physiquement en 14 classes. Le tableau III.2 représente les débuts des tailles de chaque classe en micromètre.

Tableau III.2 : Classification des tailles des particules par le nanogranulomètre

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Taille	0,06	0,0166	0,0271	0,0554	0,093	0,154	0,26	0,38	0,61	0,944	1,59	2,38	3,98	6,66

À l'instant $t = 0$, nous démarrons la combustion et l'enregistrement des données avec une fréquence d'acquisition de 1 Hz. 120 s après le début de la combustion, nous ouvrons la vanne qui permet d'envoyer les particules vers l'instrument de mesure le ELPI+. La figure III.16 représente l'évolution de la concentration de particules dans le temps et la distribution de particules par classe à l'instant $t = 800$ s, soit 13 min après le début de la combustion. Pour la lisibilité des données, nous avons choisi de ne présenter que les résultats des classes : 1, 4, 7, 10 et 13.

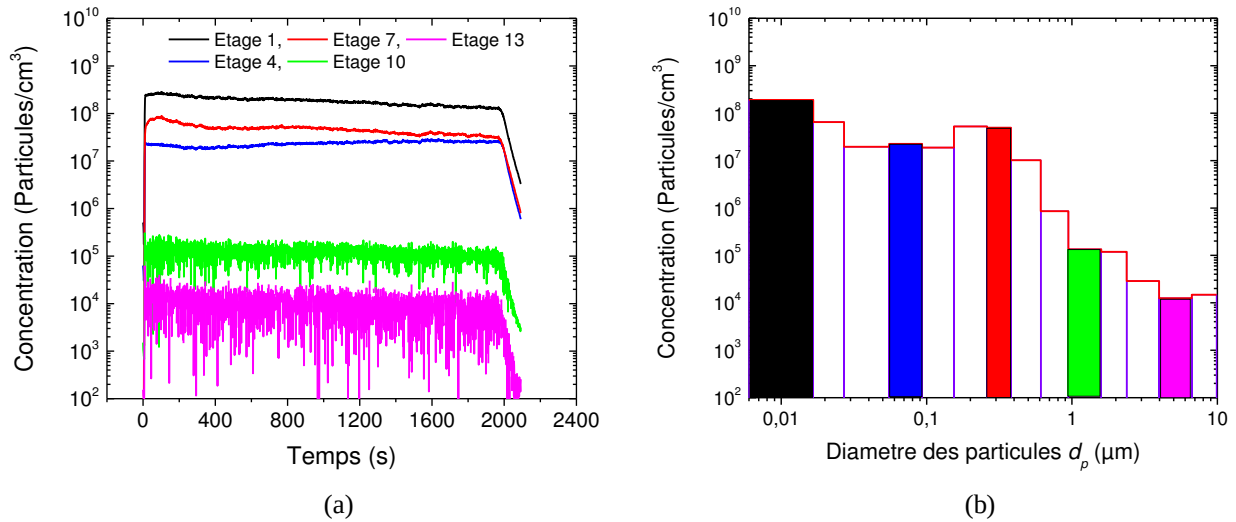


Figure III.16: (a) Evolution de la concentration de particules dans le temps. (b) distribution de particules par classe. Conditions expérimentales : Débit des particules polluées $Q_p = 1,9 \text{ l.min}^{-1}$, $T = 22\%$, $HR = 35\%$.

Nous notons une faible concentration de particules au-delà de $1 \mu\text{m}$ et une forte concentration pour les particules ultra fines de taille inférieure à 10 nm . En additionnant les concentrations obtenues par classe, nous obtenons la concentration globale des particules comprises entre 6 nm et $10 \mu\text{m}$, qui est de l'ordre de 2×10^8 particules par cm^3 .

Dans les études paramétriques, nous ciblerons la classe des particules de l'étage 7, c'est-à-dire les particules comprises entre $0,28 \mu\text{m}$ et $0,38 \mu\text{m}$. Car, la littérature montre que l'efficacité de collecte des médias fibreux est faible dans la zone $[0,1 ; 1] \mu\text{m}$.

B. Méthode de mesure des concentrations amont et aval

Pour expliquer le principe de mesure des concentrations amont et aval avec un seul instrument, nous utiliserons le schéma simplifié donné sur la figure III.17(a).

Les électrovannes EV1 et EV2 sont commandées électriquement en opposition. Lorsqu'EV1 est ouverte EV2 est fermée, ce qui permet de mesurer la concentration des particules en aval. Pour mesurer la concentration en amont, nous fermons EV1 et nous ouvrons EV2. La figure III.17(b) illustre le schéma de commande des électrovannes. Pour valider la mesure d'efficacité de collecte il est important de respecter deux éléments :

- ① Le débit d'air des particules doit être le même en amont et en aval du filtre ;
- ② L'écart entre les concentrations des particules $C_{\text{aval } 1}$ et $C_{\text{aval } 2}$ doit être inférieur à 5%.

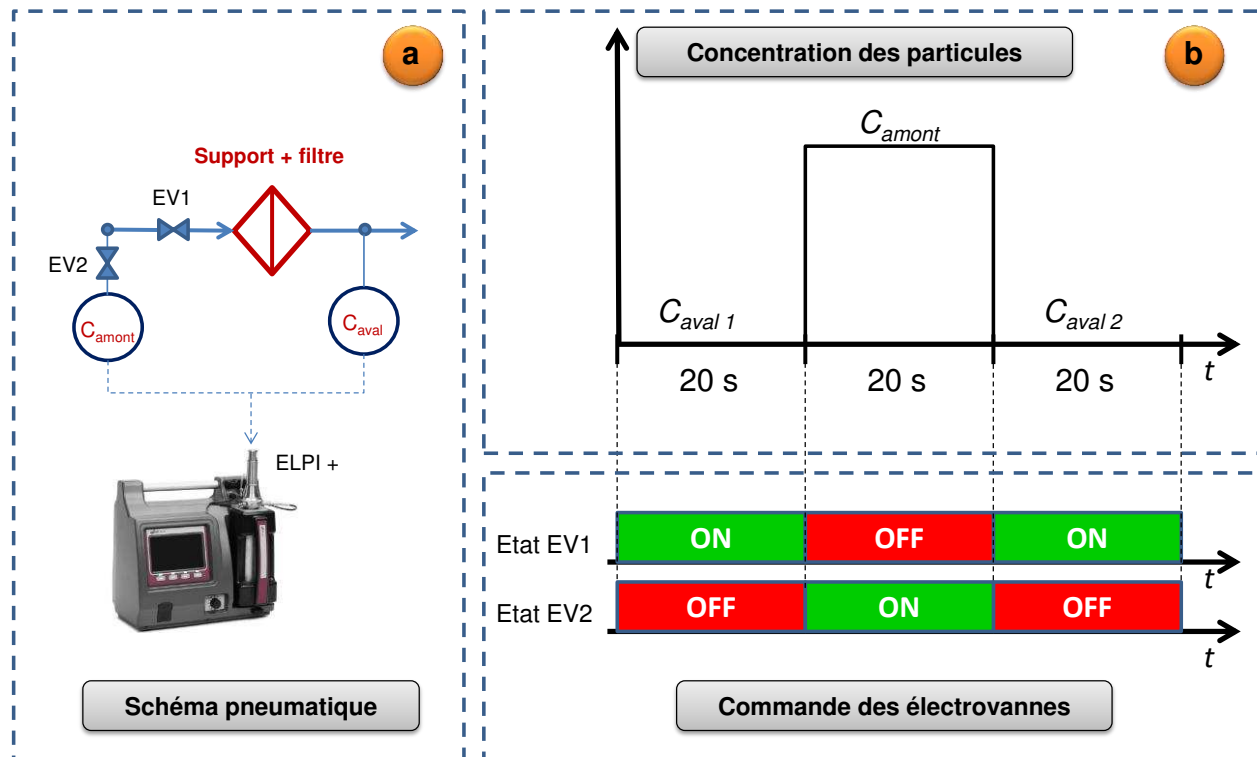


Figure III.17: Schéma simplifié de la mesure d'efficacité de collecte

Tous les 20 s, on change l'Etat logique des électrovannes EV1 et EV2 pour mesurer les concentrations (C_{amont} , $C_{aval 1}$ et $C_{aval 2}$) comme indiqué sur la figure III.18.

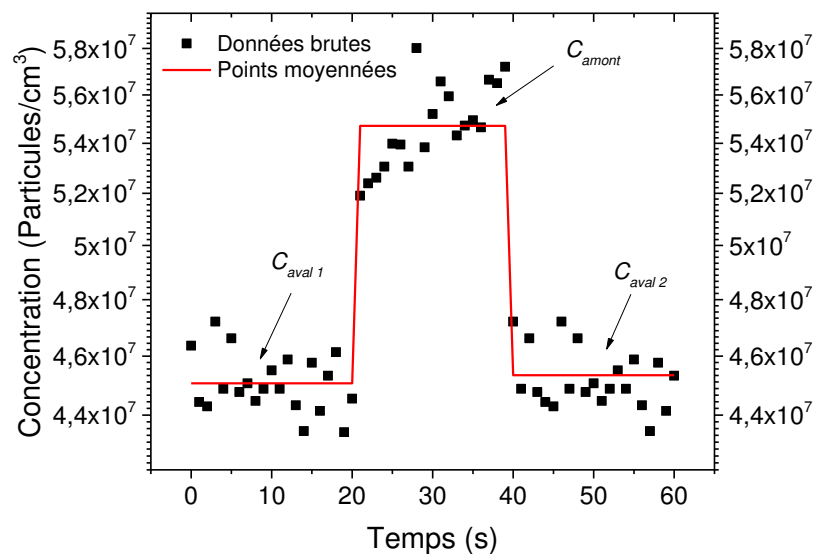


Figure III.18: Mesure d'efficacité de collecte étage 7 sans dépôt de charges. Conditions expérimentales : lot 1, $\phi = 90$ mm, débit des particules polluées $Q_p = 1,9 \text{ l.min}^{-1}$, $T = 22\%$, $HR = 36\%$.

Avant de procéder au calcul de l'efficacité de collecte, on commence par vérifier l'écart absolu entre $C_{aval\ 1}$ et $C_{aval\ 2}$, cet écart doit toujours être inférieur à 5%. Les mesures effectuées précédemment pour l'étage 7, nous donne : $C_{aval\ 1} = 4,51 \times 10^7$ particules.cm⁻³ et $C_{aval\ 2} = 4,55 \times 10^7$ particules.cm⁻³.

L'écart absolu entre $C_{aval\ 1}$ et $C_{aval\ 2}$ représente en pourcentage 0,8%, cet écart étant inférieur à 5%, nous pouvons procéder au calcul de l'efficacité de collecte.

$$\eta_f(\%) = \frac{C_{amont} - C_{aval\ moy}}{C_{amont}} \times 100 \quad (III.10)$$

L'efficacité globale η_g est calculée avec le même principe en utilisant les concentrations globales en amont et en aval, qui sont obtenues en faisant la somme des concentrations des particules des 14 classes du nanogranulomètre.

Dans cet exemple de mesure d'efficacité de collecte sans dépôt de charge, nous obtenons une efficacité globale de 23%. Pour la classe 7 [0,28 ; 0,38[μ m, l'efficacité fractionnaire est de 17%. Pour valider ce résultat, la mesure d'efficacité de collecte doit être effectuée au moins trois fois, et répétée pour au moins trois échantillons afin de déterminer la valeur moyenne et l'écart-type pour chaque point de mesure.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les conditions expérimentales acceptables pour la mesure du potentiel de surface en régime « statique » et « dynamique » en caractérisant la sonde de mesure du potentiel de surface. Cette caractérisation sur les deux régimes (statique et dynamique) nous a permis de bien comprendre le fonctionnement du capteur et surtout d'optimiser l'acquisition des données. Nous savons que le potentiel mesuré par la sonde électrostatique dépend essentiellement de la quantité de charge Q présente sur une surface S , vue par la sonde avec une ouverture latérale λ . La mesure du potentiel de surface est influencée par la hauteur h séparant la sonde et l'échantillon. Les études approfondies sur la caractérisation de la sonde en mode statique ont permis de déterminer la relation empirique entre h et λ : $\lambda = 8h/3$.

Après avoir déterminé la zone d'ouverture de la sonde en mode statique, nous nous sommes intéressés aux mesures du potentiel de surface en dynamique en vue de la cartographie du profil du potentiel de surface des médias fibreux non-tissés. Un des paramètres le plus important pour ce type de mesure est la résolution spatiale k définie comme étant le rapport entre la fréquence d'acquisition F_e et la vitesse relative entre la sonde et l'échantillon V_b . La variation de V_b et F_e a permis de souligner l'importance de respecter une résolution spatiale maximum, qui est de 0,1 mm pour un espacement h de 3 mm.

La mesure de la charge électrique globale avec un coulombmètre à partir de la méthode capacitive et la détermination de l'intégrale du profil du potentiel de surface obtenue avec une sonde électrostatique nous ont permis de déterminer une relation empirique linéaire entre le potentiel de surface moyen et la charge électrique globale d'un échantillon chargé par décharge couronne.

Pour terminer, nous avons établi les conditions d'utilisation du banc expérimental pour les mesures d'efficacité de collecte. Lors des mesures d'efficacité de collecte, il est important de respecter les conditions suivantes :

- Effectuer les mesures d'efficacité lorsque la combustion du bâton d'encens génère des particules avec une concentration stable ;
- Vérifier que le débit d'air des particules générées est le même en amont et en aval du filtre.

Chapitre **IV**

ÉTUDE DE L'ÉTAT DE CHARGE DES MÉDIAS FILTRANTS NON-TISSÉS EN POLYPROPYLENE

L'objectif de ce chapitre est de caractériser l'état de charge électrostatique des médias filtrants non-tissés, en utilisant la technique de la mesure du potentiel de surface. L'étude comportera des mesures de déclin et de distribution du potentiel de surface, ainsi que des mesures de la quantité de charge électrique globale.

L'état de charge des médias filtrants dépend d'une série de paramètres électriques liés à la source d'alimentation (la polarité, le potentiel source V_s , le potentiel de grille V_g , la résistance R_g , le courant I_g ...), qui seront analysés dans le sous-chapitre IV.1, en liaison avec les conditions de génération de la charge électrique (mode de charge statique ou en balayage) et la durée de la décharge couronne T_c . Le sous-chapitre IV.2 aura comme objet l'étude des paramètres géométriques : la taille des échantillons, les distances D_g (fil – grille) et D_m (grille – média), en configuration triode « fil – grille – plan », et enfin la distance D_f (fil – plan), en configuration « fil – plan ». Les effets de quelques facteurs supplémentaires, notamment le diamètre du support métallique de l'électrode couronne, la densité des fibres des médias et l'empilement des couches, seront étudiés dans le sous-chapitre IV.3.

IV.1. Etude des paramètres électriques

Deux systèmes de génération de charges feront l'objet de cette étude : la configuration triode (fil – gille – plan) et l'arrangement classique (fil – plan), déjà décrits dans les chapitres précédents. L'évaluation des effets des différents paramètres électriques, regroupés sur la figure IV.1, sera effectuée après avoir précisé les modalités de la caractérisation de l'état de charge électrique des médias.

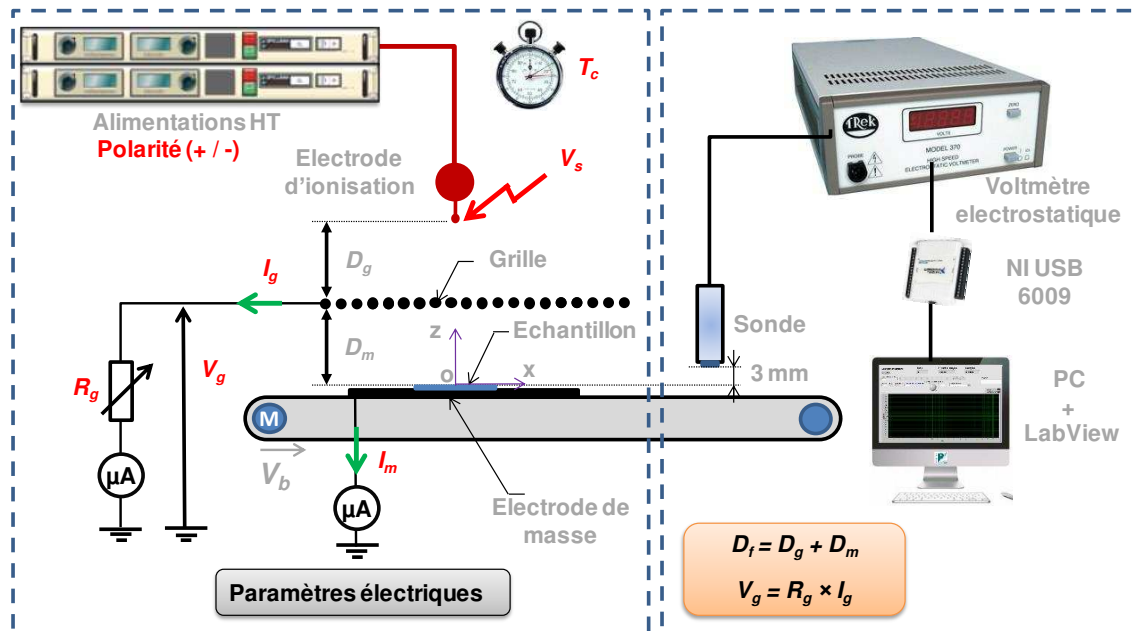


Figure IV.1 : Représentation schématique de l'installation expérimentale avec les paramètres électriques étudiés

Lors de l'étude paramétrique en absence d'indications spécifiques, les conditions standards seront les suivantes :

- Polarité positive ;
- $R_g = 20 \text{ M}\Omega$, $I_g = 50 \text{ }\mu\text{A}$, $V_g = 1 \text{ kV}$;
- $D_g = 10 \text{ mm}$, $D_m = 10 \text{ mm}$, $D_f = 20 \text{ mm}$;
- $T_c = 1 \text{ minute}$ et la durée entre la fin de la charge et le début de mesure est de 6 secondes.

Pour la caractérisation du média non-tissé, aux conditions standards décrites ci-dessus, s'ajouteront les valeurs de la température (T) et l'humidité relative (HR) relevées pour chaque expérience.

IV.1.1. Caractérisation du média

L'étude de l'état de charge du media par rapport aux variations des paramètres électriques, doit être précédée par la caractérisation de son comportement dans les conditions standards. Les essais sont réalisés sur un matériau fibreux non-tissé en polypropylène, présentant

des fibres ayant un diamètre moyen de 20 μm . Les échantillons sont coupés de manière circulaire avec un diamètre de 90 mm, leur masse moyenne est de 0,27 g avec une épaisseur de 0,4 mm.

IV.1.1.1. Protocole et configuration expérimentale

Au départ, lors de la décharge couronne par le système de charge triode, le centre de l'échantillon est placé dans le plan vertical de la ligne médiane du fil de l'électrode (figure IV.1). Après une minute de charge, l'échantillon est déplacé sous la sonde électrostatique pour la mesure du potentiel de surface. La distance séparant la position de charge et la position de la sonde est de 110 mm. A une vitesse du système de déplacement de 20 mm.s^{-1} , l'échantillon met 6 s pour arriver à la position de mesure. La fréquence d'échantillonnage F_e est adaptée en fonction du type de mesure à effectuer. Ainsi, une fréquence d'échantillonnage de 10 Hz est choisie pour les mesures de déclin du potentiel de surface. Pour les mesures de profil de distribution de la charge la fréquence d'échantillonnage est fixée à 200 Hz, pour avoir une résolution spatiale de 0,1 mm entre deux points acquis.

IV.1.1.2. Résultats des mesures et interprétations

Les résultats de la figure IV.2 montrent un exemple typique du déclin du potentiel de surface mesuré au centre de l'échantillon par le voltmètre électrostatique pour une durée d'une heure. La résistance R_g n'étant pas calibrée, le potentiel V_g fixé par le produit $R_g \times I_g$ n'a pas rigoureusement la valeur souhaitée de 1 kV, mais de 1036 V. Au bout d'une heure de mesure, ce potentiel baisse légèrement d'environ 3,5% (figure IV.2(a)). D'autres études, menées avec des échantillons similaires, mais provenant d'autres lots, donnent une baisse importante (30% du potentiel initial) au bout de 5 min seulement. Pour la suite, les essais seront réalisés uniquement avec ce lot qui conserve bien la charge et qui sera identifié comme « le lot 1 ».

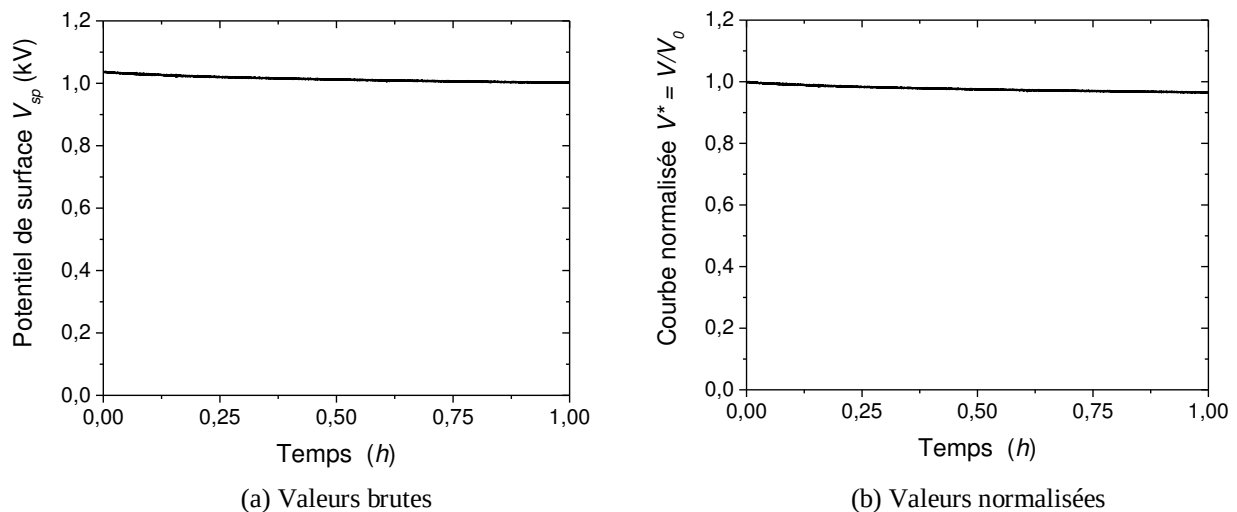


Figure IV.2 : Déclin du potentiel de surface pour une durée d'une heure. (a) Valeurs brutes et (b) valeurs normalisées. Condition expérimentales : $V_s = 9,9 \text{ kV}$, $V_g = 1 \text{ kV}$, lot 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $\text{HR} = 46\%$.

La courbe de la figure IV.3(a) montre l'évolution du déclin de potentiel de surface pour une durée longue de 70 h (environ trois jours). Par rapport à la décroissance du potentiel de surface sur la durée totale d'observation, la baisse la plus importante se produit pour $t < 4$ h, puis un déclin quasiment linéaire est enregistré entre $t = 8$ h et $t = 70$ h. Dans cet intervalle, la courbe du déclin de potentiel de surface peut être approximée par une droite. Ce résultat souligne une faible pente de décroissance du potentiel de surface ($y(t) = -0,0026t + 0,97$), alors que l'échantillon est posé sur un plan de masse, qui est censé faciliter l'évacuation des charges. Ceci met en avant l'aptitude importante de ce matériau à garder les charges électrostatiques. Plusieurs mécanismes physiques sont à l'origine du déclin du potentiel de surface [90] [91] [92] [64] [3] :

- La conduction ;
- Les phénomènes piézoélectriques ;
- L'injection de charges ;
- La neutralisation des charges par la présence d'ions de charge opposée dans l'air ;
- La polarisation à l'intérieur du média.

La conduction, qu'elle soit volumique ou surfacique est un phénomène prépondérant ici. Le déclin du potentiel de surface dépend donc essentiellement de la résistivité du matériau mais aussi de la résistance de contact entre la surface de l'échantillon et le plan de masse sur lequel celui-ci est posé.

La figure IV.3(b) montre deux profils du potentiel de surface enregistrés à l'instant initial et pour $t = 70$ h. L'écart entre ces deux courbes souligne une perte de charges non homogène sur la surface du média. Ainsi, la perte de charges est plus importante au centre, à l'endroit où le champ électrique est plus intense durant la phase de charge, comparé aux autres zones de l'échantillon. Le tableau IV.1 regroupe les valeurs obtenues après un calcul de l'intégrale linéaire du potentiel de surface des deux profils (aire sous la courbe). Les valeurs sont normalisées en les divisant par le diamètre de l'échantillon, qui est de 90 mm, pour obtenir le potentiel de surface moyen (V_{spm}).

La courbe du déclin du potentiel de surface au centre de l'échantillon donne un écart de 24,7% entre la valeur initiale et celle enregistrée à $t = 70$ h, ce qui diffère légèrement de l'écart obtenu à partir de l'intégration du profil (21,5%). Ce résultat s'explique par le fait que le potentiel au centre décroît rapidement par rapport aux autres zones de l'échantillon. En effet, le mode de charge utilisé (mode statique) concentre plus de charges au centre de l'échantillon, ce qui implique une distribution de charge non homogène malgré la présence de la grille.

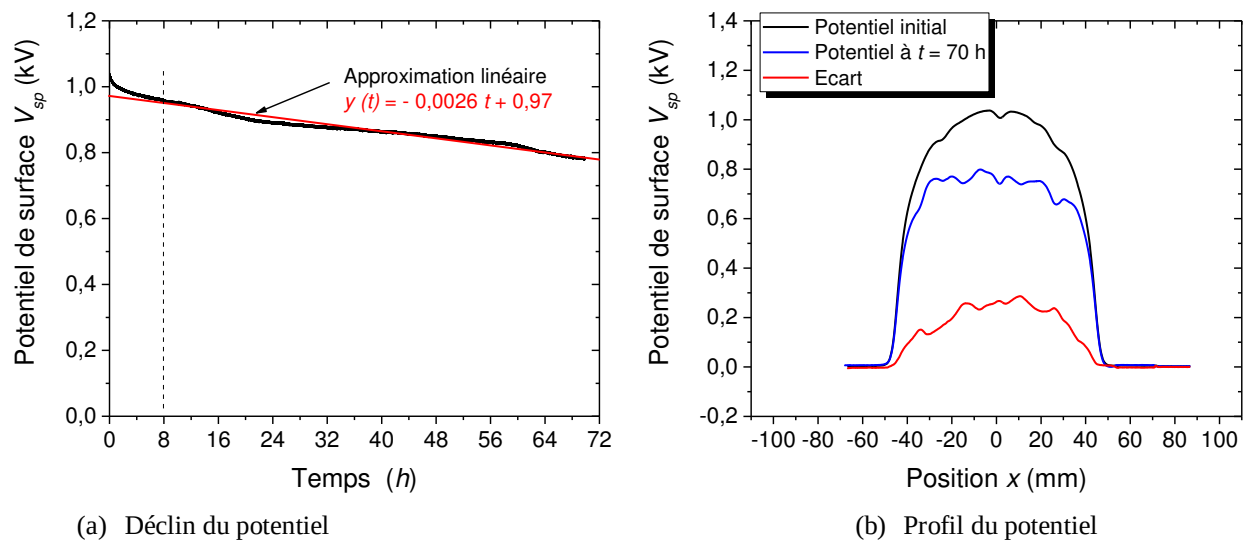


Figure IV.3 : (a) Déclin et (b) profil du potentiel de surface pour une durée de 70 h. Condition expérimentales : $V_s = 9,9$ kV, $V_g = 1$ kV, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.

Tableau IV.1: Comparaison du profil de potentiel initial et celui obtenu pour $t = 70$ h

Nature du profil	Intégral du profil (kV.mm)	Potentiel moyen (kV)	Pourcentage (%)
Profil initial	79,56	0,88	100
Profil ($t = 70$ h)	62,49	0,69	78,5
Ecart	17,07	0,19	21,5

L'objectif de l'étude paramétrique qui va suivre est l'optimisation du processus de charge électrostatique du média. Sachant qu'une charge initiale trop importante mène à un déclin rapide du potentiel de surface, la caractérisation de l'état de charge doit prendre en compte à la fois la distribution spatiale et la variation temporelle de celui-ci.

IV.1.2. Influence des paramètres électriques

Quatre paramètres électriques feront l'objet de l'étude :

- La polarité ;
- Le temps de charge T_c ;
- Le potentiel source V_s ;
- Le potentiel de grille V_g .

L'influence du temps de charge et de la polarité sera étudiée en présence et en absence de la grille, pour un potentiel source réglé de manière à avoir un potentiel de grille V_g de 1 kV et 4 kV, en valeurs absolues. Dans cette étude, le potentiel de grille est limité à $V_g = 4$ kV, pour éviter d'avoir un claquage entre les électrodes car les distances D_g et D_m sont très réduites (10 mm

seulement).

IV.1.2.1. Influence de la polarité

A. Comparaison pour $V_g = 1$ kV

La figure IV.4 montre le déclin du potentiel de surface pour les deux polarités (positive et négative) en présence et en absence de la grille pour un potentiel de grille V_g de 1 kV. Les courbes normalisées permettent de comparer les deux polarités en configuration triode et fil – plan. Les résultats obtenus ici sont reportés dans le tableau IV.2.

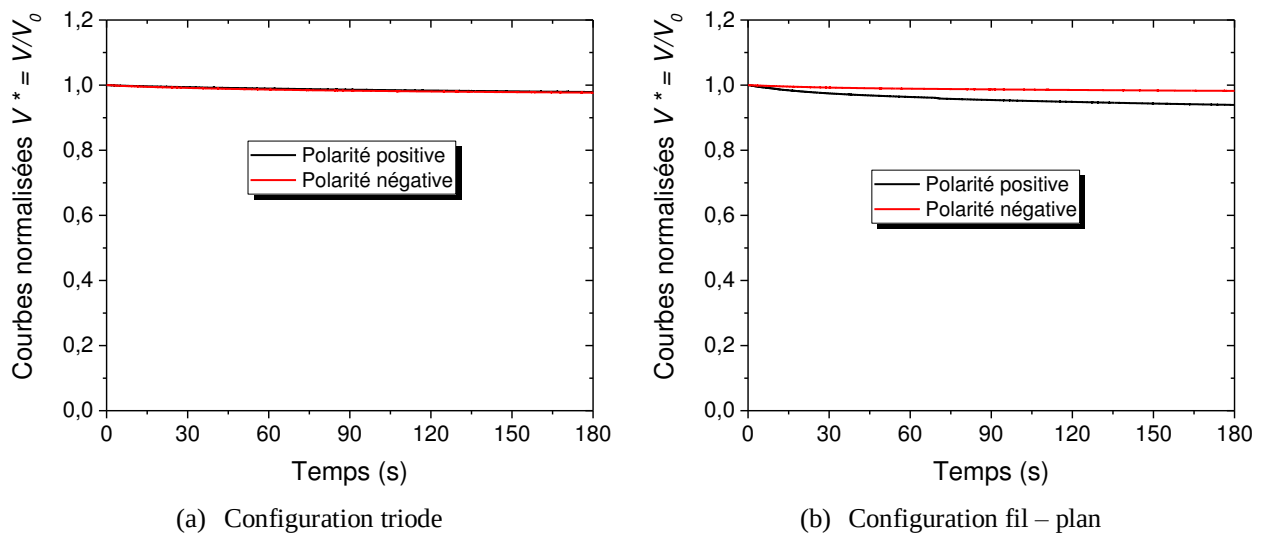


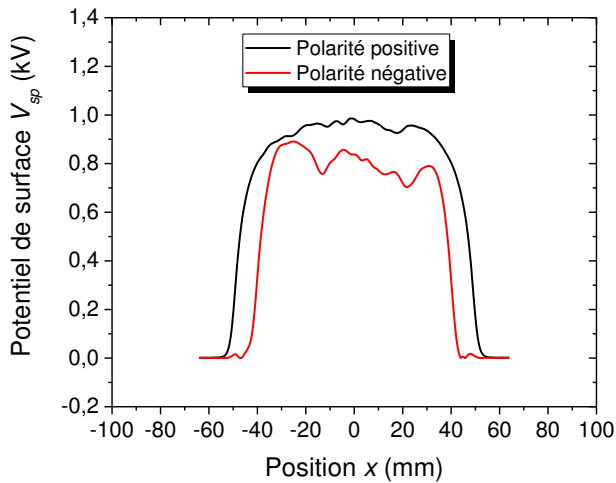
Figure IV.4 : Effet de la polarité sur le déclin du potentiel de surface. Conditions expérimentales : $V_g = 1$ kV, $V_s = +11,6$ kV pour la polarité positive, et $V_s = -10,1$ kV pour la polarité négative, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.

Une comparaison des profils de potentiel de surface est donnée sur la figure IV.5 pour les deux polarités en configuration triode (figure IV.5(a)) et configuration fil – plan (figure IV.5(b)). Les résultats obtenus ici sont groupés dans le tableau IV.2.

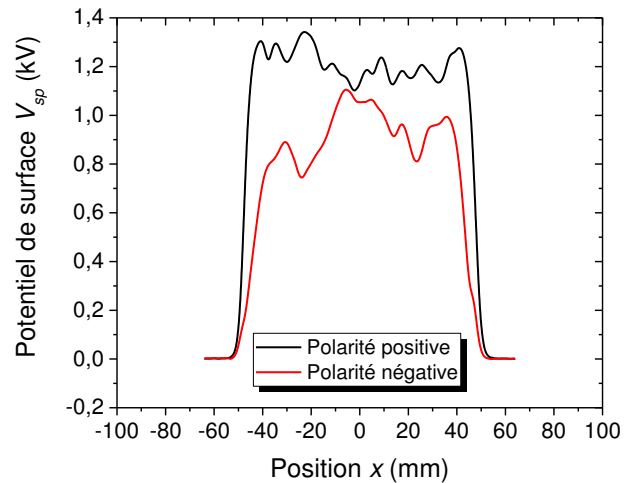
Les résultats soulignent les points suivants :

- Pour les deux polarités, la consommation énergétique de la source d'alimentation est plus importante en présence de la grille ;
- En présence de la grille, le courant I_m traversant l'échantillon est plus important en polarité négative ; la situation s'inverse en absence de la grille ;
- Pour les deux configurations d'électrodes (triode / fil – plan), la surface de la courbe du profil du potentiel de surface est plus importante en polarité positive ;

- La différence de potentiel de surface entre l'instant initial et pour $t = 3$ min semble être plus marquée lorsque le courant I_m augmente ;
- Les fluctuations du potentiel de surface sont moins importantes avec la polarité positive et en présence de la grille (configuration triode).



(a) Profil du potentiel de surface suivant la position x de la sonde en configuration triode



(b) Profil du potentiel de surface suivant la position x de la sonde en configuration fil – plan

Figure IV.5 : Effet de la polarité sur le profil du potentiel de surface. Conditions expérimentales : $V_g = 1$ kV, $V_s = +11,6$ kV pour la polarité positive, et $V_s = -10,1$ kV pour la polarité négative, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.

Tableau IV.2 : Comparaison de la polarité positive par rapport à la polarité négative pour $V_g = 1$ kV

Polarité et configuration	Triode		Fil – plan	
	Positive	Négative	Positive	Négative
Potentiel source V_s (kV)	11,6	10,1	11,6	10,1
Courant source I_s (μA)	50	52	12	5
Courant I_m (μA)	0,3	1	11	4,8
Potentiel moyen V_{spm} (kV)	0,97	0,70	1,27	0,91
Différence de potentiel après 3 min (%)	2,11	2,32	6,07	1,77

Les mêmes expériences sont réalisées aussi pour un potentiel de grille de 4 kV, pour voir si les tendances restent les mêmes.

B. Comparaison pour $V_g = 4 \text{ kV}$

Les courbes de la figure IV.6 illustrent l'influence de la polarité en présence et en absence de la grille, mais cette fois pour un potentiel de grille V_g de 4 kV (en valeur absolue). Le profil du potentiel de surface suivant la direction des x est relevé en présence de la grille (figure IV.6(a)) et en absence de la grille (figure IV.6(b)), les données sont présentées dans le tableau IV.3.

Les résultats du tableau IV.3 sont en accord avec ceux obtenus pour un potentiel de grille de 1 kV (tableau IV.2). En effet, l'aire du profil du potentiel de surface est plus importante en polarité positive par rapport à la polarité négative. En effet, la décharge couronne positive est plus homogène par rapport à la décharge couronne négative. La figure IV.6(b) montre des pics de potentiel avec des fluctuations sur la surface de l'échantillon, ceci s'explique par la polarité appliquée qui est négative.

La distribution des charges donne un potentiel de surface moyen inférieur en polarité négative comparé à celui obtenu en polarité positive. Ces résultats indiquent que la quantité moyenne de charges est plus faible en polarité négative par rapport à la polarité positive. Par contre, le déclin du potentiel de surface est plus important en polarité positive. Ceci est dû à une concentration de charge plus importante, d'ailleurs ce résultat se confirme lorsqu'on augmente le potentiel de grille V_g à 4 kV.

En configuration fil – plan, le média perd rapidement sa charge initiale. Ainsi, le déclin de potentiel enregistré après 3 min est de 15% en polarité positive, contre 11% en polarité négative.

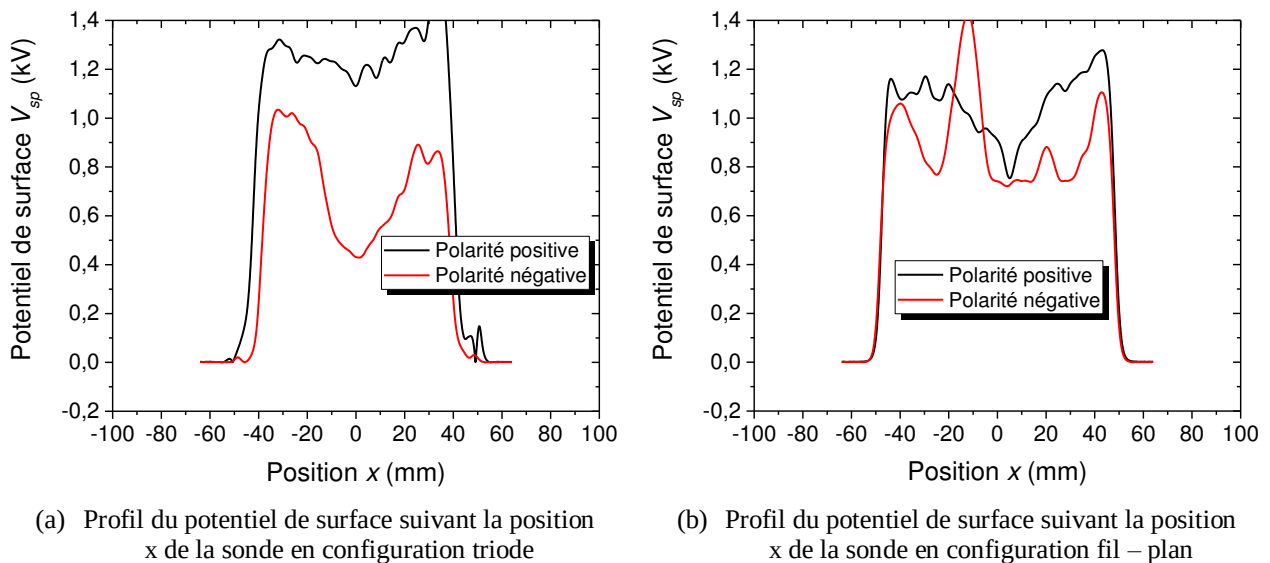


Figure IV.6 : Effet de la polarité sur le déclin et le profil du potentiel de surface. Conditions expérimentales :
 $V_g = 4 \text{ kV}$, $V_s = +18,1 \text{ kV}$ pour la polarité positive, et $V_s = -15,7 \text{ kV}$ pour la polarité négative, lot 1, $\phi = 90 \text{ mm}$,
 $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.

Tableau IV.3 : Comparaison de la polarité positive par rapport à la polarité négative pour $V_g = 4$ kV

Polarité et configuration	Triode		Fil – plan	
	Positive	Négative	Positive	Négative
Potentiel source V_s (kV)	18,1	15,7	18,1	15,7
Courant source I_s (μ A)	232	236	257	158
Courant I_m (μ A)	30	35	256	157
Potentiel moyen V_{spm} (kV)	1,2	0,65	1,14	0,98
Différence de potentiel après 3 min (%)	5,04	8,14	15	11,24

C. Discussion

Quatre cas ont été étudiés:

- Cas 1, polarité positive avec grille ;
- Cas 2, polarité négative avec grille ;
- Cas 3, polarité positive sans grille ;
- Cas 4, polarité négative sans grille.

Pour chacun des cas, la puissance consommée en entrée, nommée P_e , est calculée comme le produit de la tension et du courant de la source, respectivement V_s et I_s . Le courant qui traverse le média vers la masse est nommé I_m . La figure IV.7 montre l'évolution de la puissance P_e , du potentiel moyen V_{spm} et de la différence du potentiel de surface V_{sp} après trois minutes. Les résultats obtenus ici confirment l'une des hypothèses avancées précédemment : le courant I_m suit l'évolution de la différence de potentiel entre l'instant initial et l'instant $t = 3$ min. On peut conclure que l'intensité du courant I_m influe sur le déclin du potentiel de surface.

En absence de la grille, toute l'énergie créée par la source est transférée directement vers l'échantillon, il n'y a plus de contrôle de dépôt de charges, c'est pour cela que le potentiel de surface moyen V_{spm} et le courant I_m augmentent. L'augmentation de la quantité de charge intensifie le déclin du potentiel de surface pour les deux polarités. En polarité négative, l'amplitude du potentiel de la source est inférieure à celle de la positive, ce qui a pour conséquence de baisser l'intensité du champ électrique entre l'électrode haute tension et le plan de masse. L'effet est plus remarquable lorsque le potentiel de la source est faible notamment pour $V_g = 1$ kV. En termes de configurations, la polarité positive sans grille offre un dépôt de charges intense mais non contrôlé, ce qui n'est pas intéressant dans le cas d'une étude où la quantité de charge doit être reproductible.

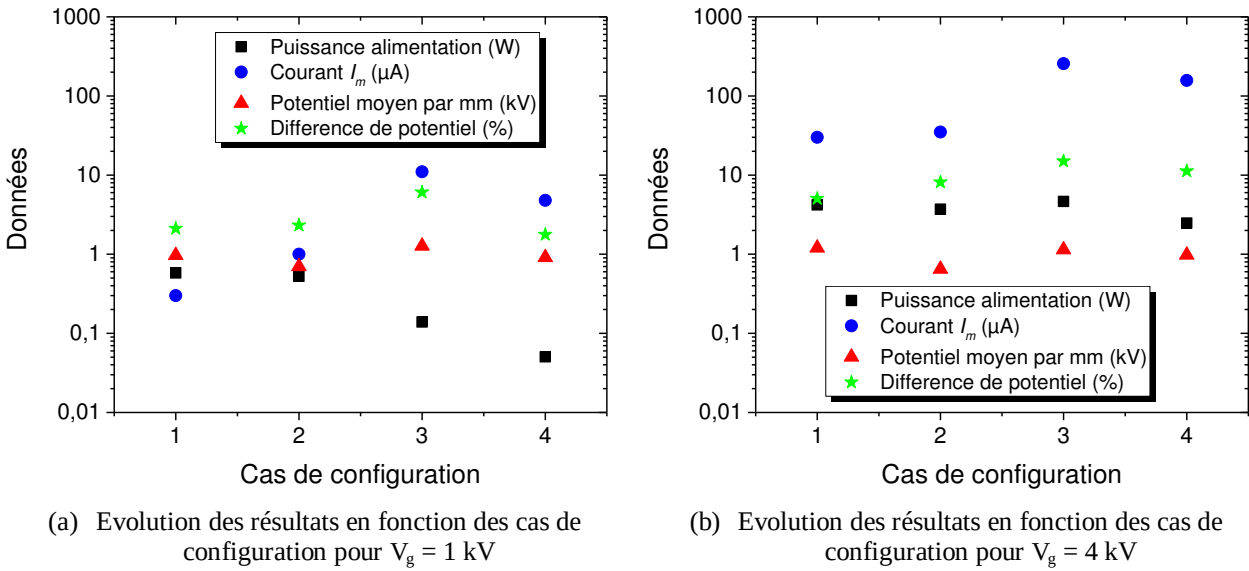


Figure IV.7 : Comparaison des deux polarités suivant le cas de configuration de la décharge couronne.
Conditions expérimentales : $V_g = 1$ kV et 4 kV, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 51%.

IV.1.2.2. Influence du temps de charge T_c

Pour étudier l'influence de la durée d'exposition de l'échantillon à l'action de la décharge couronne (T_c), deux séries d'expériences ont été effectuées sur deux bancs expérimentaux n'ayant pas les mêmes dispositifs électriques et configurations d'électrodes, mais en utilisant les paramètres standards ($V_g = 1$ kV, $D_g = D_m = 10$ mm, configuration triode). L'étude portera sur le profil de distribution du potentiel de surface, mesure à partir de laquelle il sera possible de déduire le potentiel de surface moyen. L'évolution du profil du potentiel de surface sera relevée entre l'instant initial $t = 1$ s (fin de la décharge couronne) et $t = 180$ s.

A. Banc expérimental « caractérisation de l'état de charge »

Les caractéristiques techniques du banc expérimental sont décrites en détail dans le chapitre II, section 3, et présentées d'une façon synthétique sur la figure IV.8. L'amplificateur haute tension de marque TREK, model 30/20A est connecté à une électrode duale (cylindre de diamètre 13 mm et fil ionisant de 0,2 mm). Le fil et le cylindre sont distancés de 20 mm.

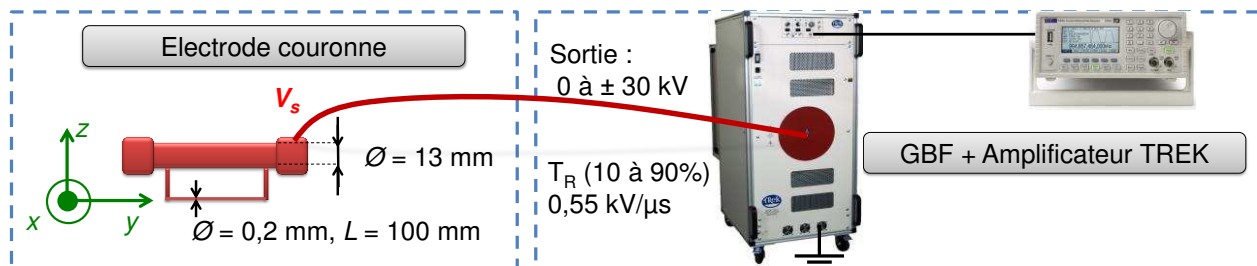
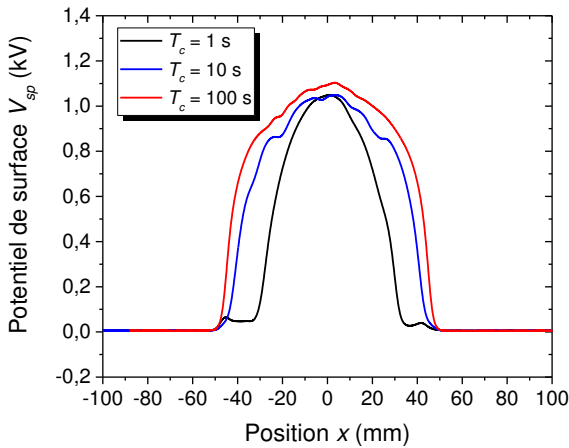
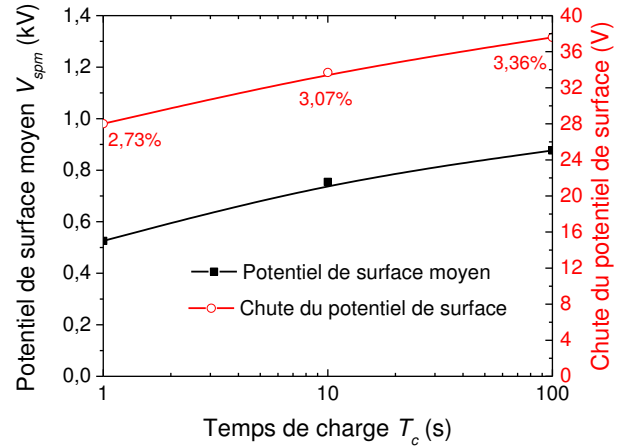


Figure IV.8 : Influence du temps de charge T_c , banc expérimentale « caractérisation de l'état de charge ».

Les résultats de la figure IV.9 montrent que le temps de charge T_c influe sur la largeur de la zone de dépôt de charges. Cependant l'effet de T_c sur le déclin du potentiel de surface n'est pas significatif. L'élément important ici est le temps de réponse de l'amplificateur haute tension, qui est de l'ordre de microseconde, c'est pour cela le niveau de charge imposé par la grille est atteint, même pour $T_c = 1$ s. La raison pour laquelle le dépôt de charge s'élargie lorsque le temps de charge augmente est liée à la géométrie de l'électrode duale. Le cylindre a pour mission d'orienter les ions de la décharge vers une zone bien définie à la surface du média. Sous l'action du champ électrique créé par la charge électrique qui s'accumule progressivement dans cette zone, les ions seront poussés vers les bords du média, où la densité de charge est faible (figure IV.9(a)). Les résultats représentés sur la figure IV.9(b) montrent que l'augmentation du temps de charge favorise l'élargissement de la zone de dépôt de charge sur la surface de l'échantillon, par conséquent une augmentation du potentiel de surface moyen. Cependant, cette accumulation de charges favorise aussi une chute rapide du potentiel de surface. En effet, le champ électrique intense créé par une quantité de charge importante, entraîne un déclin plus rapide du potentiel de surface.



(a) Profil du potentiel de surface



(b) Potentiel de surface moyen

Figure IV.9 : Influence du temps de charge T_c sur (a) le profil du potentiel de surface et (b) le potentiel de surface moyen. . Conditions expérimentales : Banc de caractérisation de la charge, Avec grille, $V_g = 1$ kV, $V_s = +11$ kV, Lot 1, $\phi = 95$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 22^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$.

B. Banc expérimental « étude d'efficacité de collecte »

Le banc expérimental de l'étude d'efficacité de collecte est décrit au chapitre II section 4. Le temps de charge T_c déterminé sur celui-ci sera comparé aux résultats obtenus sur le premier banc. La source d'alimentation utilisée ici est une SPELLMAN, model SL40 kV. Une nouvelle électrode a été conçue pour l'utilisation de ce nouveau banc expérimental (figure IV.10).

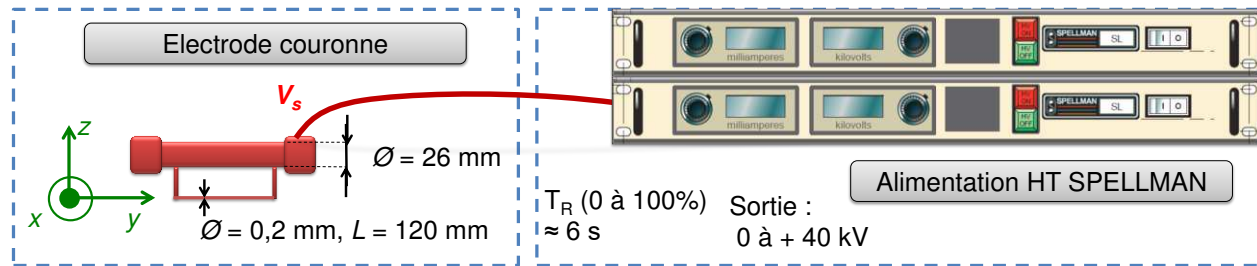
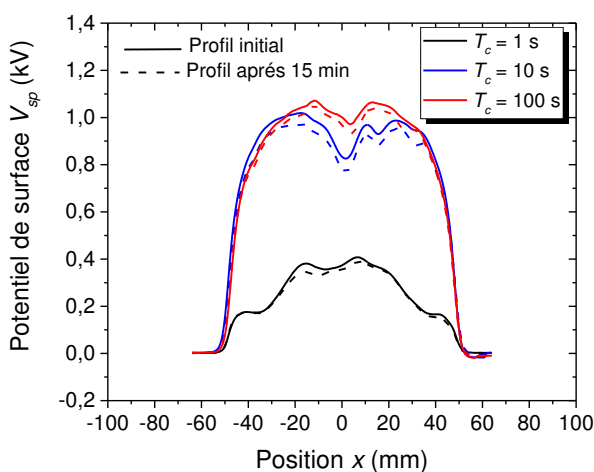


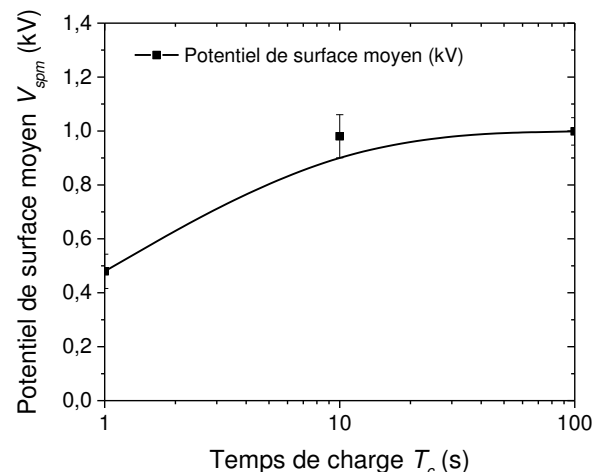
Figure IV.10 : Influence du temps de charge T_c , nouveau banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte

Les profils du potentiel de surface obtenus sur ce banc expérimental à l'instant initial (après la décharge couronne), puis après 15 minutes sont donnés sur la figure IV.11(a). La distribution de charges sur la figure IV.11(a) est plus large comparée aux résultats de la figure IV. 9(a) pour les mêmes temps de charge, ceci s'explique en partie par la géométrie du cylindre de l'électrode duale qui a un diamètre deux fois plus important. L'augmentation du diamètre du cylindre permet d'orienter le dépôt de charges sur une zone plus large. La figure IV.11(b) montre une croissance du potentiel de surface moyen lorsque le temps de charge T_c augmente, mais cette croissance semble atteindre son maximum au bout de dix secondes. Sur les trois temps de charge (1 s, 10 s et 100 s), seul $T_c = 1$ s présente une distribution de charges critique, le potentiel de surface n'atteint pas le potentiel imposé par la grille. La comparaison des résultats obtenus sur les deux bancs met en évidence deux faits importants :

- D'abord, le temps de réponse des sources d'alimentation utilisées est différent, ceci joue un rôle sur la distribution des charges ;
- La géométrie de l'électrode duale a un effet prépondérant sur la distribution des charges.



(a) Profil du potentiel de surface T_c



(b) Potentiel de surface moyen

Figure IV.11 : Influence du temps de charge T_c sur (a) le profil du potentiel de surface et (b) le potentiel de surface moyen. Conditions expérimentales : Banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, avec grille, $V_g = 1$ kV, $V_s = +10,1$ kV, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 38\%$.

L'alimentation Trek, utilisée pour le premier banc expérimental, ne présente pas de problèmes particuliers par rapport au temps de charge, étant donné que son temps de réponse est très rapide : environ 60 μs pour passer de 0 à 30 kV. Le temps de réponse de l'alimentation Spellman, utilisée pour le banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, est plus long. Les courbes montrées sur la figure IV.12 permettent de conclure qu'une durée d'une seconde est insuffisante pour charger le media au potentiel souhaité. En effet, le régime transitoire dure plus d'une seconde (figure IV.12(b)).

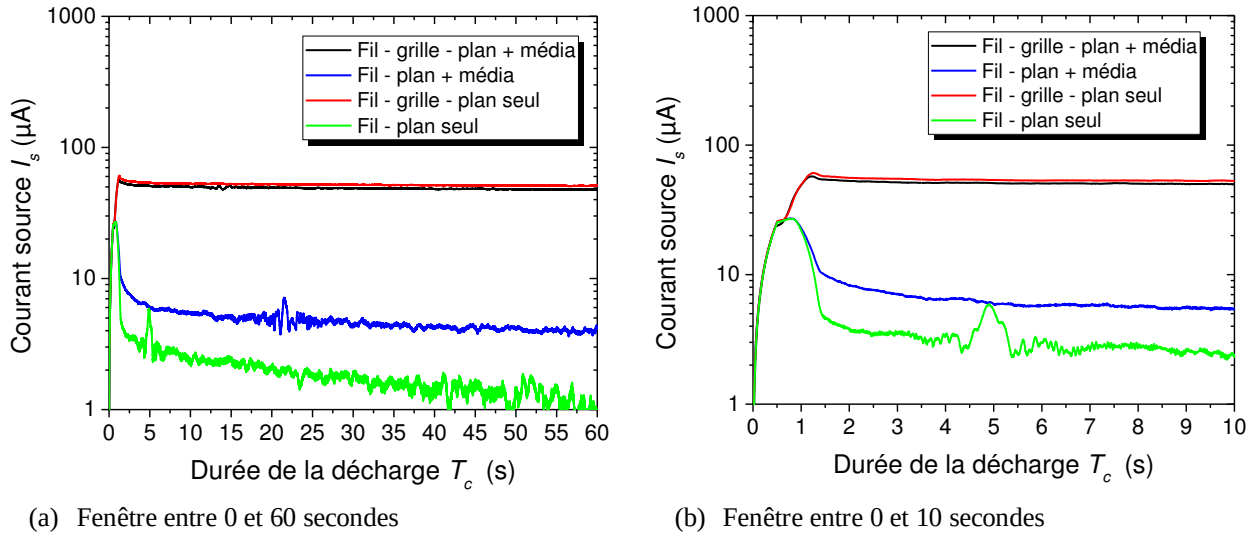


Figure IV.12 : Evolution du courant source I_s de l'alimentation Spellman SL40KV en fonction de la durée de la décharge T_c . Conditions expérimentales : Configurations triode et fil – plan, $V_g = 1$ kV, $V_s = +10,1$ kV, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, HR = 46%.

C. Conclusion de l'étude de T_c

L'analyse des résultats obtenus sur les deux bancs expérimentaux conduit à la conclusion que la durée de la décharge T_c seule a très peu d'influence sur la distribution de charges en configuration triode. Cependant il s'avère important de fixer une durée de décharge suffisamment longue pour couvrir le temps de réponse de l'alimentation. Dix secondes suffisent largement. Allonger cette durée peut avoir des effets indésirables. En absence de la grille (configuration fil – plan), lorsque le potentiel source devient important ($V_s > 15$ kV), pour une distance D_f (fil – plan de masse) de 20 mm, une durée de décharge longue laisse apparaître un creux au centre du profil du potentiel de surface (figure IV.13(a)), et le déclin de potentiel de surface s'accroît en fonction de la durée de la décharge T_c (figure IV.13(b)).

En absence de la grille, qui limite le potentiel de surface dans le cas des systèmes d'électrodes de type triode, les charges électriques s'accumulent dans la zone centrale du média, où l'action de l'électrode ionisante est plus forte. Cette accumulation produit des intensifications locales du champ électrique, qui s'accompagnent de décharges partielles, qui peuvent expliquer

le creux observé sur la courbe du profil de potentiel à $T_c = 100$ s (figure IV.13(a)). D'autre part, l'énergie transférée par la décharge augmente avec le temps de charge, ce qui expliquerait le déclin de potentiel de surface de plus en plus fort.

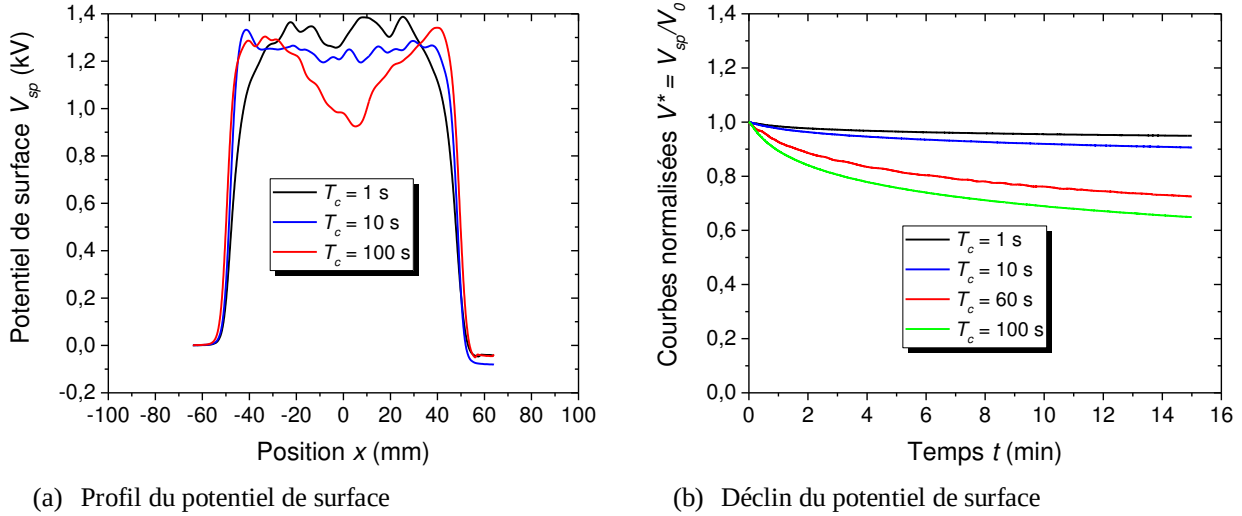


Figure IV.13 : Influence du temps de charge T_c sur (a) le profil du potentiel de surface et (b) le déclin de potentiel de surface en configuration fil - plan. Conditions expérimentales : Résultats obtenus à partir du banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, $V_s = +15,8$ kV, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 38\%$.

IV.1.2.3. Influence du potentiel source V_s

Le potentiel source V_s doit être suffisamment élevé pour ioniser l'air et fournir ainsi les porteurs de charge qui vont se déposer sur les échantillons de médias non-tissés. Deux configurations géométriques seront utilisées dans cette étude : fil – plan (absence de la grille) et triode (présence de la grille). Dans la configuration triode, une partie de l'énergie de la source d'alimentation est utilisée pour polariser la grille, en imposant un potentiel V_g qui est le produit du courant traversant la grille I_g et de la résistance R_g qui est connectée entre la grille et la masse. L'effet du potentiel V_s n'est pas le même dans les deux configurations.

En configuration fil – plan (figure IV.14(a)), toute la charge créée par la source est transférée vers l'échantillon, les courants I_s et I_m sont confondus. En configuration triode (figure IV.14 (b)), une partie importante du courant passe par la grille, car les ions vont naturellement suivre le chemin où la résistance électrique à vaincre est plus faible. La somme des courants de grille I_g et du média I_m tend vers la valeur du courant source I_s .

En théorie, le courant source I_s est la somme du courant de grille I_g et du courant I_m traversant l'échantillon pour rejoindre la masse. Mais en pratique, une faible différence est constatée et peut s'expliquer par la précision des instruments et la présence d'un courant de fuite.

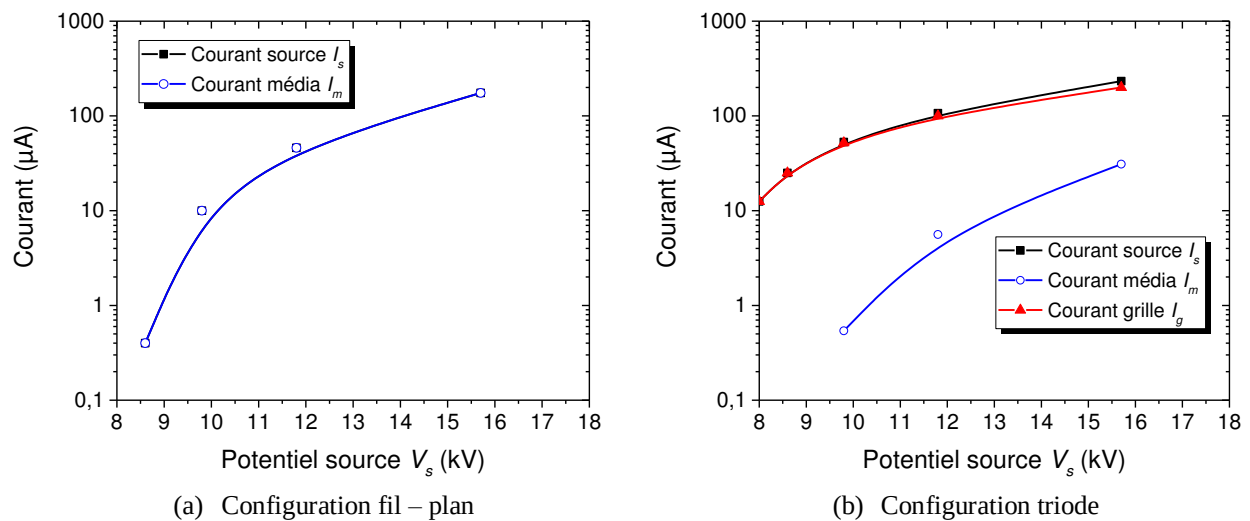


Figure IV.14 : Evolution du courant source I_s et courant du média I_m en fonction de la tension source V_s pour (a) la configuration triode et (b) la configuration fil – plan. Conditions expérimentales : Banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ C$, $HR = 46\%$.

Tableau IV.4 : Variation des courants I_s , I_m et I_g en fonction de V_s .

V_s (kV)	I_g (μA)	I_m (μA)	$I_g + I_m$ (μA)	I_s (μA)	$I_s - (I_g + I_m)$ (μA)
8	12,5	<0,1	-	12,5	-
8,6	25	<0,1	-	25	-
9,8	52	0,54	52,54	53	0,46
11,8	100	5,6	105,6	107	1,4
15,7	200	31	231	233	2

La figure IV.15 montre la variation des profils du potentiel de surface en fonction de la tension source V_s en configuration triode (présence de la grille) et en configuration fil – plan (absence de la grille). Les résultats obtenus mettent en évidence une saturation du potentiel de surface. Le tableau IV.5 regroupe les données de la figure IV.15 pour une comparaison des résultats. L'augmentation du potentiel source permet d'améliorer l'état de charge du média, cependant à partir d'un certain seuil le système triode n'est plus en mesure de contrôler le dépôt de charges, le media se trouve chargé à un niveau de saturation.

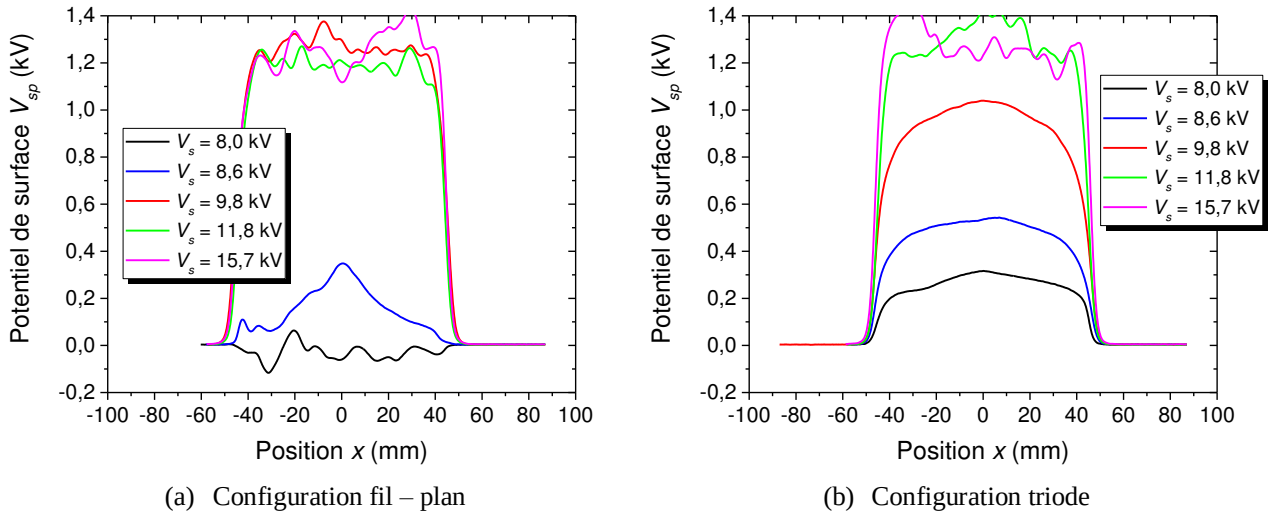


Figure IV.15 : Potentiel de surface en fonction de la tension source V_s . Conditions expérimentales : Configuration triode et fil – plan, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.

Tableau IV.5 : Potentiel de grille et potentiel moyen de surface en fonction du potentiel source V_s

Potentiel source V_s (kV)	Potentiel de grille V_g (kV)	Potentiel moyen (kV) suivant la configuration	
		Triode	Fil - plan
8,0	0,25	0,27	0,03
8,6	0,5	0,49	0,16
9,8	1	0,95	1,25
11,8	2	1,28	1,17
15,7	4	1,31	1,25

La figure IV.16 illustre les mesures de potentiel de surface 6 secondes et 5 minutes après le dépôt de charges. Ces résultats permettent d'analyser le potentiel moyen en fonction du potentiel de grille. Nous pouvons en déduire que la charge électrique moyenne du média tend vers une valeur limite malgré l'augmentation du potentiel grille. En effet du point de vue physique, le media ne peut pas emmagasiner plus de charges que peuvent stocker les fibres du média. Le processus de déclin croît avec le niveau de charge, nous savons que l'augmentation du niveau de charge favorise l'accroissement du champ électrique moyen qui par conséquent fait augmenter la mobilité des charges électriques vers la masse. La figure IV.16(a) met en évidence une baisse importante de la charge au centre du média, dans cette zone le champ électrique est intense comparée aux autres zones du média.

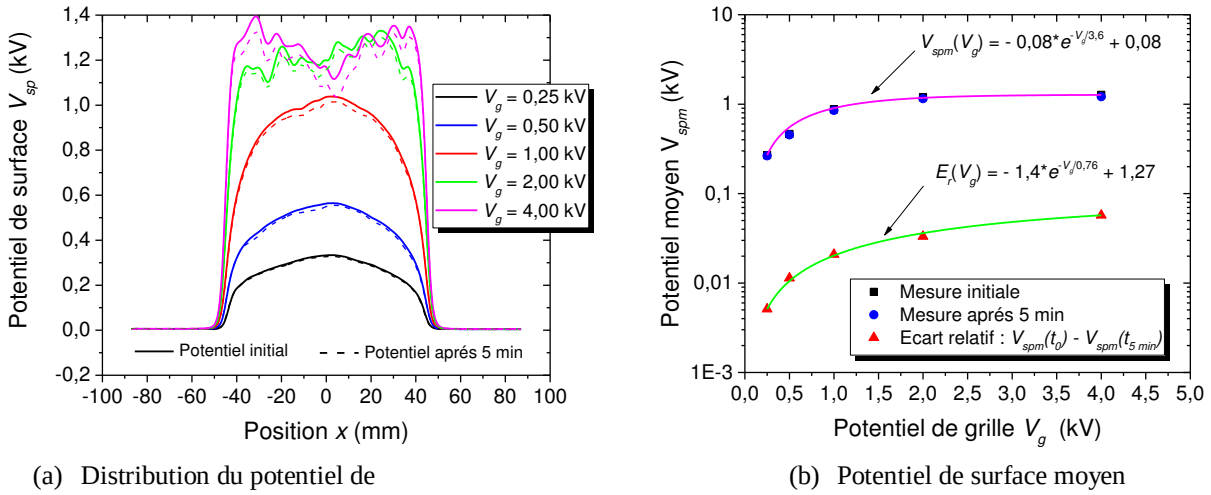


Figure IV.16 : (a) Distribution du potentiel de surface et (b) potentiel moyen en fonction du potentiel de grille V_g . Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.

La charge électrique globale du média dépend également du potentiel de grille V_g , comme on peut le voir sur la figure IV.17(a). La charge et le potentiel moyen croît puis se stabilisent lorsque le potentiel de grille augmente. Pour un échantillon de dimension définie (le cas avec la figure IV.17(a)), la charge est limitée par la rigidité diélectrique de l'air. L'augmentation de la taille de l'échantillon permet d'accumuler de charges supplémentaires comme le montre la figure IV.17(b). La charge totale croît linéairement avec la taille des échantillons, à condition que leurs surfaces soient intégralement couvertes par la décharge couronne.

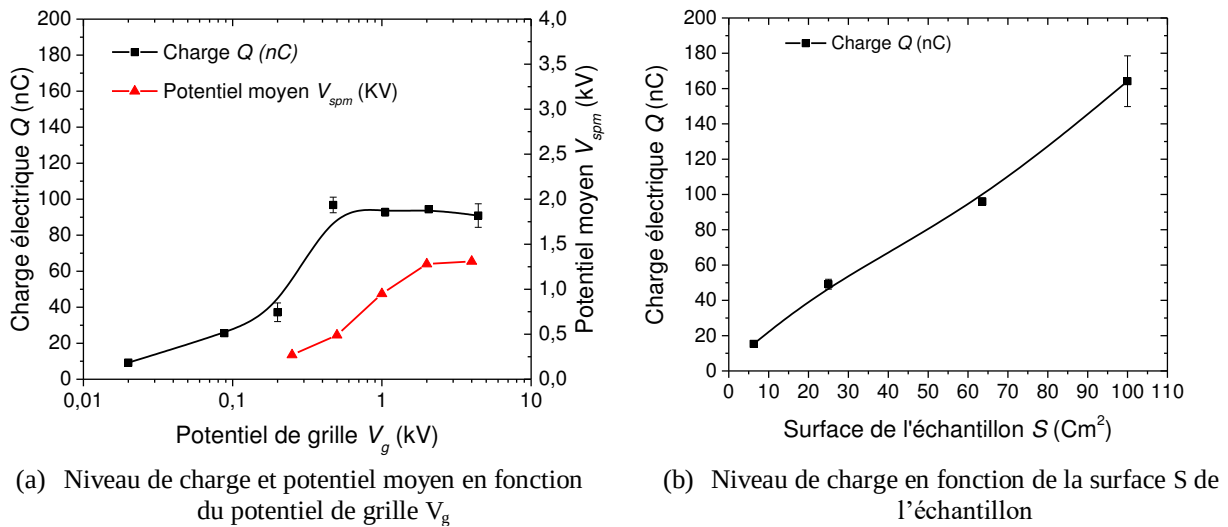


Figure IV.17 : Niveau de charge en fonction du potentiel de grille et de la surface des échantillons. Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $\phi = 90$ mm et section $S = 63,6$ cm² (a), $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 24^\circ\text{C}$, $HR = 37\%$.

IV.1.2.4. Influence de la résistance de grille R_g

Le potentiel de grille V_g a été défini comme étant le produit de la valeur de R_g par le courant de grille I_g . Ce dernier ne représente qu'une partie du courant de la source I_s . La variation de la résistance de grille R_g change les valeurs du courant I_s , du potentiel de grille V_g et du courant I_m , ce qui affecte les conditions de dépôt de charge. Dans une première série d'expériences, la valeur de R_g sera variée, tout en maintenant le potentiel source V_s fixe à 9,8 kV. Par la suite la variation de la résistance R_g sera effectuée en maintenant à des valeurs fixes soit le potentiel de grille $V_g = 1$ kV, soit le courant de grille $I_g = 50 \mu A$.

A. Influence de R_g pour V_s et V_g fixes

Lorsque la tension source est constante, l'augmentation de la valeur de la résistance de grille a pour conséquence une augmentation du potentiel de grille V_g et du courant I_m (figure IV.18(a)).

En augmentant la résistance de la grille, le courant I_g va diminuer légèrement au profit du courant I_m . Le produit ($I_m \times R_g$) va augmenter.

La figure IV.18(b) montre les résultats obtenus pour la variation de R_g à un potentiel de grille $V_g = 1$ kV. Pour maintenir V_g constant lorsque la résistance R_g augmente, il faut diminuer le courant I_g de manière à ce que le produit ($I_g \times R_g$) soit constant, en modifiant le potentiel source V_s . La solution est de diminuer V_s pour que le courant source I_s puisse baisser. La diminution du potentiel source entraîne automatiquement une baisse du courant source I_s , qui est la somme de I_g et de I_m .

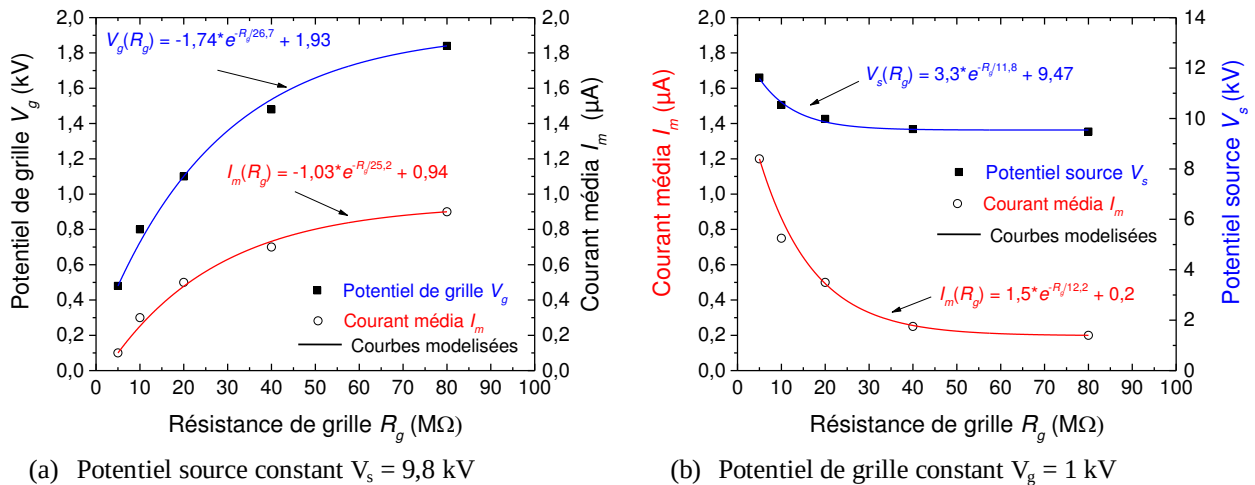


Figure IV.18 : Influence de la résistance de grille R_g sur le potentiel de grille V_g , le potentiel source V_s et le courant du média I_m . Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 22^\circ C$, $HR = 47\%$, $V_s = 9,8$ kV (a), et $V_g = 1$ kV (b).

B. Influence de R_g pour I_g fixe

Dans cette série d'expériences, le courant de grille I_g est maintenu constant à $50 \mu\text{A}$, la résistance de grille est variée de 5 à $80 \text{ M}\Omega$. Le but est d'étudier l'influence de la résistance de grille R_g sur le courant du média I_m . Les résultats de la figure IV.19 montrent que le courant I_m augmente de manière quasi-exponentielle lorsque la résistance R_g augmente. Pour maintenir le courant de la grille à $50 \mu\text{A}$, le potentiel source V_s est ajusté de manière linéaire par rapport à la résistance de la grille R_g .

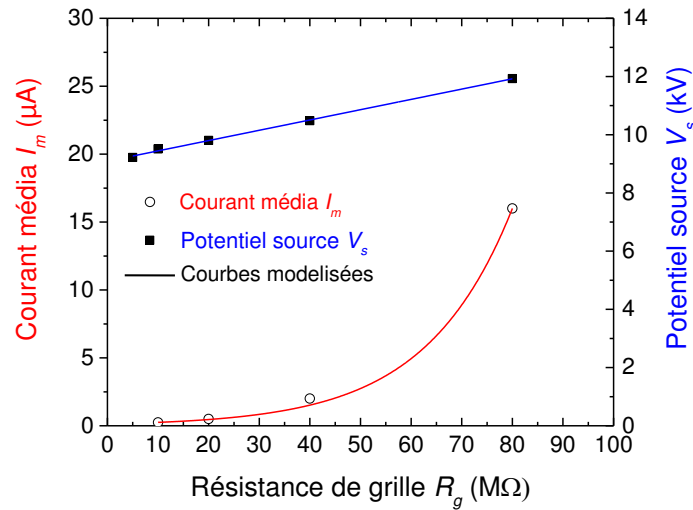


Figure IV.19 : Influence de la résistance de grille R_g sur le potentiel source V_s et le courant du média I_m .
Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $\phi = 90^\circ$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 22^\circ\text{C}$, $\text{HR} = 47\%$, $I_g = 50 \mu\text{A}$.

L'ensemble de ces études permettent de conclure que l'augmentation de la résistance R_g et de la tension source V_s ne peuvent qu'accroître l'énergie transférée par la décharge vers le média, en augmentant le champ électrique imposé par le potentiel de la grille, et le courant reçu par l'échantillon.

IV.2. Etude des paramètres géométriques

L'étude concerne plusieurs paramètres liés au système de génération de charge, notamment les distances fil – grille (D_g) et grille – plan de masse (D_m), le mode de charge des échantillons (mode statique et mode balayage), ainsi que la géométrie de l'électrode couronne (figure IV.20).

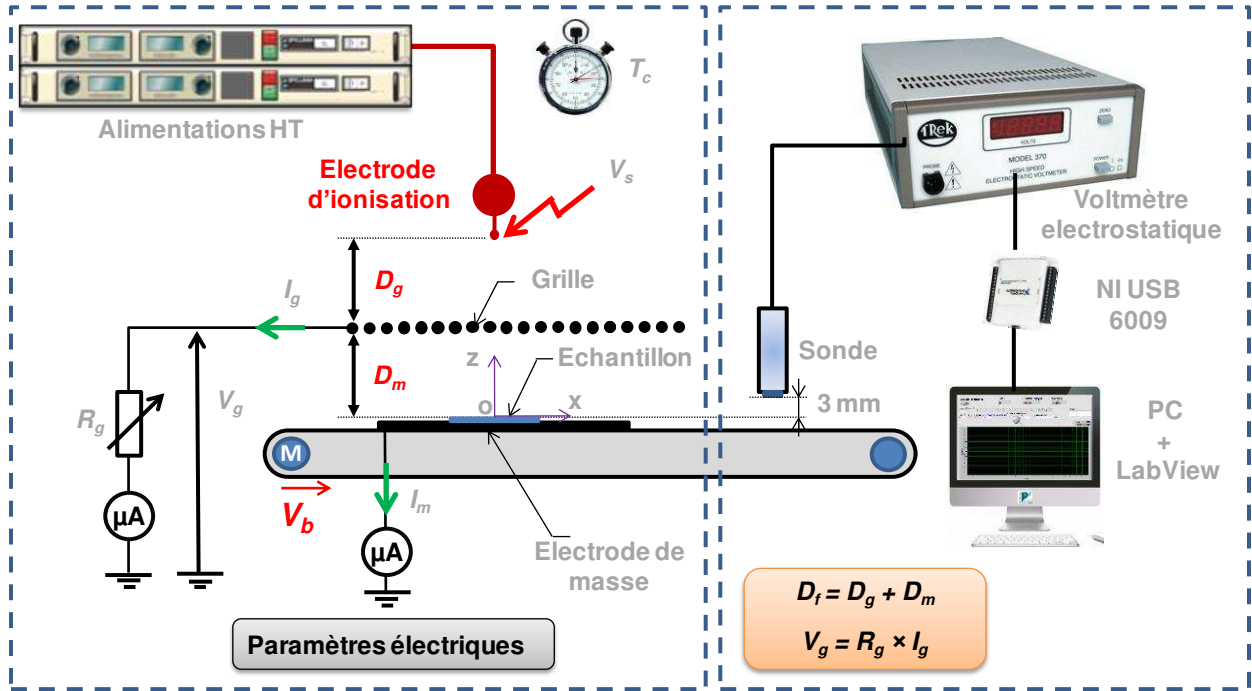


Figure IV.20 : Représentation schématique de l'installation expérimentale avec les paramètres géométriques.

Les échantillons utilisés pour cette étude sont plus larges (150 mm × 100 mm) pour permettre d'identifier sans ambiguïté l'influence des paramètres géométriques. Le potentiel de surface moyen (V_{spm}) sera déterminé à partir du profil du potentiel de surface, en divisant la valeur de l'intégral du profil du potentiel de surface par la longueur L de l'échantillon (150 mm). L'information sur le courant traversant l'échantillon (I_m) et le potentiel de surface moyen (V_{spm}) donneront la puissance moyenne (P_{spm}). Les formules de calculs utilisées sont les suivantes :

$$V_{spm} = \frac{1}{L} \times \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} V_{sp}(x) \times dx \quad (IV.1)$$

avec,

V_{spm} : potentiel moyen (kV) ;

L : longueur de l'échantillon (mm) ;

x : position de la sonde sur l'échantillon (mm).

$$P_{spm} = V_{spm} \times I_m \quad (IV.2)$$

avec,

P_{spm} : puissance moyenne (mW) ;

V_{spm} : potentiel moyen (kV) ;

I_m : courant du média (μA).

IV.2.1. Influence des paramètres liés au système de génération de charge

IV.2.1.1. Influence de la distance fil – grille D_g

L'étude de l'influence de la distance fil – grille D_g (sur le potentiel de surface sera réalisée en imposant un potentiel source (V_s) fixe de 15 kV et un potentiel de grille (V_g) fixe de 1 kV. La distance grille – média (D_m) quant à elle sera fixée à 10 mm. Une comparaison sera effectuée entre les résultats pour les deux cas, potentiel source fixe et potentiel de grille fixe, en configuration triode (présence de la grille).

A. Influence de D_g sur le potentiel de surface et les courants I_s , I_g et I_m

À potentiel source V_s fixe, la figure IV.21(a) montre une baisse du niveau de charge lorsque D_g augmente. En augmentant D_g , le champ électrique diminue, la décharge couronne affaiblie, l'intensité du courant de grille I_g diminue aussi, entraînant une diminution de la tension de grille V_g , ce qui explique un niveau de potentiel de surface moins élevé lorsque D_g devient important.

Pour maintenir le même potentiel de grille V_g sur les trois distances (10, 20 et 40 mm), il faut augmenter le potentiel source V_s lorsque D_g augmente (figure IV.21(b)). Lorsque D_g augmente, la zone de couverture du dépôt de charges s'élargit, conséquence aussi de l'augmentation du potentiel source.

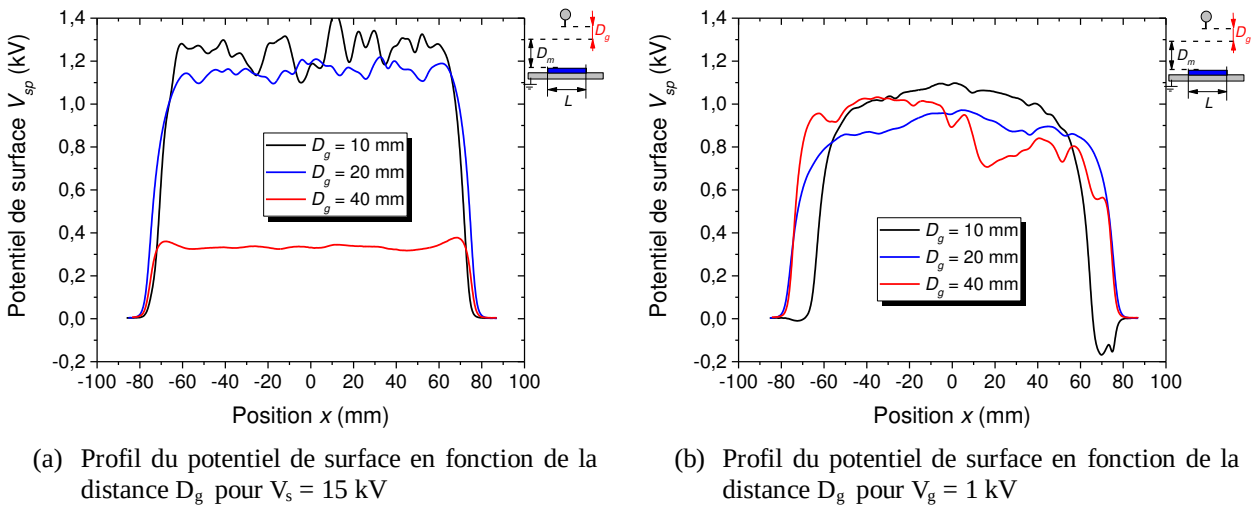


Figure IV.21 : Influence de la distance fil – grille D_g sur le profil du potentiel de surface pour (a) $V_s = 15$ kV et (b) $V_g = 1$ kV. Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ C$, $HR = 46\%$.

La figure IV.22 donne les informations sur les courants I_s , I_g et I_m pour les deux types de configurations (triode et fil – plan). Les résultats obtenus sont en accord avec les explications données précédemment. Comme cela est illustré sur la figure IV.22(a), lorsque le potentiel source V_s est fixe et que la distance D_g augmente, le courant source I_s diminue peu importe la configuration du système de charge (fil – plan ou triode). Par contre, lorsqu'on maintient le potentiel de grille constant pour chaque distance D_g , le courant I_m augmente ceci pour les deux types de configuration de charge. L'absence de la grille offre toujours un courant I_m plus intense par rapport à la configuration triode.

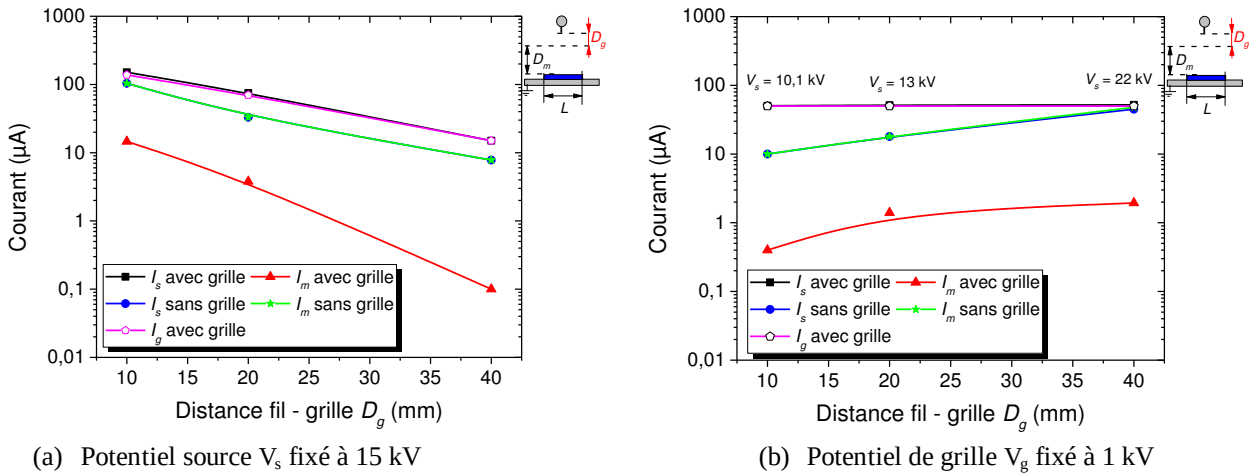


Figure IV.22 : Influence de la distance fil – grille D_g sur les courants I_m , I_g et I_s pour (a) $V_s = 15$ kV et (b) $V_g = 1$ kV. Conditions expérimentales : Configuration triode et fil – plan, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.

B. Influence de D_g sur la puissance moyenne reçu par l'échantillon P_{spm}

À partir des résultats précédents (courant I_m et potentiel de surface V_{sp}), il est possible de déterminer la puissance moyenne (P_{spm}). La figure IV.23 donne les résultats pour les deux cas qui ont été étudiés (pour $V_s = 15$ kV et pour $V_g = 1$ kV).

La puissance reçue par l'échantillon suit l'évolution du courant I_m , lorsque le courant source I_s diminue, le courant I_m diminue et la puissance P_{spm} diminue aussi (figure IV.23(a)). Ça signifie que l'élargissement de la zone de charge, lorsque D_g augmente, a très peu d'influence sur le niveau de charge de l'échantillon. Cependant, l'augmentation de la distance D_g , offre la possibilité d'augmenter la quantité des charges reçues par le média lorsque l'alimentation le permet tout en évitant le claquage (figure IV.23(b)).

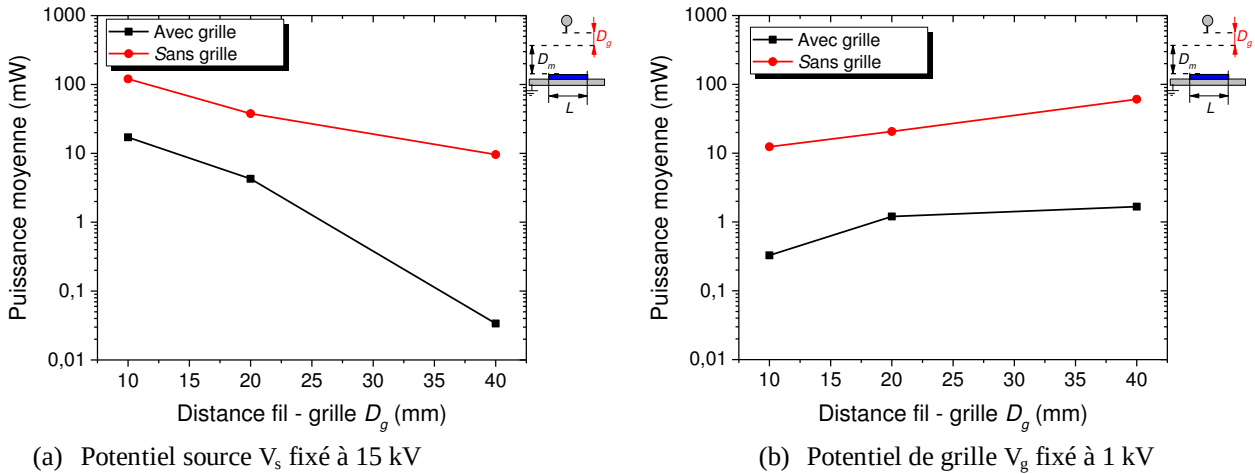


Figure IV.23 : Influence de la distance fil – grille D_g sur la puissance moyenne reçue par l'échantillon P_{spm} pour (a) $V_s = 15$ kV et (b) $V_g = 1$ kV. Conditions expérimentales : Configuration triode et fil – plan, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.

IV.2.1.2. Influence de la distance grille – média D_m

L'étude de l'influence de la distance grille – média sera réalisée pour trois valeurs de D_m (10, 20 et 40 mm) avec une distance fil – grille (D_g) fixée à 10 mm. Dans une première série d'expériences, le potentiel source V_s sera maintenu constant à 15 kV ; puis dans une deuxième série d'expériences, c'est le potentiel de grille V_g qui sera fixe à 1 kV.

A. Influence de D_m sur le profil et sur les courants I_s , I_g et I_m pour V_s constant

Pour différentes valeurs de D_m , les mesures du potentiel de surface indiquées sur la figure IV.24(a) montre une distribution de charge non homogène mais de valeur moyenne presque similaire. Le potentiel de grille V_g étant supérieur à 2 kV pour les trois valeurs de D_m , le potentiel de surface est limité à des valeurs de l'ordre de 1,4 kV par la rigidité diélectrique de l'air. Comme la distance D_g est fixe, l'appel en courant au niveau de la source reste quasiment le même malgré les variations de la distance D_m (figure IV.24(b)). Le courant de grille I_g augmente légèrement au détriment du courant I_m . En absence de la grille, le courant source I_s et le courant I_m sont confondus. Le courant I_m diminue dans les deux cas de configuration de dépôt de charges (absence et présence de la grille).

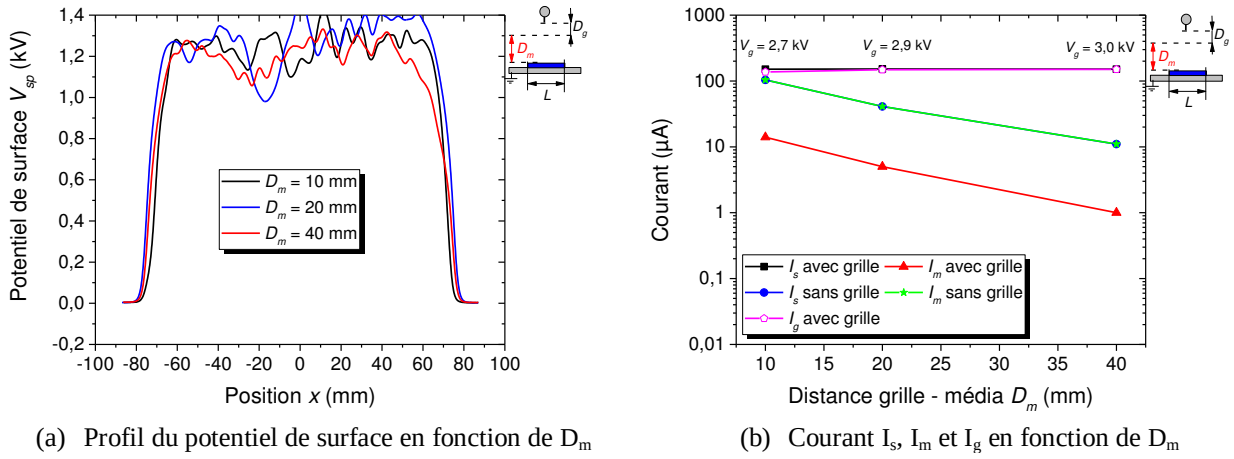


Figure IV.24 : Influence de la distance D_m grille – média sur (a) le profil du potentiel de surface et sur (b) les courants I_s , I_m et I_g . Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ C$, $HR = 46\%$, $V_s = 15$ kV.

B. Influence de D_m sur le profil et sur les courants I_s , I_g et I_m pour V_g constant

La figure IV.25 illustre les résultats de l'influence de la distance D_m sur le profil du potentiel de surface (figure IV.25(a)) et sur les mesures des courants I_s , I_m et I_g en présence et en absence de la grille (figure IV.25(b)). Pour un potentiel de grille V_g fixé à 1 kV, l'augmentation de la distance D_m s'accompagne d'un élargissement de la zone de dépôt de charges, mais le niveau du potentiel de surface diminue (figure IV.25(a)). Le courant reçu par l'échantillon diminue au fur et à mesure que D_m augmente. Lorsque V_g est constant, l'augmentation de la distance D_m induit à une baisse du champ électrique, ce qui explique une baisse du niveau de charge et du courant reçu par le média (figure IV.25(b)).

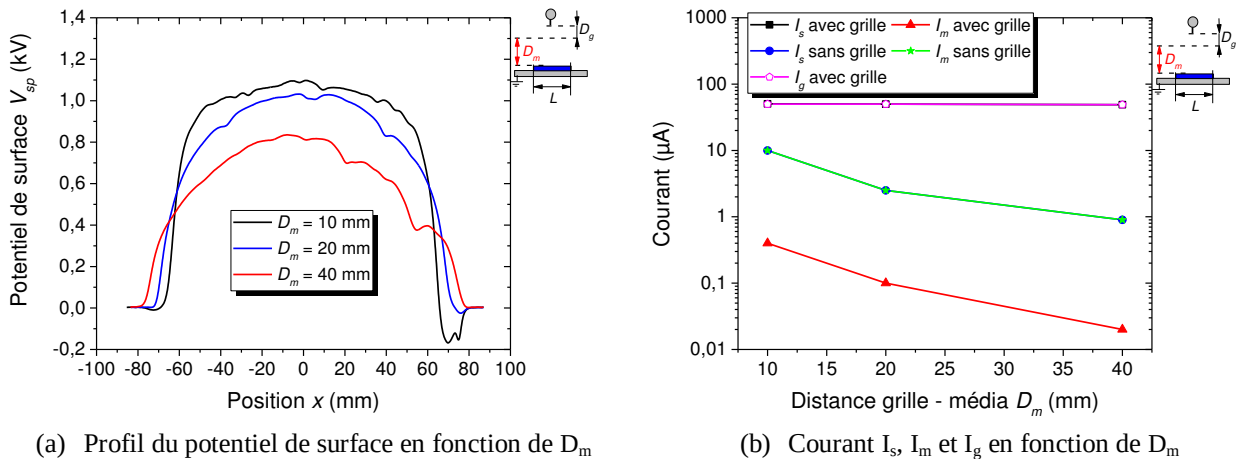


Figure IV.25 : Influence de la distance grille – média D_m sur (a) le profil du potentiel de surface et sur (b) les courants I_s , I_m et I_g . Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ C$, $HR = 46\%$, $V_g = 1$ kV, $V_s = 10,1$ kV.

C. Influence de D_m sur la puissance moyenne reçue par l'échantillon P_{spm}

La figure IV.26 montre l'évolution de la puissance moyenne reçue par l'échantillon en fonction de la distance D_m pour un potentiel source fixe ($V_s=15$ kV) et pour un potentiel de grille fixe ($V_g = 1$ kV). Pour les deux cas, les résultats montrent que la puissance reçue par l'échantillon, qui suit l'évolution du courant I_m , diminue avec l'augmentation de la distance D_m . On peut conclure que l'augmentation de la distance D_m n'est pas favorable pour l'optimisation de l'état de charge des échantillons, même si elle permet d'élargir la zone de dépôt de charges.

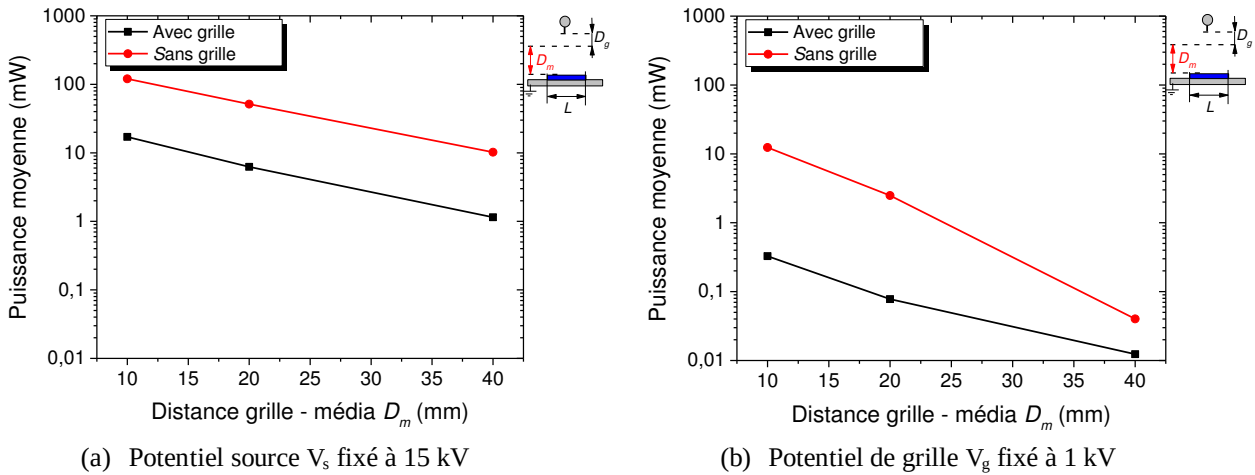


Figure IV.26 : Influence de la distance fil – grille D_g sur la puissance P_{spm} pour (a) $V_s = 15$ kV et (b) $V_g = 1$ kV. Conditions expérimentales : Configuration triode et fil – plan, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $l = 100$ mm et $L = 150$ mm, $D_g = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$.

IV.2.2. Influence du mode de charge

Les expériences décrites dans les paragraphes suivant seront réalisées en chargeant les échantillons en mode dit « balayage ». Les vitesses de balayage seront variables pour voir l'influence de ce paramètre sur l'état de charge des échantillons.

IV.2.2.1. Comparaison mode statique - mode balayage

Les résultats de dépôt de charges en mode statique seront comparés à ceux obtenus en mode balayage pour différents longueurs d'échantillons $L = 50, 100$ et 150 mm avec une largeur fixe ($l = 100$ mm). Le potentiel de grille V_g est fixé à 1 kV, et les distances D_g et D_m à 10 mm. Pour cette étude, la vitesse de balayage est fixée à 20 mm.s^{-1} .

La figure IV.27(a) montre le profil du potentiel de surface pour différents tailles d'échantillons chargés en mode statique et en mode balayage, alors que la figure IV.27(b) montre l'évolution du potentiel moyen en fonction de la longueur de l'échantillon pour les deux modes de charge. Ces résultats montrent que le mode statique permet de concentrer les charges au centre de l'échantillon, dans une zone où le champ électrique créée par l'électrode est plus intense. La

distribution de charge est plus homogène en mode balayage avec un niveau de charge au centre de l'échantillon inférieur à celui obtenu avec le mode statique. Cependant, lorsque la taille des échantillons augmente, le potentiel de surface moyen devient plus important avec le mode dynamique.

Par rapport à la géométrie de l'électrode, on peut conclure que le mode de charge en balayage sera bénéfique pour les échantillons de grande taille, dans notre cas supérieur à 100 mm.

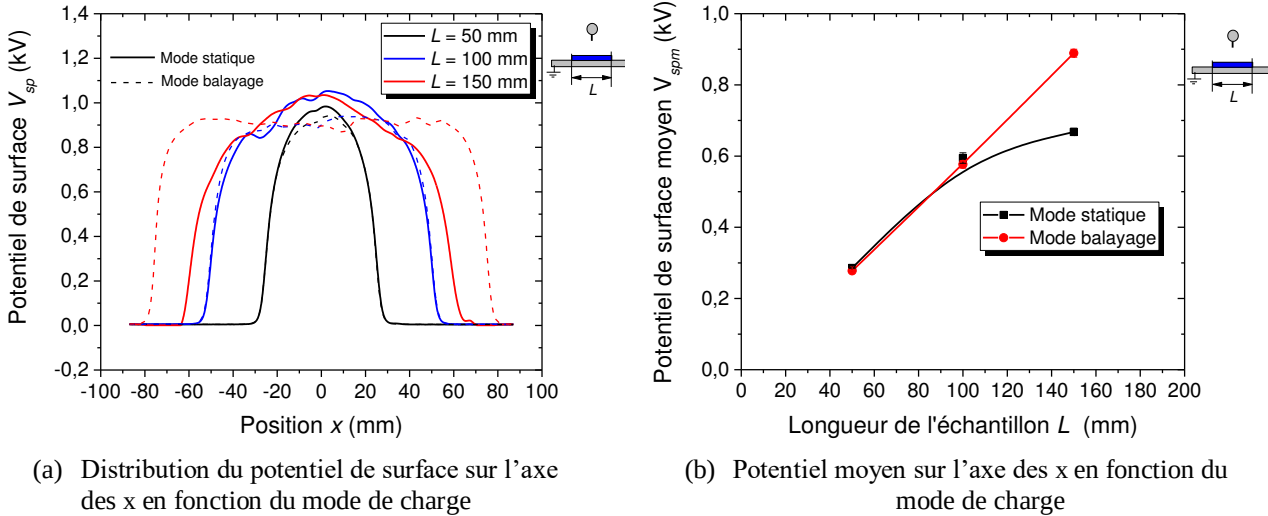


Figure IV.27 : Influence du mode de charge du média (statique / balayage) sur (a) la distribution du potentiel de surface et sur (b) le potentiel de surface moyen. Conditions expérimentales : Configuration triode, banc expérimental d'étude d'efficacité de collecte, lot 1, $l = 100$ mm et $L = \{50, 100 \text{ et } 150 \text{ mm}\}$, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 20^\circ\text{C}$, $HR = 47\%$, $V_s = 9,9$ kV, $V_g = 1$ kV

IV.2.2.2. Influence de la vitesse de balayage V_b

La vitesse de balayage est variée de 5 à 20 mm.s^{-1} . Les échantillons utilisés sont de coupe circulaire de diamètre $\varnothing = 90$ mm. La figure IV.28(a) illustre le profil du potentiel de surface pour les trois vitesses de balayage choisies (5, 10 et 20 mm.s^{-1}), tandis que la figure IV.28(b) montre le potentiel moyen pour les deux configurations de charge (triode et fil – plan). La durée de la décharge couronne pour chaque vitesse de balayage est illustrée sur le graphe.

Les résultats permettent de conclure qu'en mode de charge en balayage, dans la gamme des vitesses étudiées (5 à 20 mm.s^{-1}), la différence de niveau de charge est très faible. Par rapport à la taille d'échantillon étudiée (90 mm), le mode de charge en statique offre un meilleur résultat, car la vitesse de balayage influe très peu l'état de charge d'un média avec des dimensions réduites.

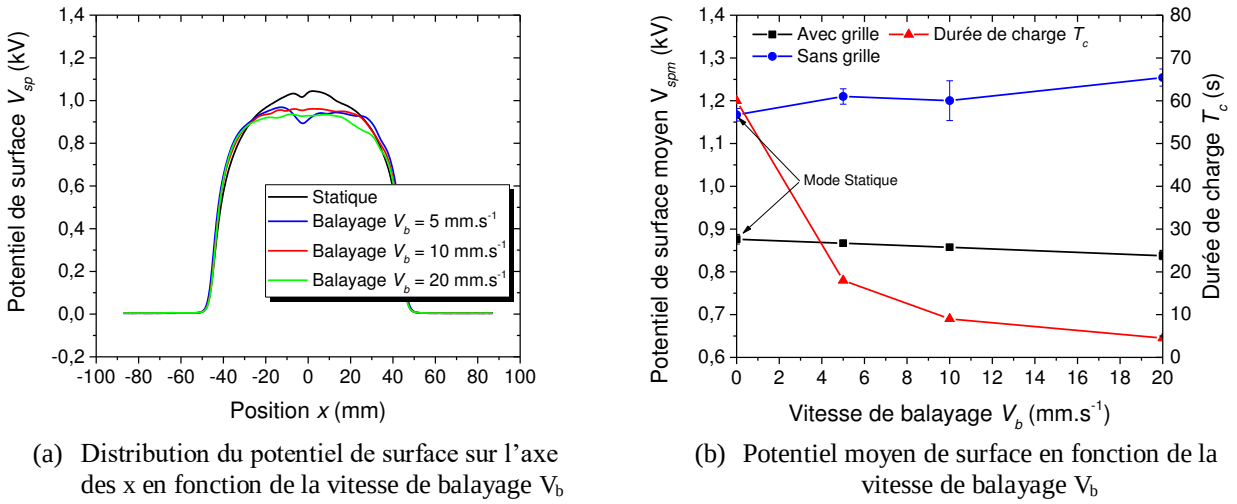


Figure IV.28 : Influence de la vitesse de balayage sur (a) la distribution du potentiel de surface et sur (b) le potentiel de surface moyen. Conditions expérimentales : Configuration triode et fil – plan, banc expérimental d’étude d’efficacité de collecte, lot 1, $\phi = 90^\circ$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 20^\circ\text{C}$, $HR = 47\%$, $V_g = 1 \text{ kV}$ ($V_s = 9.9 \text{ kV}$), vitesse de balayage $V_b = 5, 10 \text{ et } 20 \text{ mm.s}^{-1}$.

IV.3. Etude d'autres facteurs influents l'état de charge des médias

Les effets de plusieurs facteurs ont été analysés dans les sections précédentes notamment les paramètres électriques et géométriques des dispositifs expérimentaux utilisés. Dans ce sous-chapitre, quelques facteurs supplémentaires qui peuvent modifier l'état de charge des médias seront étudiés : la géométrie de l'électrode couronne et la nature du média filtrant.

IV.3.1. Géométrie de l'électrode

L'influence du potentiel de grille V_g et de la distance fil – grille D_g sur l'état de charge sera analysée pour deux électrodes de géométrie différente (figure IV.29).

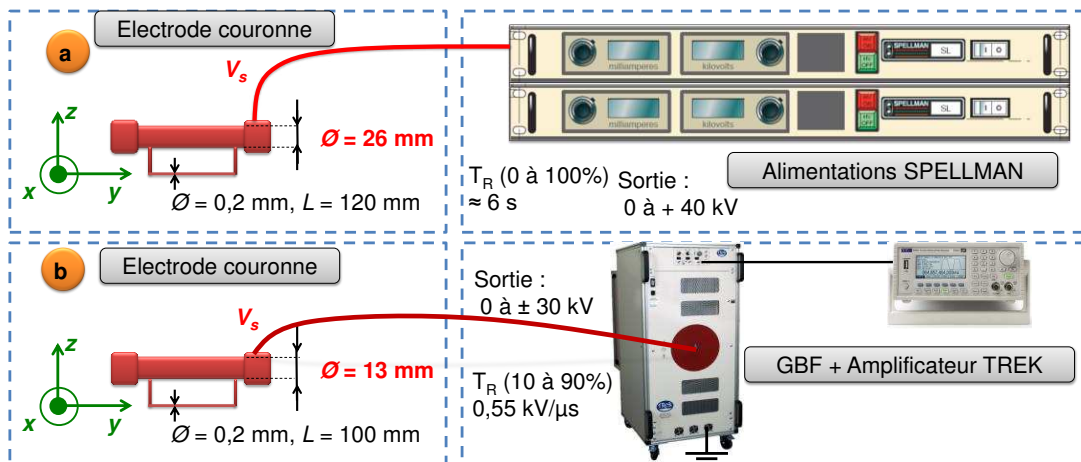


Figure IV.29 : Configuration géométrique des deux électrodes, (a) électrode couronne dont le cylindre fait 26 mm, et (b) électrode couronne dont le cylindre fait 13 mm

IV.3.1.1. Influence du potentiel de grille V_g

Les profils du potentiel de surface obtenus pour différents valeurs de V_g pour les deux d'électrodes cités ci-dessus sont illustrés sur la figure IV.30. Les résultats obtenus ont permis de dresser le tableau IV.6.

L'écart entre le profil obtenu à partir de l'électrode (a) et celui obtenu à partir de l'électrode (b) devient important lorsque le potentiel de grille augmente. Comme le diamètre du cylindre de l'électrode (a) est plus large que celui de l'électrode (b), la zone de dépôt de charges sera plus large avec l'électrode (a), c'est le cas avec la figure IV.30(a). Dans ce cas, la distribution du potentiel de surface sera plus homogène, contrairement à celle de l'électrode (b) qui va induire une distribution plus concentrée au centre, en particulier lorsque le potentiel source devient important.

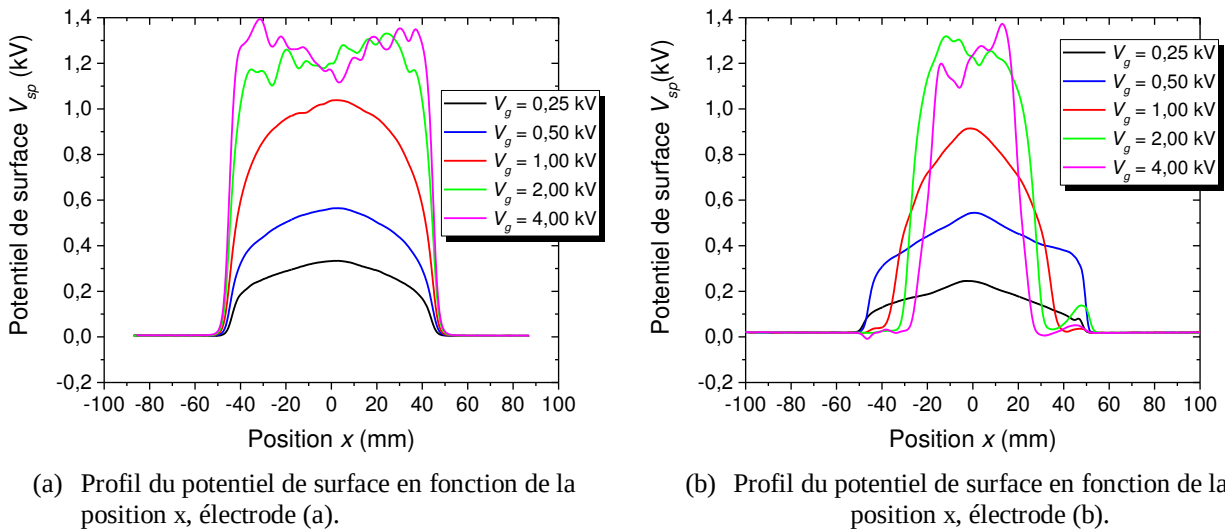


Figure IV.30 : Influence de la géométrie de l'électrode sur la distribution du potentiel de surface suivant l'axe des x pour différents potentiels de grille V_g . Conditions expérimentales : Configuration triode, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 24^\circ\text{C}$, $HR = 43\%$.

Tableau IV.6: Comparaison des résultats du profil du potentiel de surface obtenus à partir des deux électrodes

Potentiel de grille V_g (kV)	Potentiel moyen (kV)		Ecart entre les deux électrodes (%)
	Electrode (a)	Electrode (b)	
0,25	0,27	0,19	28,5
0,5	0,46	0,45	3,3
1	0,87	0,55	37,2
2	1,19	0,72	39,3
4	1,27	0,57	55,1

IV.3.1.2. Influence de la distance fil – grille D_g

Les profils du potentiel de surface obtenus à partir des électrodes (b) changent avec la variation de la distance D_g . La figure IV.31 illustre des résultats typiques de cet effet. Comme le cylindre de l'électrode est petit, les lignes de champs redirigées par le cylindre vers l'échantillon couvrent une zone moins large. L'augmentation de la distance D_g permet ainsi d'élargir la zone de distribution de charges.

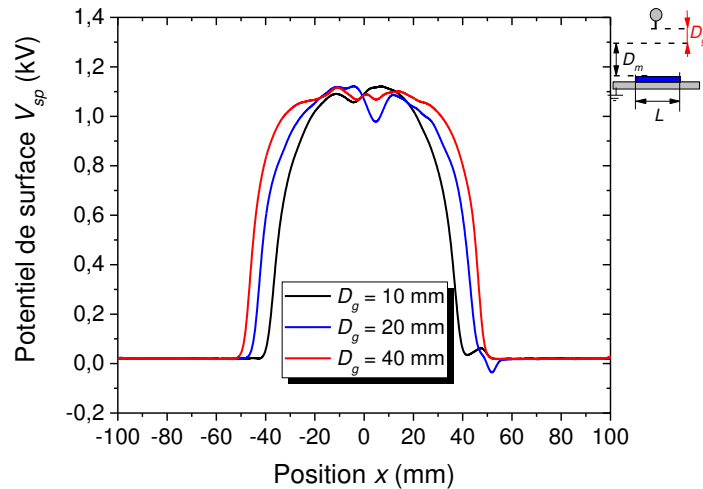


Figure IV.31 : Influence de la géométrie de l'électrode sur la distribution du potentiel de surface suivant l'axe des x pour différentes distance D_g . Conditions expérimentales : Configuration triode, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_m = 10$ mm, $T = 24^\circ\text{C}$, $HR = 43\%$, $V_g = 1$ kV.

IV.3.2. Nature du média utilisé

L'état de charge du média non-tissés en polypropylène est influencée par la présence d'additifs (liants, pigments) et par le grammage. Dans le tableau IV.7 sont listés les échantillons utilisés pour cette étude, classés par fournisseur et par référence.

Tableau IV.7 : Regroupement des échantillons non-tissés en polypropylène utilisés

Groupe	Référence	Grammage (g/m^2)	Epaisseur (mm)	Identification du lot
I	Echantillon bleu 1 (classique)	42,4	0,3	1
I	Echantillon bleu 2	40,9	0,3	2
II	Echantillon noir	78,6	0,5	3
II	Echantillon bleu marine	64,4	0,4	4
II	Echantillon rouge	70,7	0,4	5
II	Echantillon blanc	69,2	0,3	6
III	N100	97,5	0,6	7
III	N70	78,6	0,5	8
III	N50	50,3	0,4	9
III	N30	29,9	0,2	10

IV.3.2.1. Etat de charge des médias non-tissés en polypropylène

Groupe I : Tissu des lots 1 et 2

Les résultats de la figure IV.32 montrent visiblement que le lot 2 ne garde pas du tout la charge. Entre la fin de la charge et le début de la mesure, 6 secondes séparent les deux opérations. On constate une perte de charge de 55%, et au bout de 3 min l'échantillon perd 90% de sa charge initiale (média chargé à 1 kV). Les deux échantillons présentent un écart au niveau densité surfacique de $1,5 \text{ g/m}^2$, le lot 1 est plus massique que le lot 2.

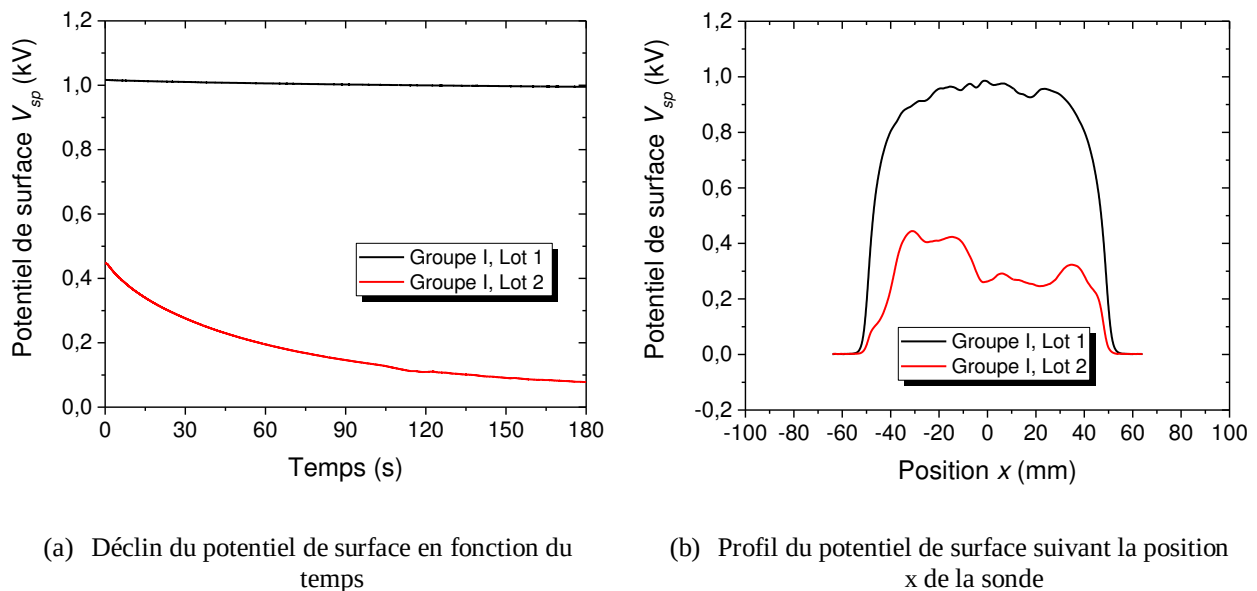


Figure IV.32 : Potentiel de surface des échantillons du groupe I. Conditions expérimentales : Configuration triode, lot 1 et 2, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$, $V_g = 1 \text{ kV}$.

Groupe II : Tissu des lots 3, 4, 5 et 6

La figure IV.33 illustre des mesures typiques du potentiel de surface des échantillons du groupe 2. Les résultats montrent que ces échantillons ont un comportement assez proche qui leur permet de bien garder charges. Il faut noter que la densité surfacique moyenne des échantillons est de $70,7 \text{ g/m}^2$ avec un écart type de $5,1 \text{ g/m}^2$.

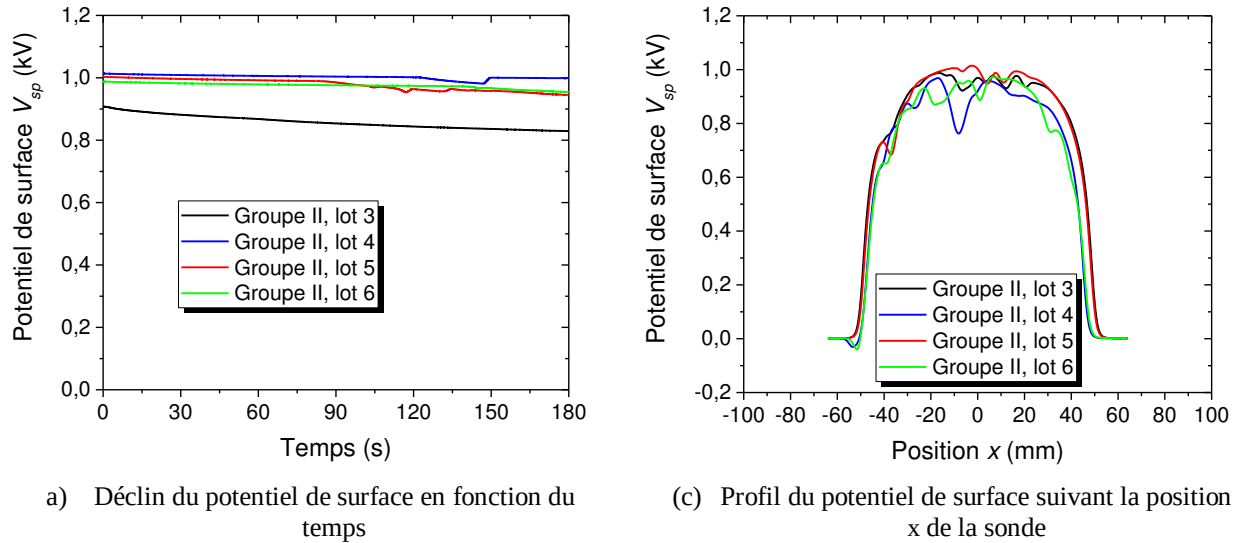


Figure IV.33 : Potentiel de surface des échantillons du groupe II. Conditions expérimentales : Configuration triode, lot 3, 4, 5 et 6, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$, $V_g = 1$ kV.

Groupe III : Tissu des lots 7, 8, 9 et 10

La figure IV.34 montre les résultats des échantillons du groupe III avec une densité surfacique variant entre 30 g/m^2 à 100 g/m^2 . L'ensemble de ces échantillons ne garde pas la charge. Ces résultats montrent que le déclin et le niveau de charge sont en fonction de la densité surfacique de l'échantillon. Plus la masse de l'échantillon est importante, plus le déclin est rapide et le niveau de charge est faible.

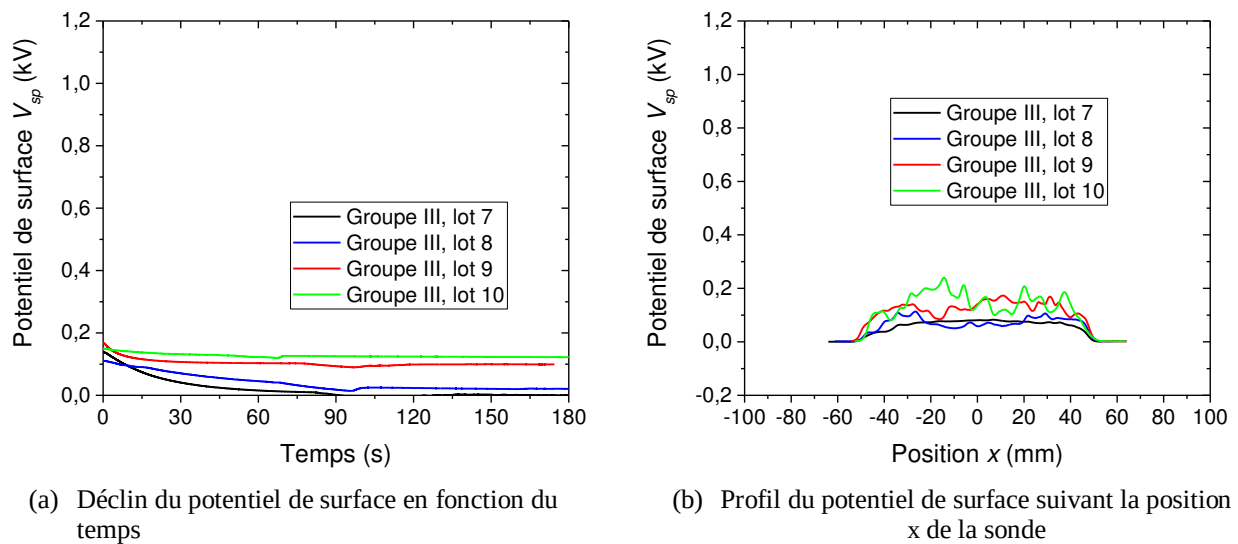


Figure IV.34 : Potentiel de surface des échantillons du groupe III. Conditions expérimentales : Configuration triode, lot 7, 8, 9 et 10, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 21^\circ\text{C}$, $HR = 51\%$, $V_g = 1$ kV.

Pour conclure, les échantillons étudiés ici sont tous des médias non-tissés en polypropylène, et pourtant leur état de charge est différent d'un groupe à l'autre. Nous pouvons noter une similarité sur l'état de charge des échantillons de différents groupes exemple le lot 1 du groupe I et les lots 3, 4, 5 et 6 du groupe II.

IV.3.2.2. Echantillons multicouches

Les échantillons ont été obtenus en empilant des médias non-tissés en polypropylène jusqu'à quatre couches puis ils ont été chargés simultanément. Durant cette phase, le courant reçu par le média a été mesuré à l'aide d'un multimètre. Les résultats des mesures présentés sur la figure IV.35 montrent que l'intensité du courant reçu par le media diminue lorsque le nombre de couches augmente, car la résistance électrique équivalente est plus élevée.

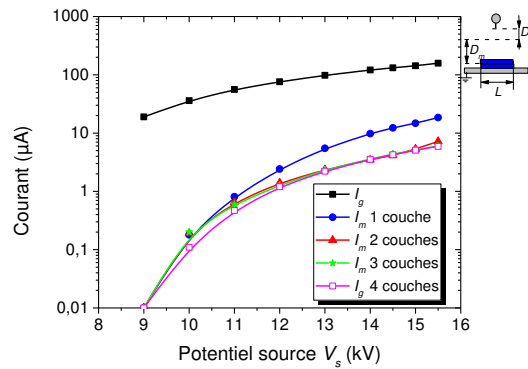


Figure IV.35 : Courant reçu par l'échantillon en fonction du nombre de couches empilées. Conditions expérimentales : Configuration triode, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 20^\circ\text{C}$, $HR = 46\%$, $V_g = 1$ kV.

La charge totale des échantillons a été analysée en utilisant le dispositif présenté dans le chapitre III en fonction du nombre de couche. Les résultats illustrés sur la figure IV.36 montrent que le niveau de charge baisse lorsque l'épaisseur de l'échantillon augmente. Sur un échantillon plus épais, le potentiel 1 kV sera atteint avec une charge plus faible.

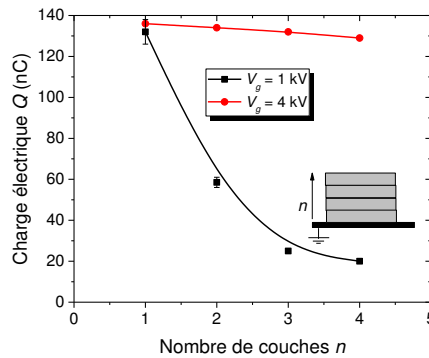


Figure IV.36 : Niveau de charge en fonction du nombre de couche. Conditions expérimentales : Configuration triode, lot1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 26^\circ\text{C}$, $HR = 36\%$, $V_g = 1$ kV et 4 kV

La charge acquise par couche décroît en fonction de la position de celle-ci. La première couche reçoit la majorité des charges (figure IV.37(a) et (b)).

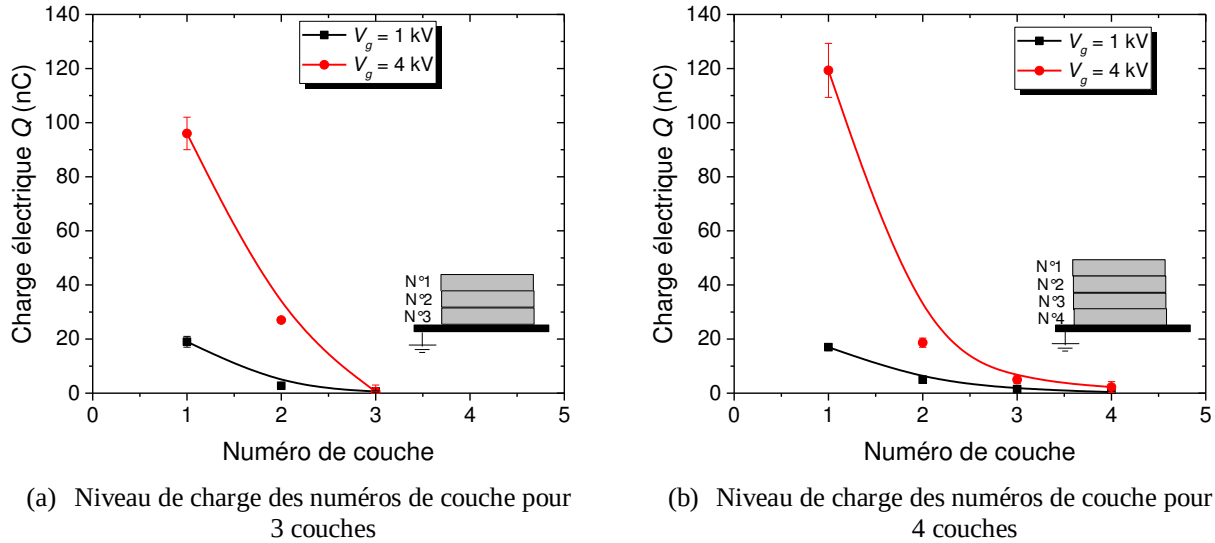


Figure IV.37 : Niveau de charge des couches pour un chargement multicouche. Conditions expérimentales : Configuration triode, lot 1, $\phi = 90$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 26^\circ\text{C}$, $HR = 36\%$, $V_g = 1$ kV et 4 kV

Conclusions

Les études réalisées sur l'état de charge des médias non-tissés en polypropylène ont permis d'éclaircir l'influence des paramètres électriques et géométriques du système de charge par effet couronne en configuration triode et fil – plan. Les conclusions sont les suivantes :

1. Un temps de dépôt de charge de 10 s est largement suffisant ; l'augmentation du temps de charge favorise la conduction des charges vers les bords du média et intensifie le déclin du potentiel de surface ;
2. La polarité positive offre un niveau de charge plus important que la polarité négative ;
3. L'énergie injectée dans le média dépend essentiellement du potentiel source V_s qui impose à la fois le potentiel de grille V_g et le courant I_m reçu par le média en configurations triode et fil – plan. En configuration fil – plan, la puissance transmise à l'échantillon est plus importante qu'en configuration triode, car toute l'énergie de la source est transmise à l'échantillon. La configuration triode a pour avantage de contrôler le dépôt de charge jusqu'à un certain niveau de potentiel de surface (1 kV par exemple).
4. La puissance transmise à l'échantillon n'est pas infinie, l'échantillon sature au-delà d'un certain seuil de niveau de charge (environ 1.2 kV) et au fur et à mesure que le niveau de charge augmente, le déclin du potentiel de surface s'intensifie.

5. En faisant varier la distance fil – grille (D_g), il est possible d'élargir la zone de charge mais le rapport entre la puissance transmise à l'échantillon et la puissance consommée est faible.
6. La charge en mode balayage est efficace pour des échantillons larges ; dans un processus industriel ce mode de charge serait intéressant, mais pour les échantillons utilisés dans notre étude ($\varnothing = 90$ mm), celui-ci n'apporte pas plus d'amélioration par rapport au mode statique.
7. La charge des échantillons dépend du nombre de couches empilées. L'empilement de plusieurs couches chargées paraît une solution intéressante pour augmenter l'efficacité de collecte.
8. L'état de charge de l'échantillon dépend d'une multitude de facteurs : les caractéristiques de la source d'énergie, la géométrie d'électrode couronne, la nature des matériaux non-tissés.

Chapitre **V**

ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DE COLLECTE DES MÉDIAS FILTRANTS CHARGÉS PAR DÉCHARGE COURONNE

Dans le chapitre précédent (chapitre IV), nous avons étudié l'état de charge des médias filtrants non-tissés en polypropylène en fonction des paramètres électriques et géométriques du dispositif de génération de charges. Dans ce dernier chapitre, nous allons analyser l'influence de ces paramètres sur l'efficacité de collecte. Notre objectif consiste à étudier les conditions de charge optimales permettant d'améliorer l'efficacité de filtration des particules dans l'air.

Le chapitre est scindé en quatre parties. Dans la première partie, nous analyserons la distribution granulométrique ainsi que l'efficacité de collecte sans et avec dépôt de charge. Dans la deuxième partie, nous montrerons les effets de la polarité négative et positive, du potentiel source et du potentiel de grille sur l'efficacité de collecte. Dans la troisième partie de l'étude, nous analyserons l'influence des distances fil – grille et grille – média, ainsi que le mode de charge (dynamique et statique) sur la captation des particules. Dans la dernière partie, nous étudierons l'influence du grammage et de l'empilement de couches sur l'efficacité de collecte.

V.1. Caractérisation de l'efficacité de collecte

Nous avons décrit dans le chapitre III le protocole expérimental utilisé pour la mesure d'efficacité de collecte avec le montage expérimental de la figure V.1. Pour calculer l'efficacité de collecte nous mesurons la concentration de particules en amont et en aval, on note :

$$\eta(\%) = \frac{C_{\text{amont}} - C_{\text{aval}}}{C_{\text{amont}}} \times 100 \quad (\text{V.1})$$

Les concentrations C_{amont} et C_{aval} sont obtenues à partir d'une moyenne de 20 points de mesures acquises par le nanogranulomètre avec une fréquence d'acquisition de 1 Hz.

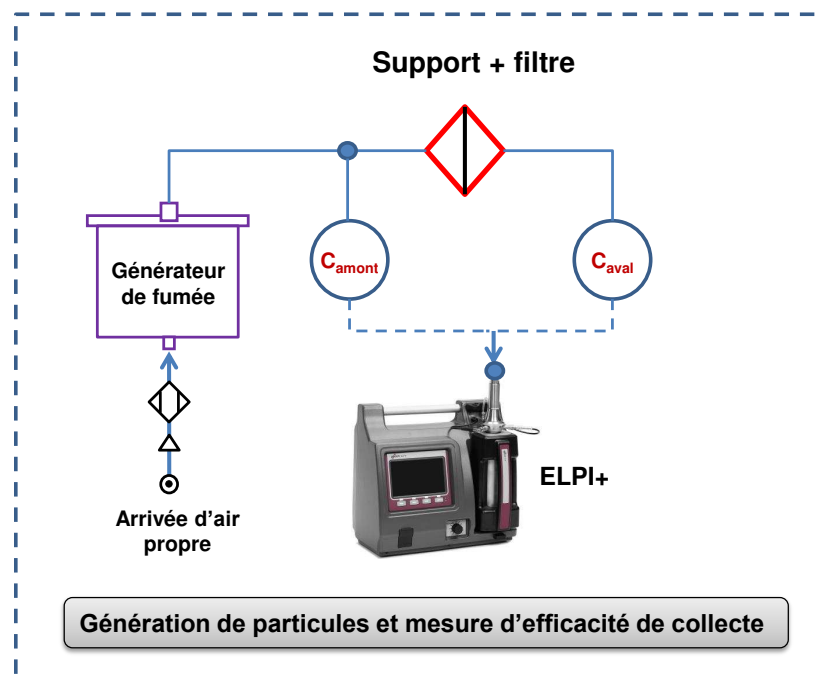


Figure V.1 : Installation expérimentale

V.1.1. Distribution granulométrique

Nous utilisons la combustion du bâton d'encens pour générer les particules de pollution. Ces particules sont ensuite mélangées avec de l'air propre. Le débit d'écoulement de l'air propre est de 70 l/min alors que celui de l'air pollué est de 4 l/min, ce qui nous donne un rapport de dilution de 18,5. Durant toutes les expériences, on conservera le même rapport de dilution. La répartition par taille typique des particules d'encens est illustrée sur la figure V.2.

Deux classes modales se distinguent sur la distribution granulométrique. Nous avons une forte concentration de particules pour les diamètres entre 6 et 20 nm correspondant au mode de nucléation. Dans la gamme 90 à 400 nm, c'est le mode d'accumulation qui est responsable de l'accroissement de la concentration des particules. D'autres mesures de combustion du bâton

d'encens ont été effectuées au sein de l'équipe EFD par Dramane [83] et Abaa N'dong [85]. Leurs résultats montrent une forte concentration de particules aux alentours de $0,3 \mu\text{m}$, en bon accord avec les travaux de Zukerane [93]. Cependant, l'appareil de mesure était dans ces cas un granulomètre optique avec une ne permettant pas des mesures pour les tailles inférieures à 180 nm .

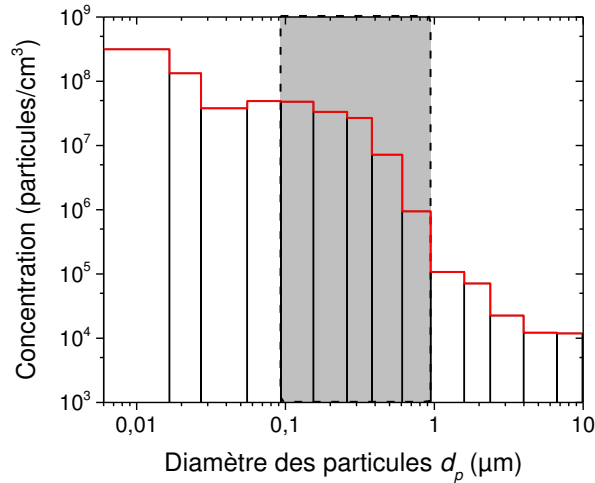


Figure V.2 : Distribution granulométrique des particules d'encens. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4 \text{ l/min}$, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 19^\circ\text{C}$ et $HR = 33\%$.

Dans cette étude, nous nous intéresserons principalement aux particules comprises entre $0,1$ et $1 \mu\text{m}$, car d'une part dans cette classe la combustion du bâton d'encens offre une concentration de particules qui est convenable pour l'étude d'efficacité de collecte, et d'autre part la littérature montre que dans cette zone l'efficacité de collecte est faible [34] [19].

V.1.2. Efficacité de collecte sans dépôt de charges

En absence de charges électriques, seules les forces mécaniques agissent sur la capture des particules avec un média filtrant. On dénombre trois principaux mécanismes de collecte, qui sont:

- **La diffusion**, lorsque le mouvement d'une particule sous l'effet de sa trajectoire brownien, l'emmène à rencontrer la fibre filtrante. Ce mécanisme est efficace pour les particules de petites tailles;
- **L'interception**, lorsque la particule est interceptée par la fibre filtrante en essayant de suivre le flux de l'écoulement du gaz. Ce mécanisme est efficace pour les moyennes et les grosses particules ;
- Et **l'impaction inertielle**, lorsqu'une particule se heurte à une fibre filtrante par la déviation de sa trajectoire. Ce mécanisme est efficace pour les grosses particules.

Ces trois mécanismes de capture sont principalement influencés par la taille des particules. La vitesse d'écoulement du gaz, l'humidité environnante et la durée d'exposition du filtre sont aussi des facteurs qui peuvent influencer l'efficacité de collecte des filtres.

Parmi les différents facteurs permettant d'analyser les mécanismes de captures des particules, nous nous limiterons à l'étude de l'efficacité de collecte. En effet, le facteur de qualité est moins intéressant lorsqu'on souhaite optimiser l'efficacité de collecte par procédé électrostatique et non pas par action mécanique.

La figure V.3(a) montre la distribution granulométrique typique des particules en amont et en aval d'un média filtrant non-tissé en polypropylène. On peut noter qu'en aval du média la concentration des particules baisse pour toutes les classes entre 6 nm et 10 μm . Le calcul de l'efficacité fractionnaire indiqué sur la figure V.3(b) confirme ce résultat. Par ailleurs, les résultats montrent que l'efficacité fractionnaire est assez faible pour toutes les classes. Mais, elle est encore plus faible dans la gamme de taille entre 0,1 et 1 μm avec une efficacité de collecte moyenne de 25%.

Ce résultat est en bon accord avec la littérature qui souligne que l'efficacité de collecte est médiocre pour les particules dont leurs diamètres appartiennent à la classe [0,1 – 1] μm . En effet, les mécanismes de capture mécanique ne sont pas favorables pour la capture des particules dans cette gamme de taille des particules.

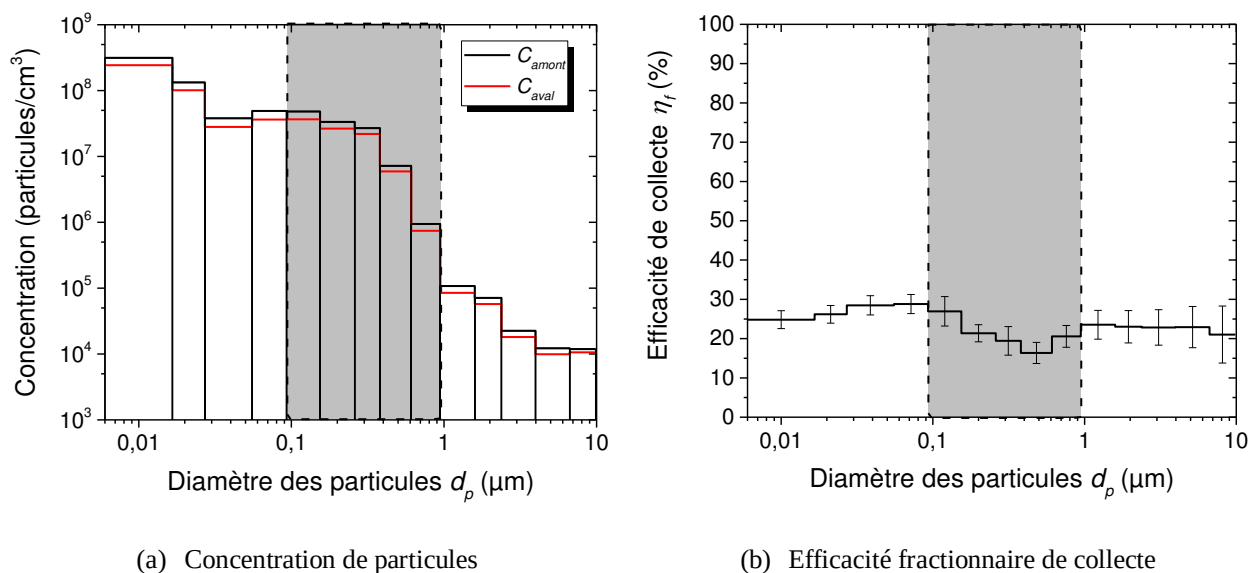


Figure V.3 : Concentration de particules et efficacité fractionnaire de collecte sans dépôt de charges en fonction du diamètre de particule d_p , les barres d'erreur représentent les écarts-types. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 19^\circ\text{C}$ et $HR = 33\%$

V.1.3. Efficacité de collecte avec dépôt de charges

A. Configuration triode

Nous avons énuméré précédemment trois mécanismes de capture de particules (Diffusion, interception et impaction inertielle). En présence de charges sur le média, un quatrième mécanisme s'ajoute, il s'agit de l'effet électrostatique. Ce dernier mécanisme de capture repose sur l'attraction électrostatique entre les particules et les fibres filtrantes, il est régit principalement par les forces de coulomb et les forces diélectrophorétiques.

La figure V.4 montre un exemple typique de la courbe d'efficacité de collecte fractionnaire avec et sans dépôt de charges électriques dans le cas de la polarité positive. Les résultats montrent clairement un apport positif et significatif du dépôt de charges à la filtration des particules notamment dans la plage où le filtre mécanique est inefficace [0,1 – 1] μm .

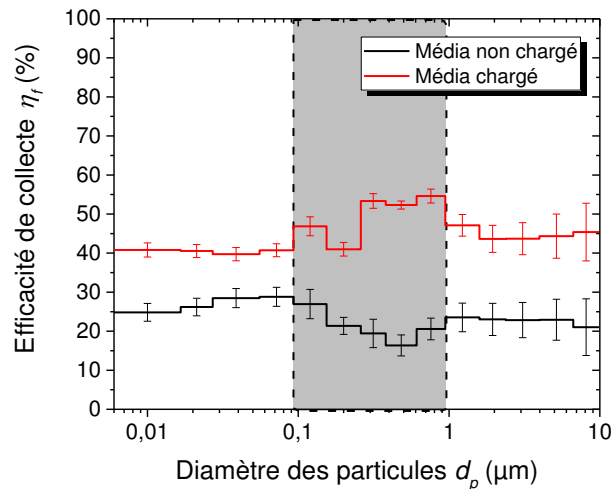


Figure V.4 : Influence de la charge sur l'efficacité de collecte. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 18^\circ\text{C}$ et $\text{HR} = 39\%$, Potentiel de grill $V_g = 1$ kV, polarité positive $V_s = +9,4$ kV.

B. Configuration fil - plan

Précédemment nous avons vu l'effet de la charge électrique sur l'efficacité de collecte, la figure V.5 illustre la différence entre la configuration triode et la configuration fil – plan. Pour le même potentiel source appliqué (ici $V_s = 15$ kV), les résultats d'efficacité de collecte sont meilleurs en configuration fil – plan. En effet, dans cette configuration le média récolte plus de charges, le courant I_m lors de la décharge couronne est de $36 \mu\text{A}$ pour la configuration triode contre $170 \mu\text{A}$ pour la configuration fil – plan.

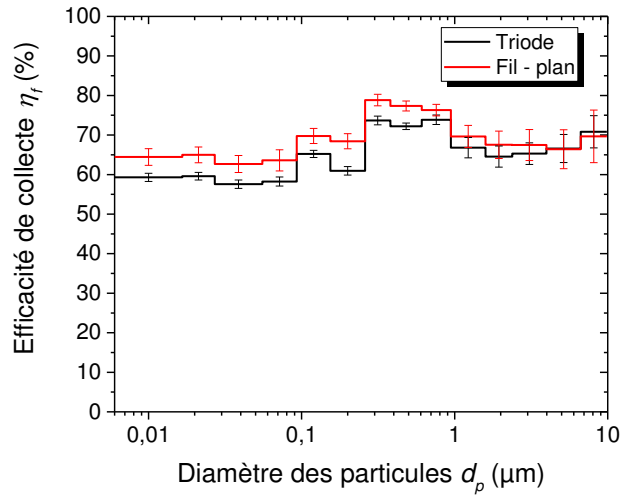


Figure V.5 : Influence du mode de charge sur l'efficacité de collecte. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 18^\circ\text{C}$ et $HR = 39\%$, Potentiel de grill $V_g = 4$ kV, polarité positive $V_s = +15$ kV.

La configuration fil – plan offre une meilleure efficacité de collecte, mais nous nous concentrerons sur la configuration triode car elle permet d'avoir un contrôle sur le dépôt et l'uniformisation de la charge sur le media. Pour la reproductibilité et la corrélation état de charge/ efficacité de collecte, la configuration triode convient mieux comparée à la configuration fil – plan.

V.2. Influence des paramètres électriques sur l'efficacité de collecte

Dans cette section, nous allons étudier l'influence des paramètres électriques du dispositif de génération de charges sur l'efficacité de collecte. Pour cela, nous conserverons constant les paramètres du circuit fluide à savoir : le débit de particules, le rapport de dilution, le débit d'air et la concentration des particules.

V.2.1. Etude de la polarité

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la polarité positive offrait un meilleur état de charge des médias non-tissés en polypropylène par rapport à la polarité négative. Nous allons étudier le comportement de ces deux polarités des sources d'alimentation sur l'efficacité de collecte. Nous utiliserons les conditions standards de génération de charges, à savoir :

- Configuration triode, $D_g = D_m = 10$ mm ;
- Potentiel de grille constant (en valeur absolue) $V_g = 1$ kV.

Dans cette partie, nous montrerons l'apport de la charge électrique sur les filtres mécaniques, par la suite nous comparerons les deux sources pour différentes valeurs du potentiel de grille et pour un potentiel source constant.

C. Effet de la polarité pour un potentiel de grille V_g maintenu à 1 kV

L'effet de la polarité sur l'efficacité de collecte est illustré sur la figure V.6. Les résultats montrent que la polarité positive est meilleure en termes d'efficacité de collecte par rapport à la polarité négative. En effet, lorsque nous regardons les valeurs des tensions sources V_s (en valeur absolue bien sûr), nous constatons que celles de la polarité positive sont supérieures par rapport aux tensions sources de la polarité négative, pour un potentiel V_g constant. Par conséquent, nous pouvons supposer que l'action du champ électrique moyen entre le fil de l'électrode et le plan de masse est plus intense en polarité positive par rapport à la polarité négative, ce qui engendre un niveau de charge plus important en polarité positive. D'ailleurs, les mesures de potentiel de surface du chapitre précédent confirment ces résultats. En termes de puissance, la comparaison des deux polarités montre que la puissance de l'alimentation positive est plus importante que celle de la négative ($P_e^+ = 0,48$ W et $P_e^- = 0,45$ W). Cette différence est aussi liée aux régimes et morphologies des décharges couronnes positive et négative (voir chapitre II).

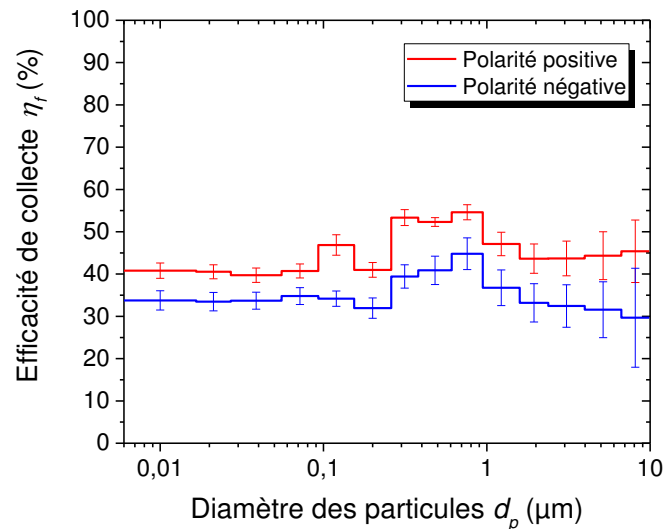


Figure V.6 : Influence de la polarité sur l'efficacité de collecte. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 18^\circ C$ et $HR = 39\%$, potentiel de grille $V_g = 1$ kV, polarité positive $V_s = +9,4$ kV, polarité négative $V_s = -8,8$ kV.

D. Effet de la polarité pour un potentiel de grille V_g variant de 0,5 à 4 kV

Dans cette étude, nous avons comparé les résultats d'efficacité de collecte des deux sources d'alimentation pour différentes valeurs du potentiel de grille, ainsi nous avons tracé les caractéristiques :

- Potentiel de grille (V_g) – Efficacité de collecte (η_i) ;
- Potentiel de grille (V_g) – Puissance de la source de l'alimentation (P_e) ;
- Potentiel de grille (V_g) – Courant reçu par le media (I_m).

La figure V.7 illustre les résultats de l'efficacité de collecte pour différentes valeurs du potentiel de grille en polarité positive (figure V.7(a)) et négative (figure V.7(b)). Nous pouvons noter une évolution quasiment similaire sur les deux polarités, cependant les caractéristiques électriques sont différentes.

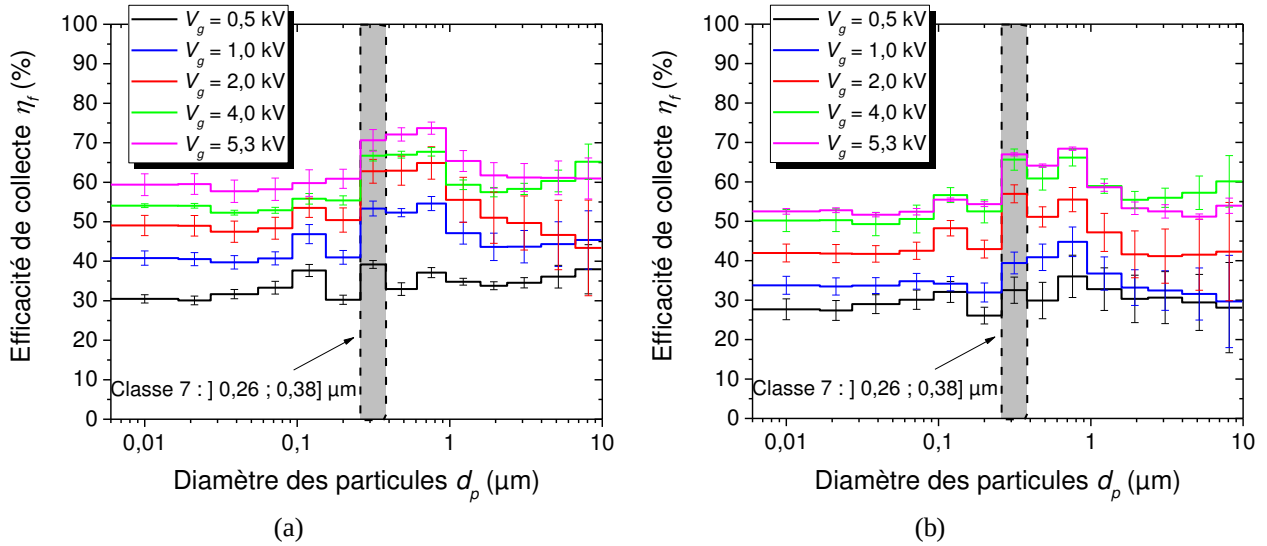


Figure V.7 : Efficacité fractionnaire de collecte η_t en polarité positive (a) et négative (b). Conditions expérimentales : Débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 18^\circ\text{C}$ et $HR = 39\%$

La figure V.8 permet de voir l'évolution de l'efficacité de collecte en se focalisant sur une classe (la classe 7). Cette figure permet aussi de voir l'évolution des caractéristiques électriques, notamment la puissance consommée, le courant I_m allant vers la masse lors de la décharge couronne, et le niveau de la tension source pour les différents potentiels de grille des deux polarités. Les résultats obtenus confirment l'analyse faite précédemment, à savoir, l'augmentation de la tension source a pour conséquence une augmentation de la puissance et du potentiel de grille. L'accroissement du potentiel de grille permet d'améliorer l'efficacité de collecte. Pour le même potentiel de grille, la puissance en polarité positive est supérieure à celle mesurée en polarité négative, ce qui justifie une efficacité meilleur en polarité positive.

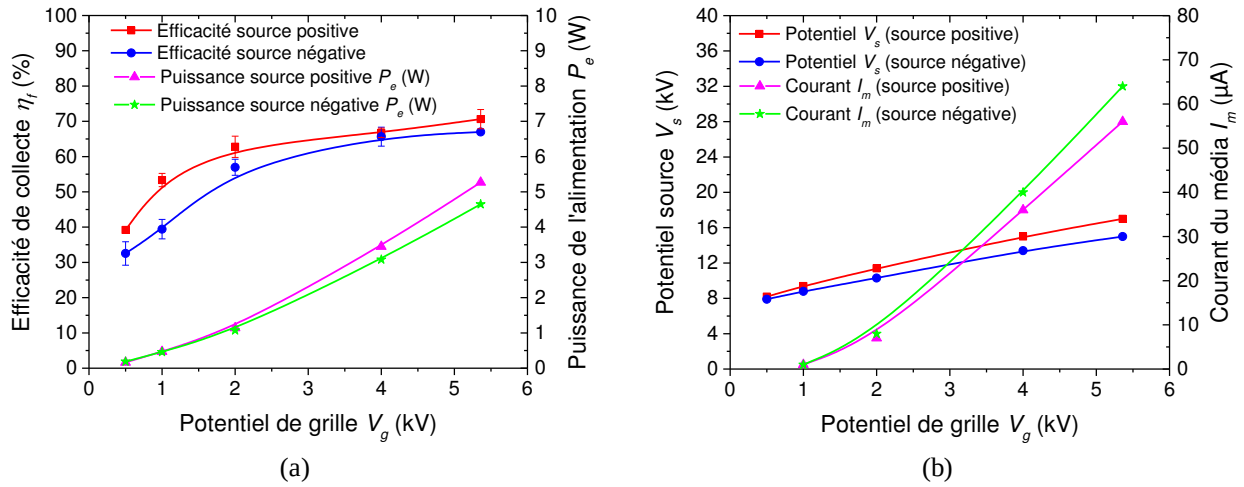


Figure V.8 : Lot 1, (a) efficacité de collecte de la classe 7 et puissance de l'alimentation source P_e , (b) potentiel source V_s et courant du média I_m en fonction du potentiel de grille V_g en polarité positive et négative.

Conditions expérimentales : $Q_p = 4$ l/min, $R_d = 18,5$, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 18^\circ\text{C}$ et $HR = 39\%$

E. Effet de la polarité pour un potentiel source V_s maintenu à 15 kV

La figure V.9 nous montre la comparaison de l'efficacité de collecte pour un potentiel source constant $|V_s| = 15$ kV. Ces résultats montrent un potentiel de grille V_g et une puissance source P_e nettement supérieurs en polarité négative, et pourtant l'efficacité est plus importante en polarité positive. Nous pouvons en déduire que c'est la nature de la décharge couronne négative qui ne permet pas de performer l'efficacité de collecte en polarité négative. Nous pouvons conclure que la captation des particules de fumée d'encens n'est pas efficace ici lorsque les fibres du média sont chargées avec des ions négatifs.

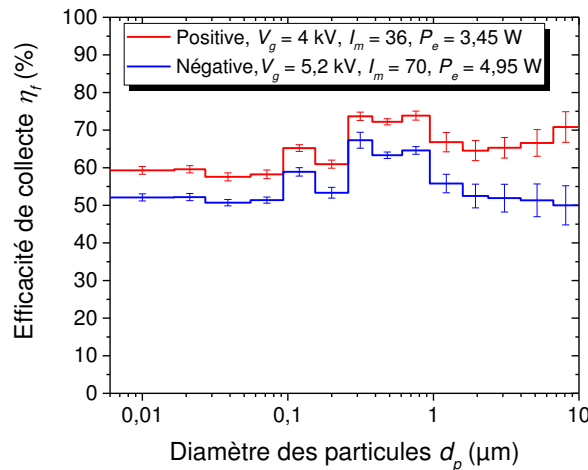


Figure V.9 : Efficacité fractionnaire en fonction de la polarité. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, $R_d = 18,5$, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 18^\circ\text{C}$ et $HR = 32\%$, $|V_s| = 15$ kV

V.2.2. Durée de la décharge couronne T_c

Nous allons à présent étudier l'influence de la durée de la décharge couronne T_c sur l'efficacité de collecte. La figure V.10(a) nous donne l'efficacité fractionnaire en fonction du diamètre de particules, tandis que la figure V.10(b) nous montre l'efficacité en fonction de la durée de la décharge couronne pour la classe 7. Les résultats obtenus ne montrent pas de différences significatives entre $T_c = 10$ s et $T_c = 60$ s. En effet, les mesures de potentiel de surface obtenus au chapitre précédent (chapitre IV) prédisaient ces résultats.

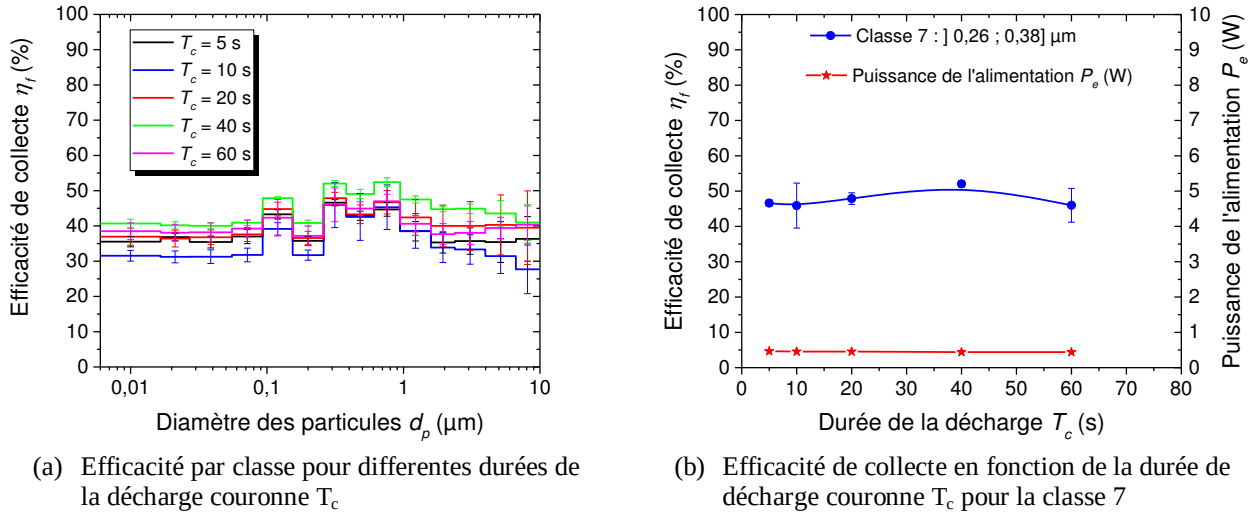


Figure V.10 : Efficacité de collecte en fonction de la durée de la décharge couronne par classe. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 18^\circ\text{C}$ et $HR = 43\%$, $V_s = 9,4$ kV, $V_g = 1$ kV

Nous savons que l'utilisation de la configuration triode permet de contrôler le dépôt de charges, cependant le niveau de charge cumulée par une fibre n'est pas infini. Entre 10 s et 60 s, l'efficacité de collecte enregistrée ne varie pas considérablement, nous en déduisons que le paramètre durée de charge n'a pas une influence significative sur l'état de charge des médias, et par conséquent l'efficacité de collecte sera très peu influencée par la durée de la charge T_c , à condition bien sûr que la durée de la décharge soit supérieure au temps de réponse de l'alimentation, ce qui est le cas ici.

V.2.3. Résistance de grille R_g

En configuration triode, la résistance de grille R_g permet de fixer le potentiel de grille V_g . A l'aide du montage expérimental schématisé sur la figure V.11, nous allons étudier l'influence de la résistance de grille sur l'efficacité de collecte. Tout d'abord, on présentera les résultats pour un potentiel de grille V_g constant à 1 kV, puis pour un courant de grille I_g constant de 50 μA . Pour rappel, le potentiel de grille V_g est obtenu à partir du produit du courant de grille I_g et de la résistance de grille R_g ($V_g = R_g \times I_g$).

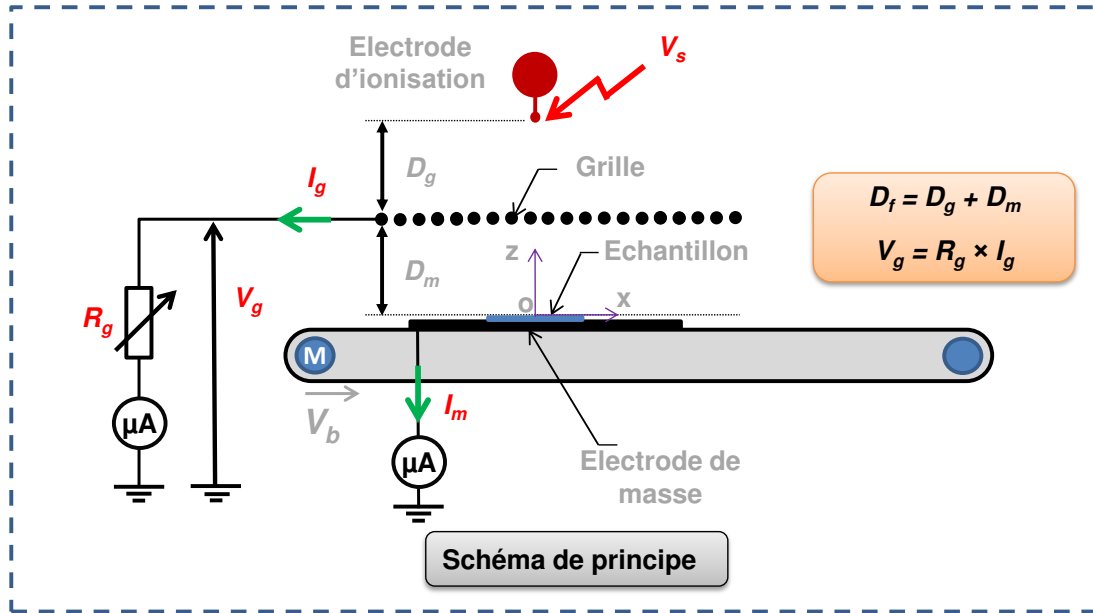
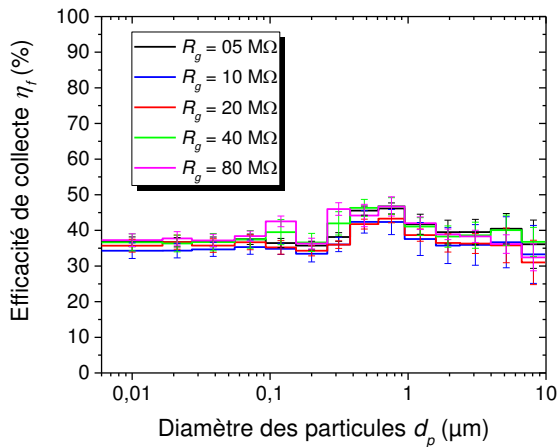


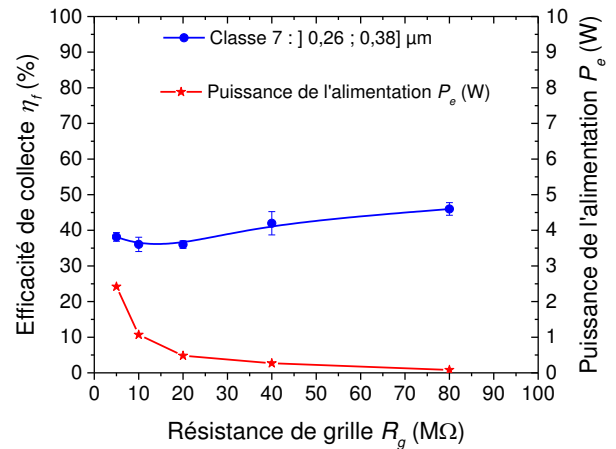
Figure V.11 : Le rôle de la résistance de grille R_g dans le schéma de principe

A. Efficacité de collecte en fonction de R_g pour V_g maintenu à 1 kV

La figure V.12(a) illustre la courbe l'efficacité fractionnaire de collecte pour toutes les classes, et la figure V.12(b) donne particulièrement celle obtenue par la classe 7 en fonction de la résistance de grille R_g .



(a) Efficacité fractionnaire pour différentes valeurs de la résistance de grille R_g



(b) Efficacité de collecte et puissance source en fonction de la résistance de grille pour la classes 7

Figure V.12 : Efficacité de collecte et puissance source en fonction de la résistance de grille R_g pour un potentiel de grille. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 19^\circ\text{C}$ et $HR = 43\%$, $V_s = 9,4$ kV, $V_g = 1$ kV

La variation de la résistance R_g et du courant I_g de manière à obtenir un potentiel de grille constant ne donne pas de résultats intéressants sur l'efficacité de collecte. L'efficacité de collecte est quasiment constante, à cause du potentiel de grille qui ne varie pas. L'effet de la résistance R_g est plutôt observé sur la puissance source P_e , car celle-ci diminue au fur et mesure que R_g augmente. En effet, l'augmentation de la résistance de grille impose une diminution du potentiel source V_s , qui implique une diminution du courant de grille I_g pour maintenir le potentiel de grille constant. Par conséquent seul le produit $(R_g \times I_g)$ influe sur l'efficacité de collecte, comme $(R_g \times I_g)$ est constant ici, l'efficacité de collecte reste aussi constante.

B. Efficacité de collecte pour $R_g = 20 \text{ M}\Omega$ et $80 \text{ M}\Omega$ pour V_g maintenu à 1 kV et 4 kV

Nous avons mesuré l'efficacité de collecte pour deux valeurs du potentiel de grille ($V_g = 1 \text{ kV}$ et 4 kV), ces valeurs sont obtenues à partir de deux valeurs de R_g ($20 \text{ M}\Omega$ et $80 \text{ M}\Omega$), la figure V.13 illustre les résultats. La figure V.13(a) montre une efficacité de collecte quasiment similaire pour les mêmes potentiels de grille sur toutes les classes. La comparaison mise en évidence sur la figure V.13(b) permet de montrer cette similitude en termes d'efficacité de collecte, mais les puissances sources employées pour arriver à ces résultats diffèrent selon la valeur de la résistance de grille utilisée. Plus la résistance de grille est faible, plus la puissance source nécessaire pour imposer le potentiel de grille est importante.

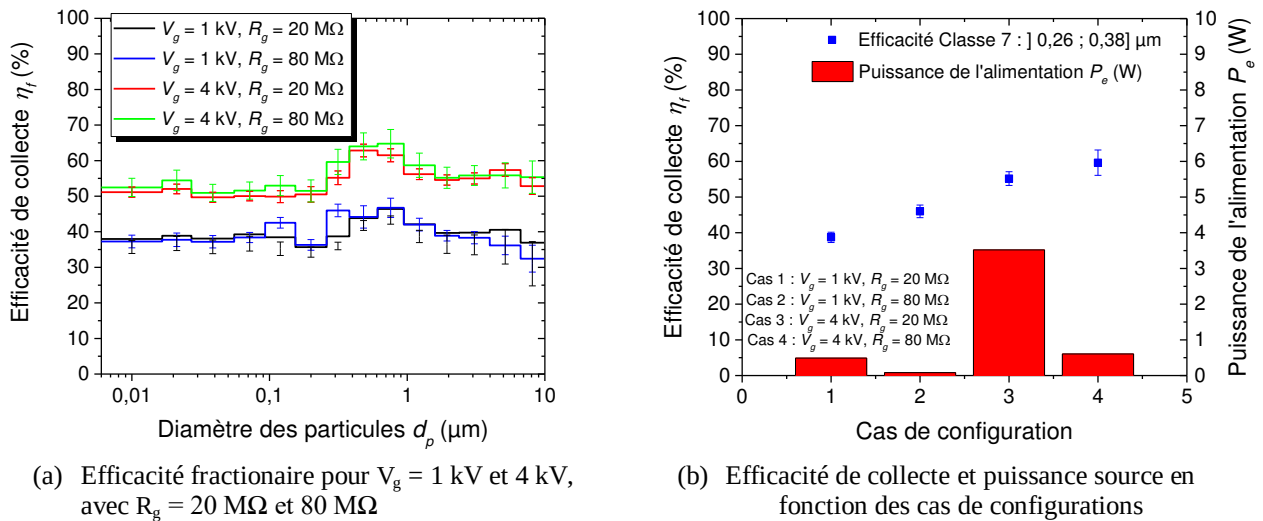
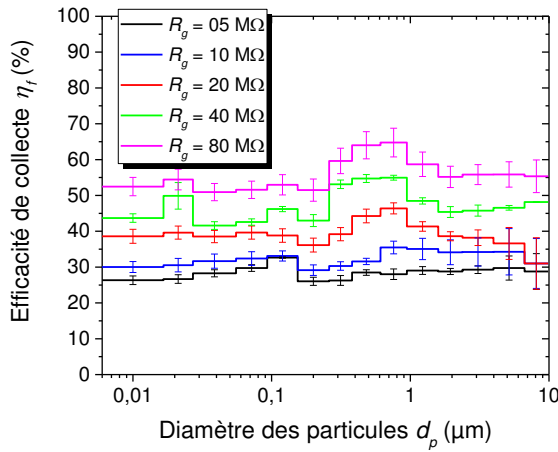


Figure V.13 : Efficacité de collecte et puissance source pour deux valeurs différentes de la résistance de grille.
Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4 \text{ l/min}$, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 19^\circ\text{C}$ et $HR = 43\%$, $R_g = 20 \text{ M}\Omega$ et $80 \text{ M}\Omega$, $V_g = 1 \text{ kV}$ et 4 kV

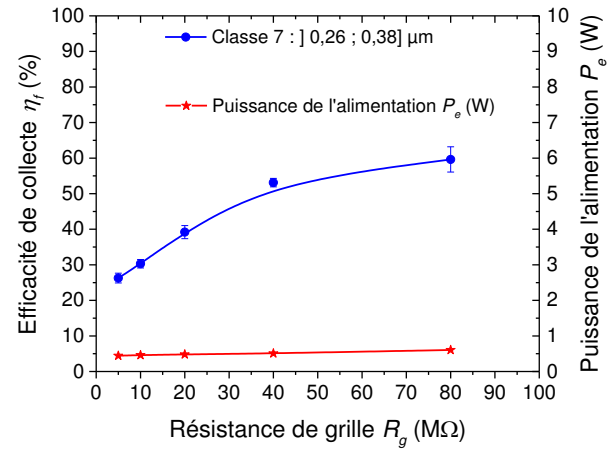
Les observations faites ici nous laissent penser que si la puissance source P_e est maintenue constante, l'augmentation de la résistance de grille permettrait d'améliorer l'efficacité de collecte, nous allons à présent analyser l'influence de la résistance de grille en maintenant constant la puissance source, pour cela on fixera le courant de grille I_g , par exemple à $50 \mu\text{A}$.

C. Efficacité de collecte en fonction de R_g pour I_g maintenu à $50 \mu A$

La figure V.14 montre les résultats obtenus pour une variation de la résistance R_g avec un courant de grille constant ($I_g = 50 \mu A$). Nous constatons que pour un courant de grille constant, l'efficacité de collecte augmente lorsque la résistance de grille augmente, ceci est dû à l'augmentation du potentiel de grille V_g par le produit ($R_g \times I_g$). En effet, L'augmentation de V_g permet d'intensifier le champ électrique crée par le potentiel de grille entre la grille et le plan de masse. Ces résultats sont en accord avec les mesures du potentiel de surface faites au chapitre précédent (chapitre IV).



(a) Efficacité fractionnaire pour différentes valeurs de la résistance de grille R_g



(b) Efficacité de collecte et puissance source en fonction de la résistance de grille pour la classes 7

Figure V.14 : Efficacité de collecte et puissance source en fonction de la résistance de grille R_g pour un courant de grille constant. Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4 \text{ l/min}$, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 19^\circ C$ et $HR = 43\%$, $I_g = 50 \mu A$.

Nous pouvons conclure que l'augmentation de la résistance de grille R_g et du courant de grille I_g par la tension source V_s , favorisent l'augmentation du potentiel de grille V_g , par conséquent une amélioration de l'efficacité de collecte. Nous savons tout de même que cette efficacité atteint une limite car les fibres ne peuvent pas se charger indéfiniment.

V.3. Influence des paramètres géométriques sur l'efficacité de collecte

Dans cette section, nous allons nous intéresser à l'étude de l'influence des paramètres géométriques liés au dispositif de génération de charges sur l'efficacité de collecte, notamment aux distances D_g et D_m respectivement distance fil – grille et grille – média, sans oublier l'influence du mode de charge (mode statique et mode balayage). La figure V.15 nous donne un aperçu des paramètres que nous aborderons dans cette partie.

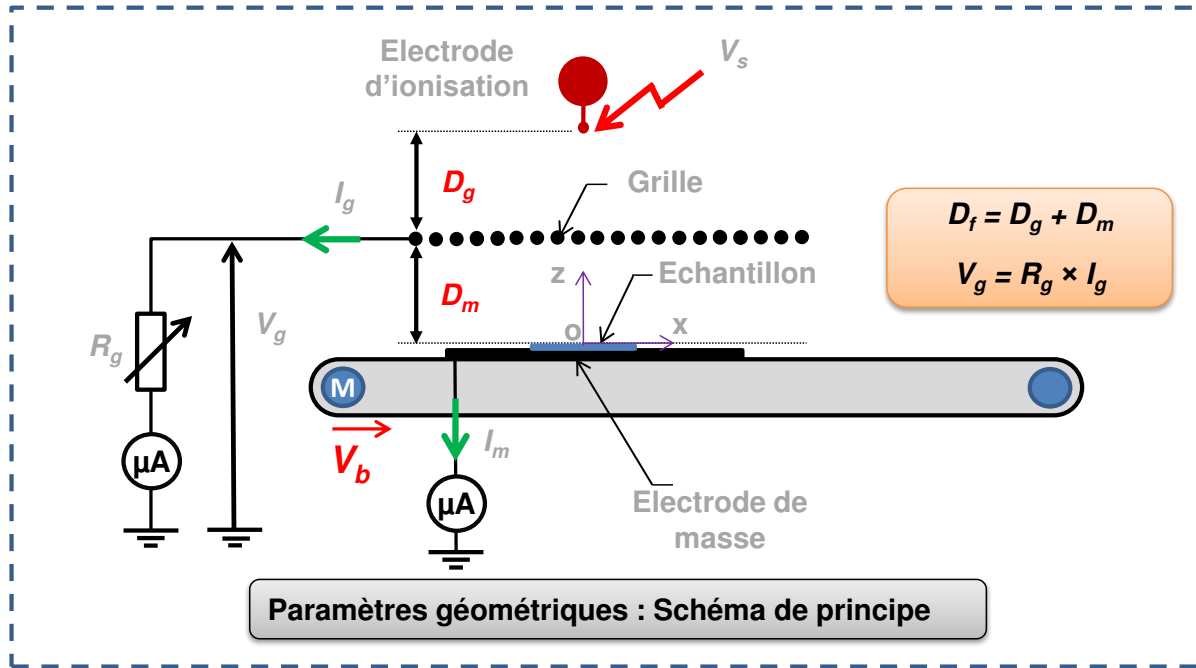


Figure V.15 : Les paramètres géométriques de l'installation pour l'étude d'efficacité de collecte

V.3.1. Distance fil- grille D_g

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à l'influence de la distance D_g sur l'efficacité de collecte, nous avons vu dans le chapitre IV l'influence de cette distance sur la distribution du potentiel de surface. Nous savons que la variation de la distance D_g influe sur l'état de charge du média. Lorsque le potentiel source est maintenu constant, l'augmentation de D_g fait diminuer le niveau de charge du média, mais favorise un élargissement de la zone de dépôt de charges. Nous allons analyser l'efficacité de collecte pour un potentiel de grille V_g et un courant I_m constants.

A. Efficacité de collecte en fonction de D_g pour V_g maintenu à 1 kV

La figure V.16(a) nous montre l'efficacité de collecte pour la classe 7 en fonction de la distance D_g fil – grille, tandis que la figure V.16(b) présente les caractéristiques électriques lors de la charge du média. Tout d'abord, les résultats obtenus ici montrent qu'il est nécessaire d'augmenter considérablement le potentiel source pour maintenir le potentiel de grille constant lorsque la distance D_g augmente. Nous remarquons que le potentiel source V_s est quasi-proportionnel à la distance D_g . Cependant l'effet attendu sur l'efficacité de collecte n'est pas très significatif. L'augmentation de la distance D_g impose une augmentation de la tension source V_s pour maintenir constant le potentiel de grille V_g . L'augmentation du courant I_m , observée sur la figure V.16(b), est due en partie à l'accroissement du potentiel source mais aussi à l'élargissement de la zone de dépôt de charges.

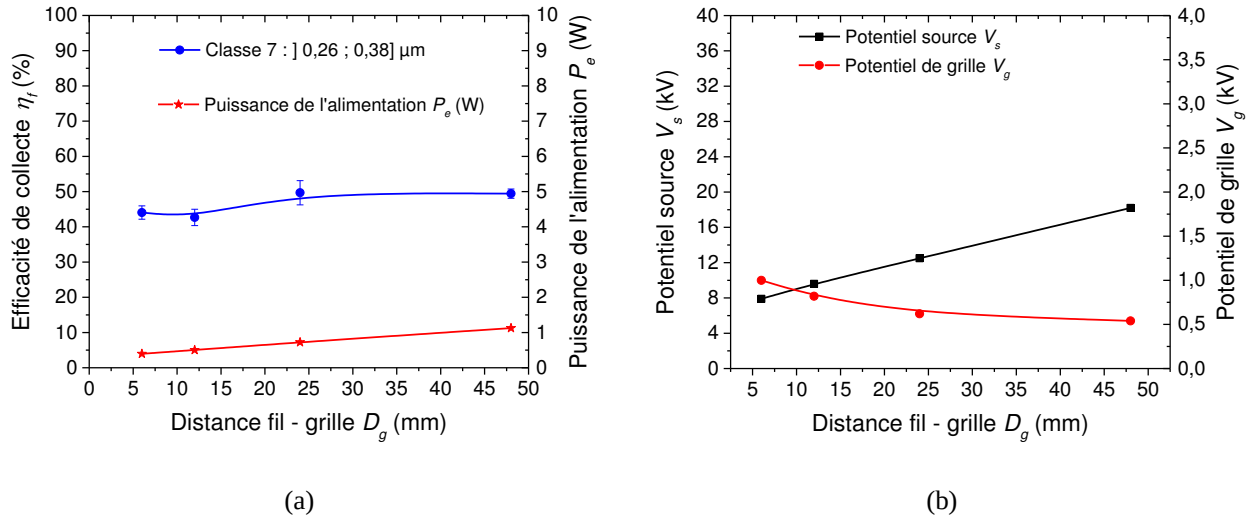


Figure V.16 : (a) Efficacité de collecte η_t et puissance source P_e en fonction de D_g , (b) potentiel source V_s et courant I_m en fonction de D_g . Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_m = 10$ mm, $T = 17^\circ\text{C}$ et $HR = 28\%$, $V_g = 1$ kV.

En modifiant la distance D_g , nous modifions en quelque sorte l'intensité du champ électrique moyen entre le fil de l'électrode couronne et la grille, à condition bien sûr que le potentiel source soit constant. Dans ce cas de figure (V_s constant), l'augmentation de D_g induirait une baisse du courant de grille I_g , et par conséquent une diminution du potentiel de grille V_g qui aurait pour conséquence une baisse de l'état de charge et de l'efficacité de collecte. Ici l'augmentation de la distance D_g est compensée par l'augmentation du potentiel source V_s , ce qui permet de maintenir constant le potentiel de grille, par conséquent le champ électrique moyen entre la grille et le plan de masse. Dans ces conditions, l'efficacité de collecte restera constante, l'élargissement de la zone de dépôt de charges a très peu d'influence sur l'état de charge globale du média et par conséquent de l'efficacité de collecte. De plus, les particules qui suivent l'écoulement du gaz seront nombreuses au centre par rapport au bord du média.

Nous avons ici un courant I_m qui augmente de manière significative, mais l'efficacité de collecte ne suit pas cette évolution. Nous déduisons que le courant I_m , comparé au potentiel de grille, participe très peu à l'amélioration de l'efficacité de collecte. Pour confirmer cette hypothèse, nous allons maintenir constant le courant I_m et nous allons analyser l'efficacité de collecte pour différentes valeurs de la distance D_g .

B. Efficacité de collecte en fonction de D_g pour I_m maintenu à 1 μA

La figure V.17(a) illustre les résultats d'efficacité de collecte obtenus pour un courant I_m constant. L'augmentation de la tension source V_s (figure V.17(b)) permet ici d'ajuster le courant I_m pour le maintenir constant. L'augmentation de la distance D_g nécessite une augmentation de la tension source V_s pour maintenir constant le courant I_m . L'augmentation de la tension source fait

augmenter légèrement la puissance source P_e , cependant l'efficacité de collecte ne suit pas l'allure de la tension source. L'efficacité de collecte baisse légèrement à l'image du potentiel de grille qui baisse aussi légèrement.

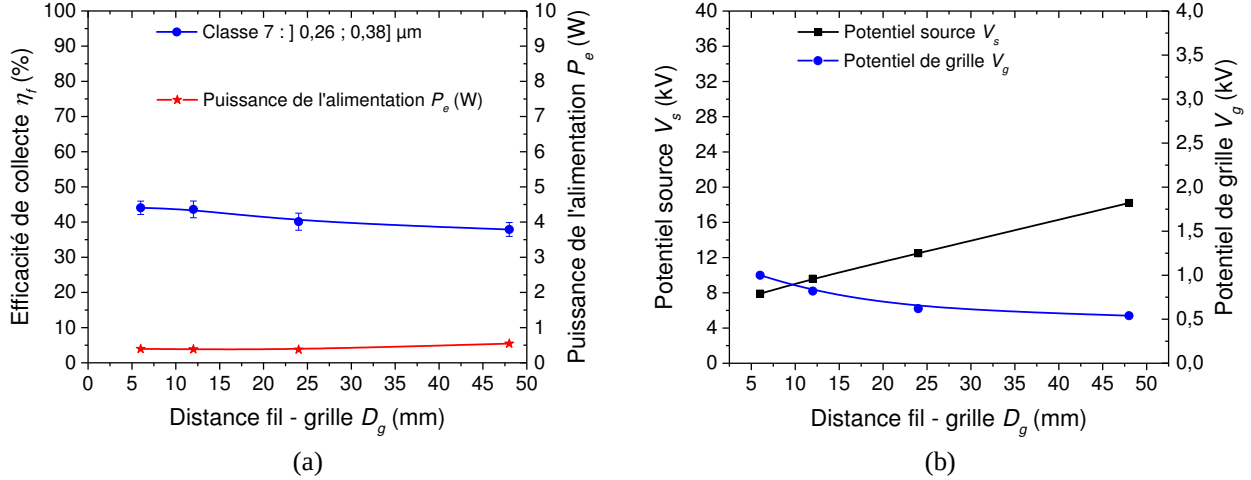


Figure V.17 : (a) Efficacité de collecte η_f et puissance source P_e en fonction de D_g , (b) potentiel source V_s et potentiel de grille V_g en fonction de la distance D_g . Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_m = 10$ mm, $T = 17^\circ\text{C}$ et $HR = 26\%$, $I_m = 1 \mu\text{A}$.

Ces résultats soulignent le facteur prépondérant qui influence l'efficacité de collecte, il s'agit du potentiel de grille V_g . Nous pouvons conclure que l'efficacité de collecte est influencée par la distance D_g lorsque le potentiel de grille est affecté. La variation de la distance D_g affecte le potentiel de grille que dans certaines conditions bien définies comme par exemple pour une tension source fixe.

V.3.2. Distance grille – média D_m

Après avoir étudié l'effet de D_g , nous allons à présent étudier l'influence de D_m . Comme nous l'avons fait pour l'étude de D_g , nous étudierons l'efficacité de collecte en fonction de D_m pour un potentiel de grille V_g constant puis pour un courant I_m constant.

A. Efficacité de collecte en fonction de D_m pour V_g maintenu à 1 kV

Les résultats d'efficacité de collecte sont donnés sur la figure V.18(a), La figure V.18(b) quant à elle, nous donne les caractéristiques courant I_m et tension source pour les différentes distances D_m . Etant donné que la distance D_g est fixée, la variation de la distance D_m n'influence pas le potentiel de grille et la puissance source P_e , ce qui permet d'imposer le même potentiel de grille V_g pour les différentes valeurs de D_m . Les résultats montrent une baisse du courant I_m lorsque la distance D_m augmente, ceci se traduit par une baisse de l'efficacité de collecte. La décroissance du courant I_m s'explique par la baisse du champ électrique entre la grille et le plan de masse, lorsque D_m augmente. Comme le potentiel de grille est constant ici, nous nous

attendons à obtenir une efficacité de collecte constante. Nous savons que l'intensité du champ électrique moyen entre la grille et le plan de masse est inversement proportionnelle à la distance D_m ($E_{\text{moy}} = V_g / D_m$). Par conséquent, en maintenant constant le potentiel V_g , ce champ diminuera lorsque la distance D_m augmente, ce qui permet d'expliquer la baisse de l'efficacité de collecte et du courant I_m sur les deux figures.

Pour des valeurs de D_m proches de 40 mm, l'efficacité de collecte se stabilise. En effet, les mesures du potentiel de surface (chapitre IV) ont montré que l'augmentation de D_m permet d'élargir la zone de dépôt de charges au détriment de l'importance du niveau de charge, nous pouvons alors expliquer la stabilisation de l'efficacité ici par le gain de charges dû à l'élargissement de la zone de dépôt.

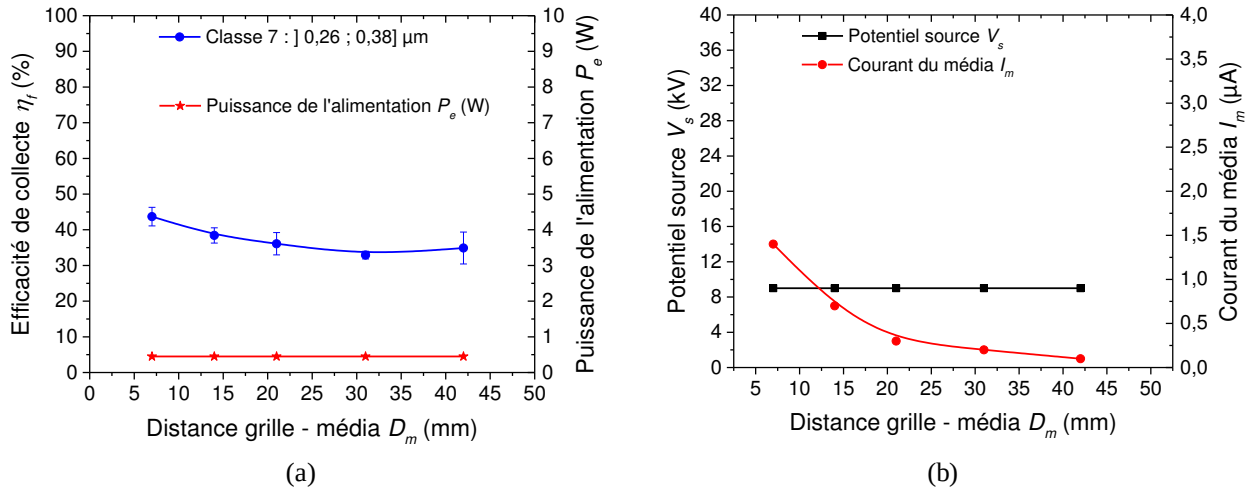


Figure V.18 : (a) Efficacité de collecte η_f et puissance source P_e en fonction de D_m , (b) potentiel source V_s et courant I_m en fonction de D_m . Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_g = 10$ mm, $T = 18^\circ\text{C}$ et $HR = 27\%$, $V_g = 1$ kV.

Les résultats obtenus ici laissent penser que si nous maintenons constant le courant I_m , alors l'augmentation de la distance D_m jouerait en faveur de l'efficacité de collecte, car pour ajuster le courant I_m il faudrait augmenter la tension source, et comme l'augmentation de D_m permet d'élargir la zone de dépôt de charges, alors cela ne pourrait qu'améliorer l'état de charge, par conséquent l'efficacité de collecte.

B. Efficacité de collecte en fonction de D_m pour I_m maintenu à 1 μA

La figure V.19(a) illustre ici les résultats d'efficacité de collecte obtenus pour un courant I_m constant pour la classe 7. L'augmentation de la tension source V_s (figure V.19(b)) permet ici d'ajuster le courant I_m pour le maintenir constant. L'augmentation de la tension source implique une augmentation de la puissance source P_e et du potentiel de grille V_g (figure V.19(b)).

L'efficacité de collecte suit l'évolution du potentiel de grille, celle-ci croît au fur et à mesure que V_g augmente.

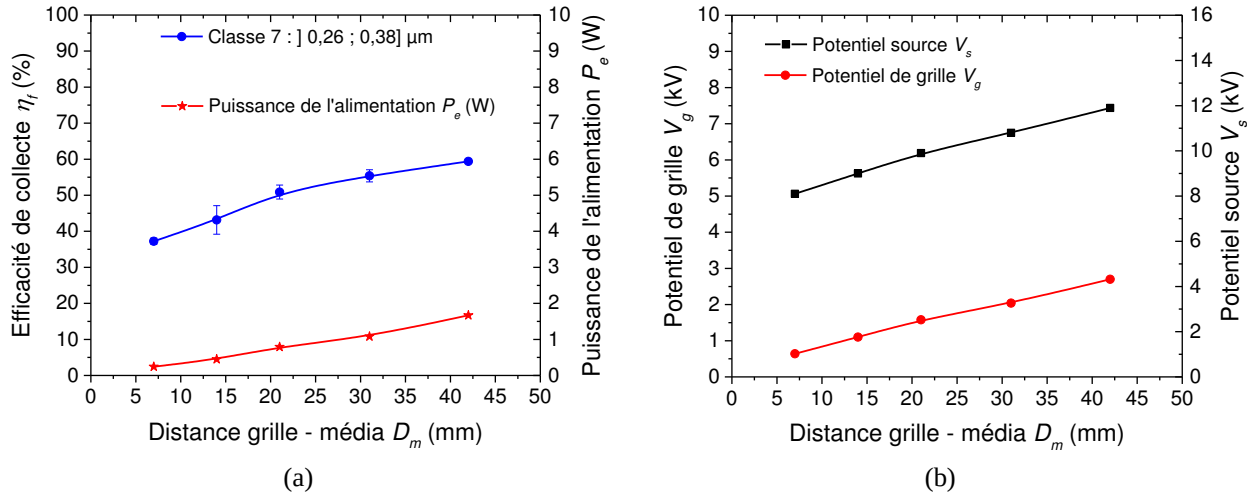


Figure V.19 : (a) Efficacité de collecte η_f et puissance source P_e en fonction de D_m , (b) potentiel source V_s et potentiel de grille V_g en fonction de la distance D_m . Conditions expérimentales : Lot 1, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $D_g = 10$ mm, $T = 18^\circ\text{C}$ et $HR = 25\%$, $I_m = 1 \mu\text{A}$.

Les résultats obtenus dans l'étude des paramètres D_g et D_m permettent de conclure que l'influence de ces paramètres sur l'état de charge et l'efficacité de collecte des médias filtrants dépend des conditions expérimentales, c'est l'association de plusieurs paramètres (électriques, géométriques, nature du média) qui conduit à l'amélioration de l'état de charge et l'efficacité de collecte.

V.3.3. Mode de charge des médias

Nous savons que le mode de charge statique ne permet pas de charger les échantillons de manière homogène comme on peut le voir sur la figure V.20(a). En effet, les charges se concentrent plus sur la zone de l'échantillon sous l'électrode active. Pour remédier au problème d'homogénéité de la charge, nous avons tenté d'augmenter les distances D_g et D_m , mais les résultats ont montré une consommation d'énergie plus importante pour un résultat modeste sur l'état de charge. Pour se projeter sur un processus d'industrialisation, nous allons charger les échantillons en mode dit « en balayage » (voir figure V.20(b)).

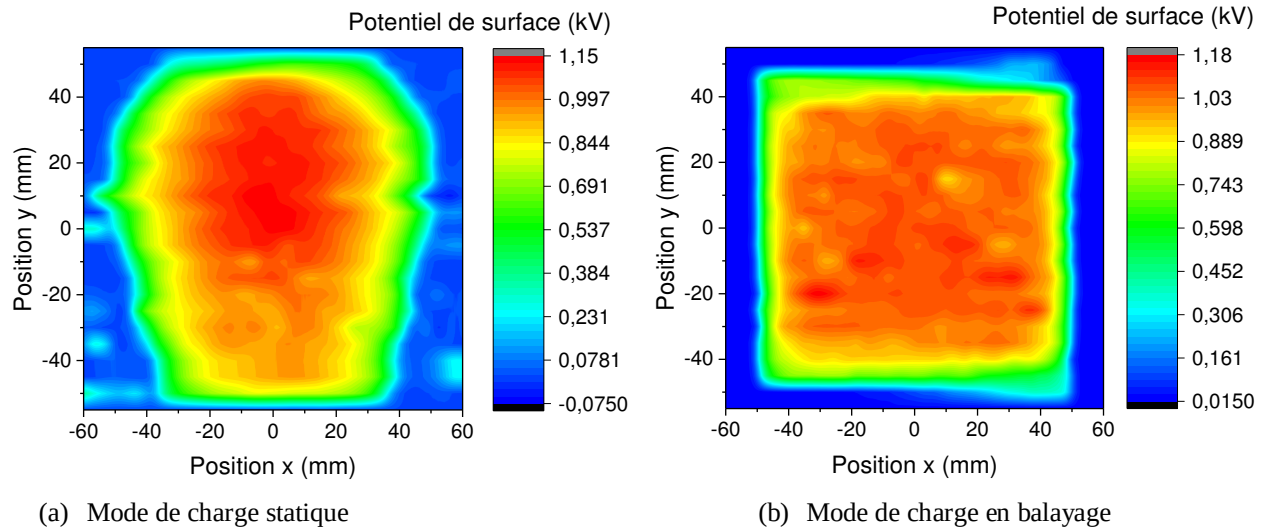


Figure V.20 : Distribution du potentiel de surface en 2D en fonction du mode de charge pour des échantillons carrés. Conditions expérimentales : Lot 1, $l = L = 100$ mm, $D_g = D_m = 10$ mm, $T = 24^\circ\text{C}$ et $HR = 43\%$, $V_g = 1$ kV.

Nous rappelons qu'en mode statique, l'échantillon est positionné sous l'électrode, le fil de l'électrode se trouve aligné avec la médiane de l'échantillon suivant l'axe des y. Pour le mode en balayage, l'échantillon se trouve à 135 mm du centre de l'électrode comme le montre la figure V.21.

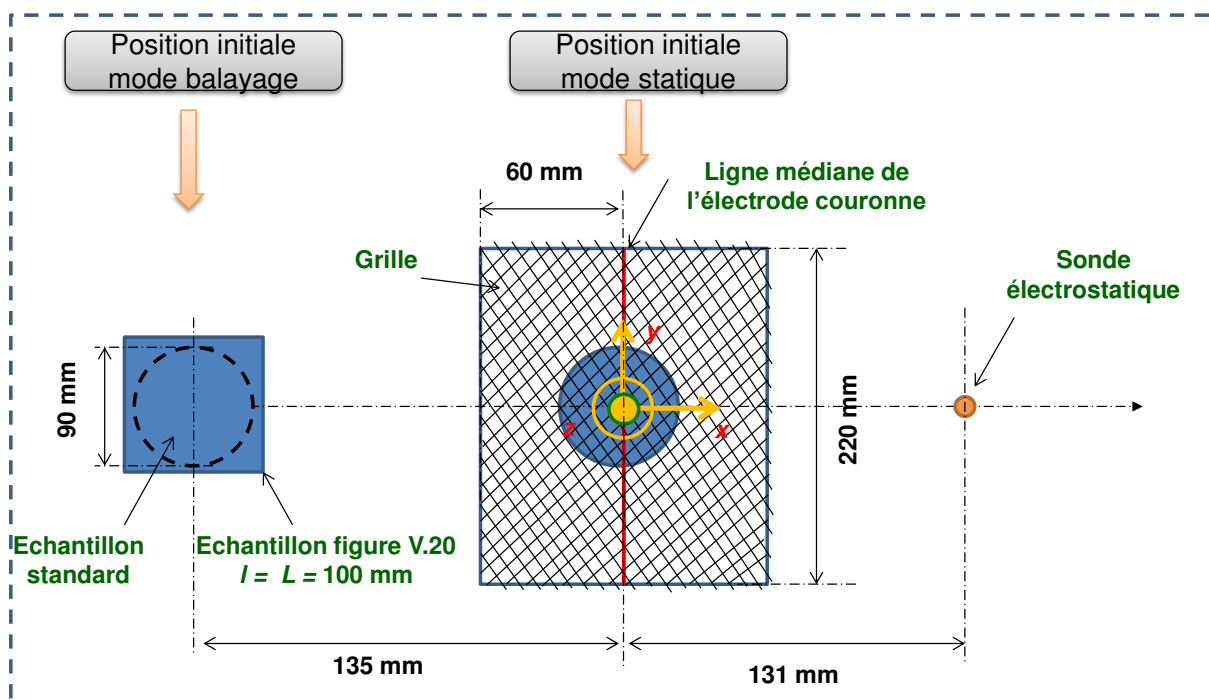


Figure V.21 : Positionnement de l'échantillon en mode de charge statique et en balayage

La figure V.22 compare l'efficacité de collecte en mode balayage et en mode statique ($V_b = 0 \text{ mm.s}^{-1}$) pour la configuration triode. Les résultats obtenus ici ne montrent pas de différences significatives. Nous constatons une augmentation légère lorsque la vitesse de balayage augmente. En effet, en début de la décharge couronne le courant de décharge est toujours supérieur à celui souhaité. L'augmentation de la vitesse de balayage réduit la durée de passage de l'échantillon, le courant n'étant pas encore stabilisé à la valeur souhaitée, l'échantillon se retrouve chargé à un potentiel légèrement supérieur à celui consigné.

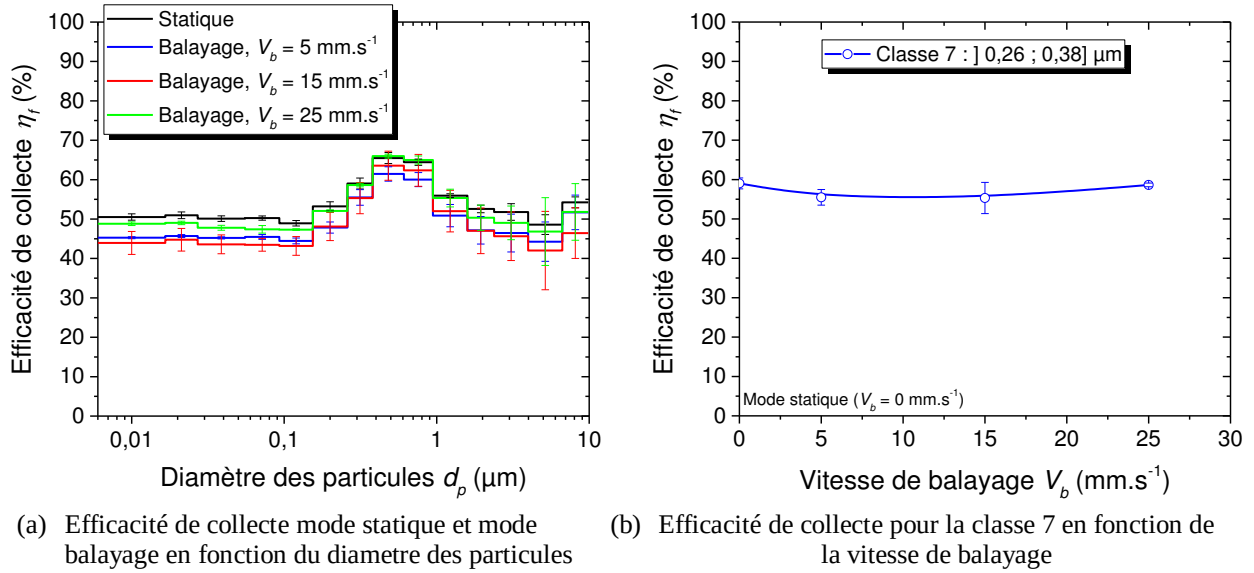


Figure V.22 : Comparaison mode de charge statique et mode balayage. Conditions expérimentales : Lot 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, $D_g = D_m = 10 \text{ mm}$, $T = 28^\circ\text{C}$ et $\text{HR} = 51\%$, $V_b = \{5, 15, 25\} \text{ mm.s}^{-1}$, $V_g = 4 \text{ kV}$, $V_s = 14,5 \text{ kV}$.

La différence obtenue sur la distribution du potentiel de surface entre le mode balayage et le mode statique (figure V.20) présage une efficacité de collecte meilleure en mode balayage, comparé au mode de charge statique. Cependant les dimensions du support du filtre ne permettent pas d'exploiter toute la surface de l'échantillon. En effet, la vitesse de déplacement des particules est importante sur une zone de 30 mm de diamètre en partant du centre du support (figure V.23). Dans ces conditions, le mode de charge statique est meilleur car la charge est plus intense aux alentours de la ligne médiane de l'échantillon. Dans ces conditions expérimentales, il est difficile de montrer l'intérêt du mode de charge en balayage sur l'efficacité de collecte. Nous savons toute de même avec les mesures du potentiel de surface que ce mode de charge offre une meilleur distribution et homogénéité de la charge.

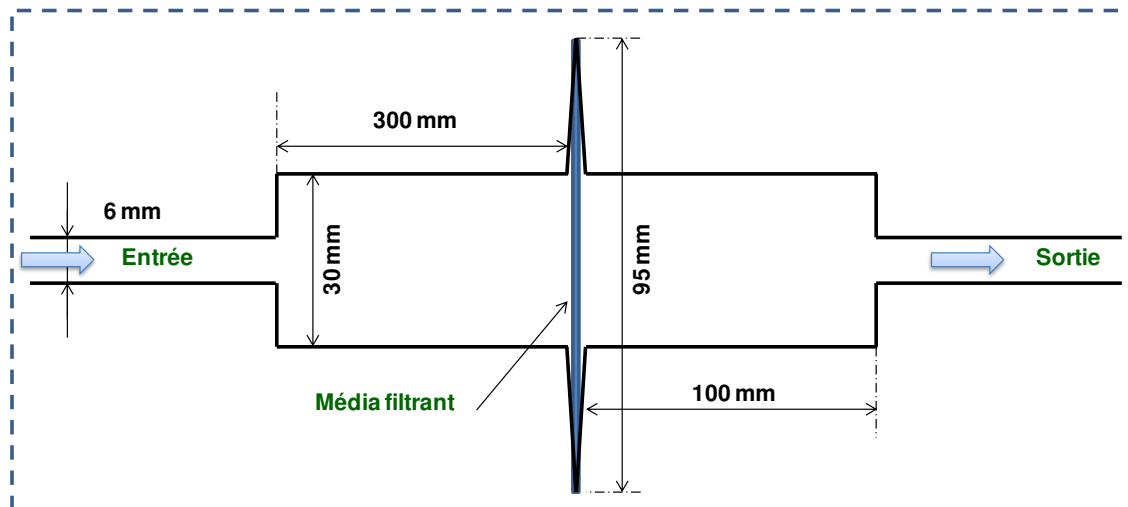


Figure V.23 : Les dimensions du support du filtre

V.4. Autres facteurs influant l'efficacité de collecte

Dans cette dernière section, nous allons étudier d'autres facteurs qui influent sur l'efficacité de collecte notamment le seuil et débit de filtration, la nature des échantillons, la durée d'exposition de l'échantillon et enfin la densité massique du media qui comprend d'une part la masse surfacique des échantillons et d'autre part l'empilement des échantillons en plusieurs couches.

V.4.1. Débit de filtration de particules

Nous présenterons ici les effets liés à l'influence du débit de filtration. La figure V.24 montre les mesures de concentration de particules et d'efficacité de collecte de la classe 7 pour trois débits (0,5, 1,9 et 5 l.min⁻¹). Ces résultats mettent en évidence une décroissance de l'efficacité de collecte lorsque le débit de particules augmente.

Des études menées par Balazy et Coll [94] pour des débits d'air variant de 10 à 30 cm.s⁻¹ avec des particules de 10 nm à 500 nm, ont montré que l'efficacité de filtration globale diminuait avec l'augmentation du débit d'air. En utilisant des nanoparticules d'argent de 3 nm à 20 nm pour des vitesses de filtration variant de 5 à 15 cm.s⁻¹, Kim et Coll [20] ont montré qu'une vitesse de filtration élevée engendrait une augmentation du taux de pénétration. Tous ces résultats convergent vers la même conclusion, à savoir, qu'un temps de séjour court dû à une augmentation de la vitesse de filtration favorise la pénétration de particules. Cela est aussi valable dans le cas des médias chargés.

Le débit d'air peut influencer l'action des mécanismes de capture (diffusion, interception et électrostatique), ainsi à vitesse élevée la captation de particules par ces mécanismes est réduite, contrairement à faible vitesse où ces mécanismes contribuent significativement à la capture des particules à cause d'un temps de séjour plus long. Les travaux de Coll avec Kousaka confirment ces résultats [20].

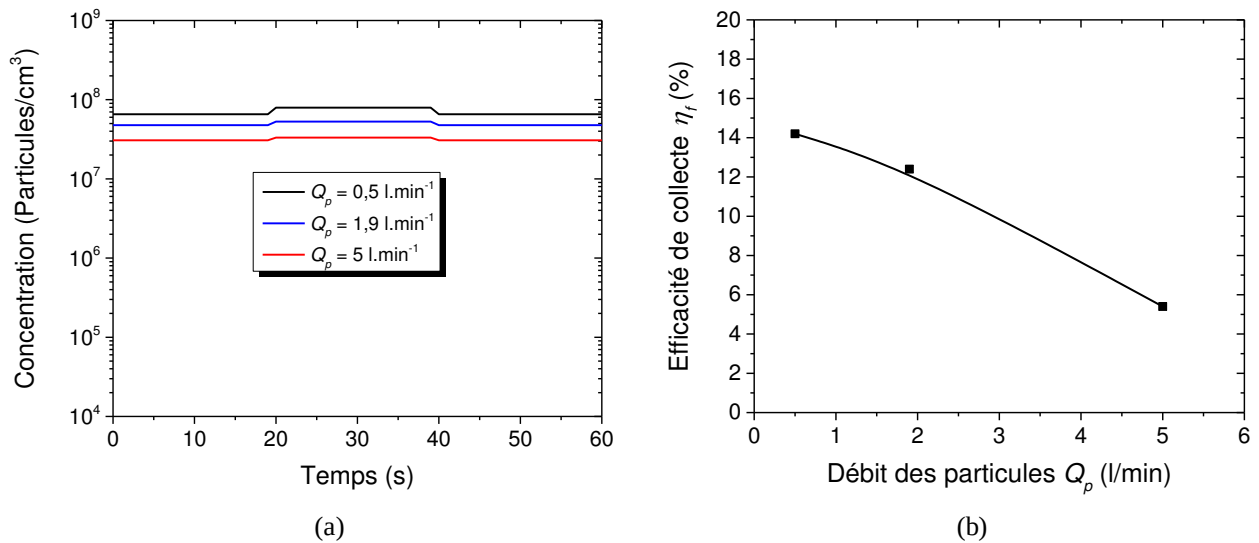


Figure V.24 : (a) Evolution temporelle de la mesure de la concentration moyenne de particules pour trois débits, (b) variation de l'efficacité de collecte en fonction du débit d'air des particules. Conditions expérimentales : Lot 1, $\phi = 90 \text{ mm}$, sans dépôt de charges, $T = 19^\circ\text{C}$ et $HR = 33\%$, classe 7 :] 0,26 ; 0,38] μm , débit des particules $Q_p = \{0,5, 1,9 \text{ et } 5 \text{ l.min}^{-1}\}$.

V.4.2. Lot des échantillons

Nous allons comparer l'efficacité de collecte obtenu à partir de trois lots venant de différents fournisseurs, tous les échantillons sont des tissus non-tissés en polypropylène, leurs caractéristiques sont décrites dans le tableau V.1.

Tableau V.1: Echantillons non-tissés en polypropylène venant de différents fournisseurs

Lot	Référence	Grammage (g/m^2)	Epaisseur (mm)	Fournisseur
1	Echantillon bleu classique	42,4		NC
2	Echantillon bleu marine	64,4		Ideatiss
3	N70	78,6		Filtreri

Le tableau V.2 représente les différents cas étudiés pour la comparaison des trois lots.

Tableau V.2: Cas étudiés pour la comparaison des trois lots

Cas	Configuration	Potentiel source V_s (kV)	Potentiel de grille V_g (kV)
1	Sans charges	0	0
2	Triode	9,7	1
3	Triode	14,4	4
4	Fil – plan	15	-

Nous allons nous intéresser ici principalement à l’étude de l’efficacité de collecte de l’étage 7 qui correspond aux particules de la classe :] 0,26 ; 0,38] μm . La figure V.25 illustre l’efficacité de collecte des lots 1 à 3 pour la classe 7, les quatre cas du tableau V.2 sont présentés sur la figure. En termes d’efficacité, le lot 1 offre de meilleurs résultats par rapport aux autres, il bénéficie d’un seuil de filtration plus bas, de plus il conserve bien la charge, comparé aux autres échantillons. L’association des actions mécaniques et des forces électrostatiques permettent à cet échantillon d’avoir une efficacité de collecte proche de 80% en configuration fil – plan.

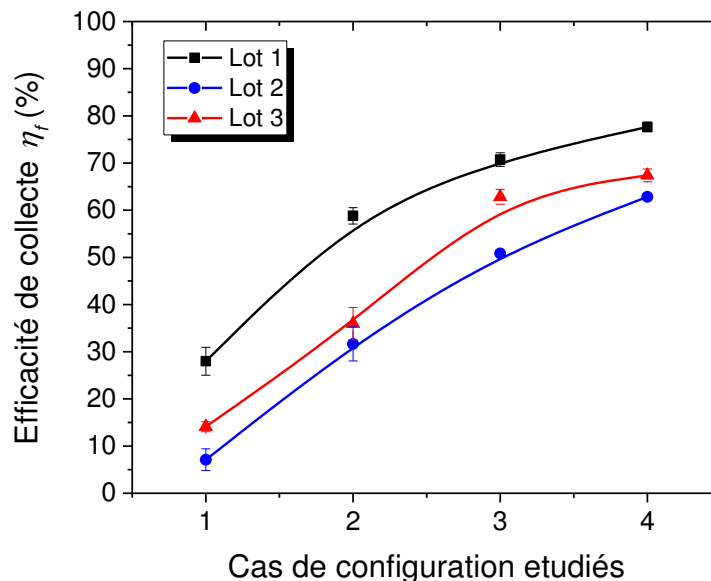


Figure V.25 : Efficacité de collecte des différents lots pour différents niveaux de charge. Conditions expérimentales : Diamètre des échantillons $\phi = 90 \text{ mm}$, débit particules $Q_p = 4 \text{ l/min}$, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 23^\circ\text{C}$ et $HR = 42\%$.

Les résultats obtenus précédemment (figure V.25) placent en première position le lot 1. En termes de grammage le lot 1 est plus léger par rapport aux autres, nous allons à présent étudier l’effet du grammage.

V.4.3. Masse de l’échantillon (grammage)

Nous utiliserons ici principalement les échantillons du lot N°3 (tissu Filtreri) qui sont référencés par masse de 30 g/m^2 à 100 g/m^2 . La figure V.26 donne les résultats de l’efficacité de collecte de la classe 7 pour différents cas de configuration.

Les résultats obtenus ici permettent de souligner l’importance de la masse de l’échantillon, l’augmentation de celle-ci favorise l’efficacité de collecte jusqu’à un certain seuil. En effet, l’augmentation de la quantité de matière permet de réduire la porosité tout en augmentant la densité volumique des fibres, ceci a pour conséquence une augmentation de la capacité de piégeage des ions mais aussi de la perte de charge. Au-delà d’un certain seuil de la

masse de l'échantillon, les ions ont du mal à retrouver un chemin vers le plan de masse à cause de résistance électrique équivalente du matériau qui augmente au fur et à mesure que la masse de l'échantillon augmente. Dans ces conditions, le champ électrique moyen peut diminuer ce qui causerait un dépôt de charges moins important. Les mesures de charges effectuées dans le chapitre IV ont confirmé ces résultats. Pour approfondir l'effet du grammage, nous allons analyser l'effet de l'empilement des échantillons sur l'efficacité de collecte.

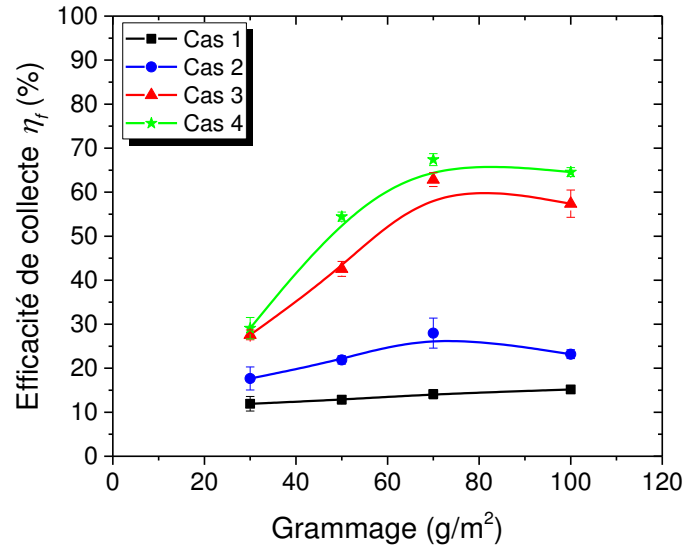


Figure V.26 : Efficacité de collecte en fonction du grammage pour différents niveaux de charge. Conditions expérimentales : Echantillons du lot 3, $\phi = 90$ mm, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 23^\circ\text{C}$ et $\text{HR} = 42\%$.

V.4.4. Empilement des échantillons (multicouches)

Nous analyserons l'effet de l'empilement des échantillons sur deux cas, premièrement lorsque les échantillons sont chargés simultanément avant empilement et deuxièmement lorsque les échantillons sont chargés séparément après empilement.

A. Chargement simultané des échantillons

Nous avons l'efficacité de collecte sans dépôt de charges (figure V.27(a)), ainsi que celle obtenue pour un potentiel de grille de 4 kV (figure V.27(b)), pour 1, 2 et 4 couches d'échantillons empilés. Les résultats montrent clairement que l'augmentation du nombre de couche favorise les mécanismes de capture d'origines mécaniques (diffusion, interception et impaction inertielle). Cependant l'efficacité de collecte avec dépôt de charges baisse à partir de 4 couches empilées. En effet, par rapport à la tension source appliquée, pour 4 couches empilées les ions ont du mal à rejoindre le plan de masse. Nous pouvons supposer que le dépôt de charges ne s'effectue pas de manière optimum à cause de la résistance électrique du matériau qui augmente en fonction du

nombre de couches. Ce résultat rejoint celui obtenu précédemment lors de l'étude du grammage, il confirme la même hypothèse.

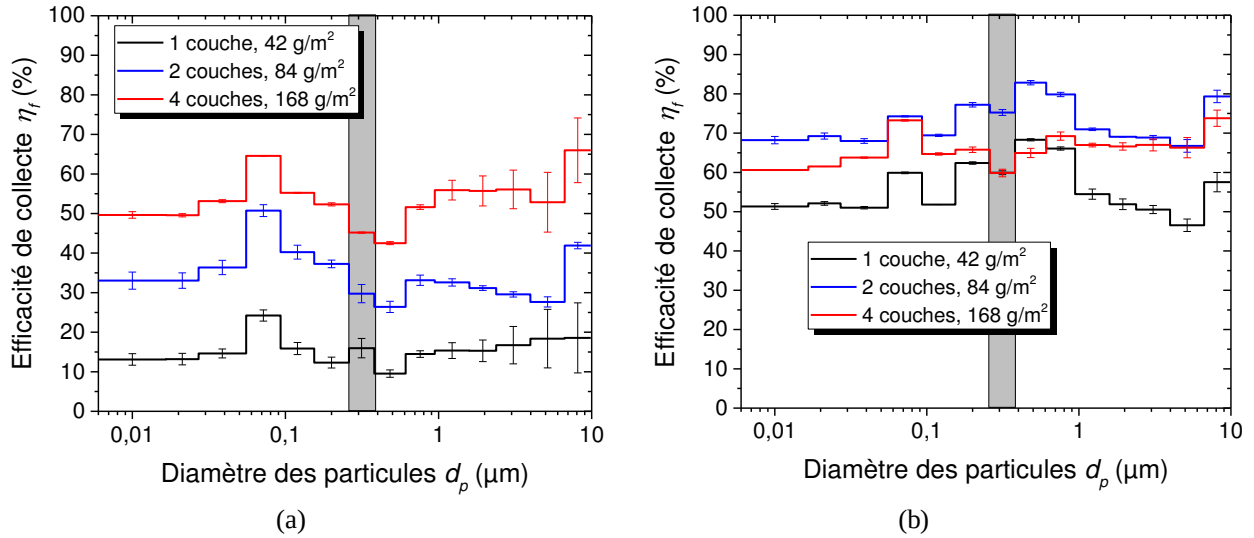


Figure V.27 : Efficacité de collecte en fonction du nombre de couches empilées, (a) sans et (b) avec dépôt de charges. Conditions expérimentales : Lot 1, $\phi = 90$ mm, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ et $HR = 48\%$, mode de charge simultané, $V_s = 14,4$ kV pour $V_g = 4$ kV

Nous venons de confirmer l'effet du grammage en chargeant les échantillons simultanément, dans l'étude qui va suivre, les échantillons seront chargés séparément (un par un) puis assemblés par groupe de deux et quatre pour étudier l'efficacité de collecte.

B. Chargement indépendant des échantillons

La figure V.28(b) montre les résultats d'efficacité de collecte en mode de charge séparé pour un potentiel de grille de 4 kV. Contrairement à ce que nous avons obtenu précédemment, l'efficacité de collecte augmente en fonction du nombre de couches, nous arrivons à atteindre 98% d'efficacité de collecte à partir de 4 couches empilées pour la classe 8. Chaque échantillon ayant été chargé avec un potentiel de grille de 4 kV, l'association des échantillons permet d'amplifier le niveau de charge et de réduire la porosité, ces deux actions combinées favorisent la capture des particules. Nous pouvons conclure que l'augmentation du nombre de couches en mode de charge séparé amplifie les actions des mécanismes de capture (électrostatiques et mécaniques).

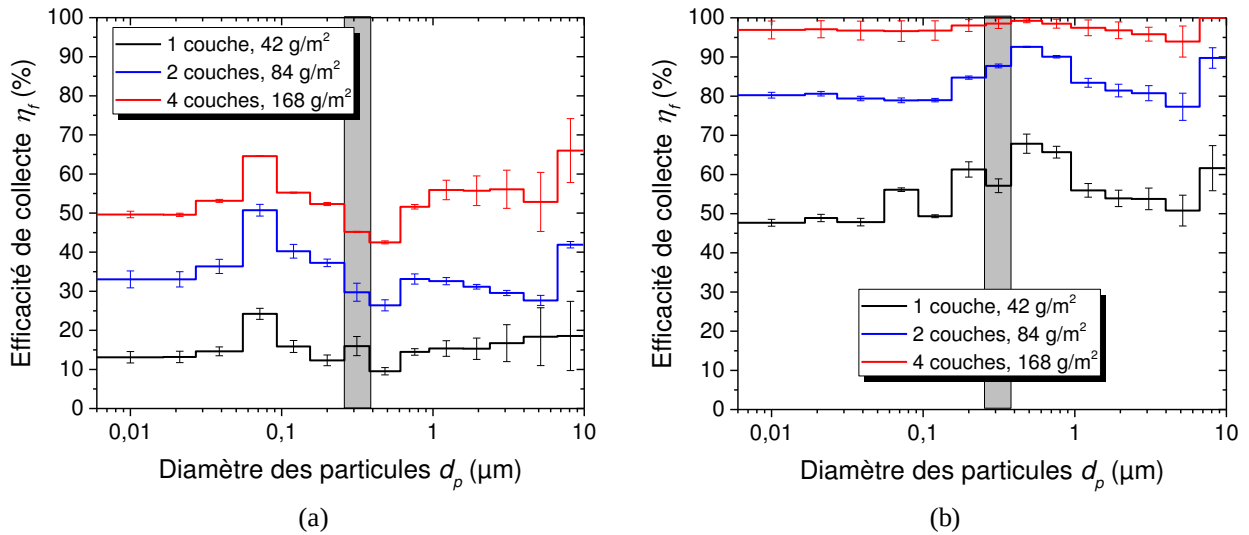


Figure V.28 : Efficacité de collecte en fonction du nombre de couches empilées, sans (a) et avec (b) dépôt de charges. Conditions expérimentales : Lot 1, $\phi = 90$ mm, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ et $HR = 48\%$, mode de charge séparé, $V_s = 14,4$ kV pour $V_g = 4$ kV

C. Comparaison de l'efficacité de collecte en fonction du mode de charge

Une comparaison des deux modes de charge « simultané » et « séparé » en fonction du nombre de couches est montrée sur la figure V.29. Ces résultats permettent de conclure que le mode de charge séparé en multicouche donne des meilleurs résultats, ce mode de charge profite de la charge optimale d'un échantillon compte tenu de sa masse par unité de surface qui est légère (42 g/m²). La charge acquise par un seul échantillon est ensuite amplifiée par le nombre de couches, ce qui justifie les bons résultats d'efficacité de collecte. Nous n'aurions pas obtenu de résultats similaires si dès le départ l'échantillon était plus épais, la charge que recevrait l'échantillon serait faible, seul l'action des forces mécaniques seraient prépondérantes dans ces conditions.

Lorsque nous comparons l'efficacité de collecte en fonction du nombre de couches pour les médias chargés individuellement ou simultanément par rapport à l'efficacité obtenue sans dépôt de charges nous constatons que le rapport entre efficacité avec charge et efficacité sans charge est meilleur pour une seule couche. Ceci veut dire que les médias perdent leur charge initiale après la mise en sandwich des échantillons. Cependant, la multiplication du nombre de couche permet tout de même d'augmenter l'efficacité de collecte, et l'efficacité est meilleure lorsque les échantillons sont chargés individuellement. Dans ces conditions de charge nous affranchissons le problème lié au grammage, ce qui va permettre d'avoir un dépôt de charge optimum pour chaque media.

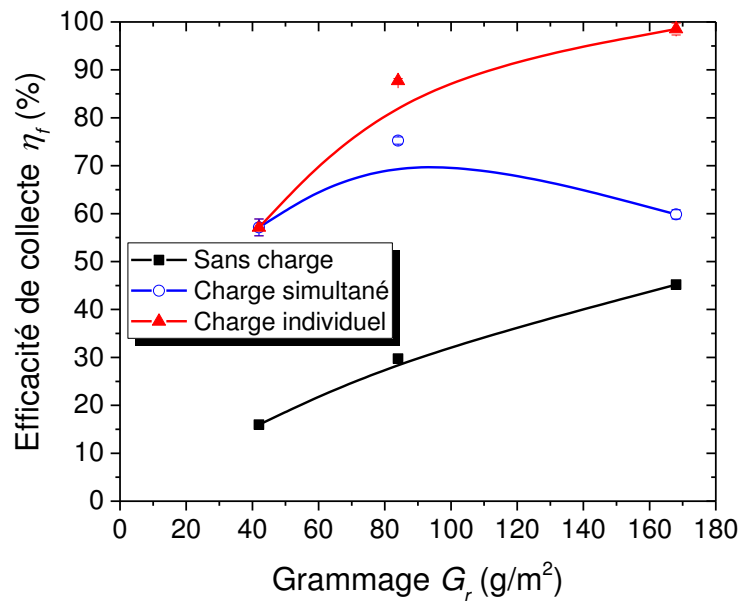


Figure V.29 : Comparaison de l'efficacité de collecte en fonction du nombre de couches empilées en mode de charge « séparé » et « simultané ». Conditions expérimentales : Etage 7 :] 0,26 ; 0,38] μm , Lot 1, $\phi = 90$ mm, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ et $HR = 48\%$, $V_s = 14,4$ kV pour $V_g = 4$ kV.

V.4.5. Durée d'exposition de l'échantillon

Nous allons maintenant analyser l'efficacité de collecte en fonction de la durée d'exposition à la décharge couronne pour différents niveaux et durées de charge. Pour cela, les échantillons seront chargés à un certain niveau de charge ($V_g = 1$ kV et 4 kV), puis la combustion du bâton d'encens sera lancée en continu pour la génération des particules. A chaque fois qu'un bâton sera consumé, un autre le remplacera pour garder la continuité de génération de particules. Les mesures d'efficacité de collecte seront faites durant les phases stables de la combustion du bâton avec une périodicité constante de 30 minutes. Nous comparerons l'efficacité de collecte en fonction du niveau de charge, du nombre de couche et de la nature du média.

A. Niveau et durée de charge du tissu

Nous comparons ici l'efficacité de collecte en fonction de la durée d'exposition du média, les échantillons sont chargés avec un potentiel de grille de 1 kV et 4 kV, nous nous intéressons au déclin de l'efficacité de collecte pour ces deux niveaux de charge. La figure V.30 montre l'effet de la durée d'exposition par rapport au niveau de charge. Nous constatons que pour un niveau de charge élevé, le déclin de l'efficacité de collecte est rapide. Ce phénomène ressemble à celui observé sur l'état de charge des médias (mesure de déclin du potentiel de surface), phénomène connu sous le nom du « Cross Over ». En effet, lorsque le niveau de charge devient de plus en plus important, le média sous l'action du champ électrique perd rapidement sa charge initiale. La charge cumulée par le média va se neutraliser au fur et à mesure que le média rencontre d'autres particules de charges opposées.

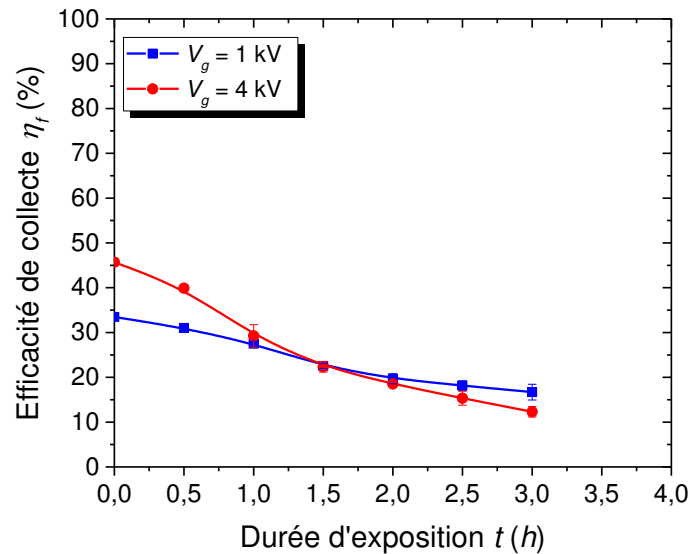


Figure V.30 : Comparaison de l'efficacité de collecte en fonction de la durée d'exposition des échantillons pour des niveaux et temps de charge différents. Conditions expérimentales : Etage 7 :] 0,26 ; 0,38] μm , lot 2, débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 26^\circ\text{C}$ et $HR = 42\%$, $V_s = 14,4$ kV pour $V_g = 4$ kV et $V_s = 9,7$ kV pour $V_g = 1$ kV.

Avec notre technique de charge, le média sera efficace que dans l'heure suivant sa première utilisation, dès que le média est en contact avec les particules, il commence à perdre sa charge, par conséquent l'efficacité de collecte diminue considérablement par rapport à sa première utilisation. Les charges déposées sur le média sont majoritairement en surface, le piégeage n'est pas assez profond pour permettre une durée d'utilisation longue. Le problème ici est plutôt l'exposition du média aux particules et non pas la durée en elle-même. Nous avons fait une expérience en chargeant les medias avec un potentiel de grille de 1 kV, puis nous avons mesurer l'efficacité de collecte pour différentes durées entre l'instant de charge et l'instant de mesure d'efficacité.

La figure V.31 montre les résultats de cette expérience, on peut noter une légère différence d'efficacité entre une durée d'une minute et celle de 100 minutes. Ces résultats se distinguent de ceux obtenus avec une combustion continue, ce qui permet de justifier que le déclin de l'efficacité de collecte est dû essentiellement à la perte de charges occasionnée par le contact du média avec les particules.

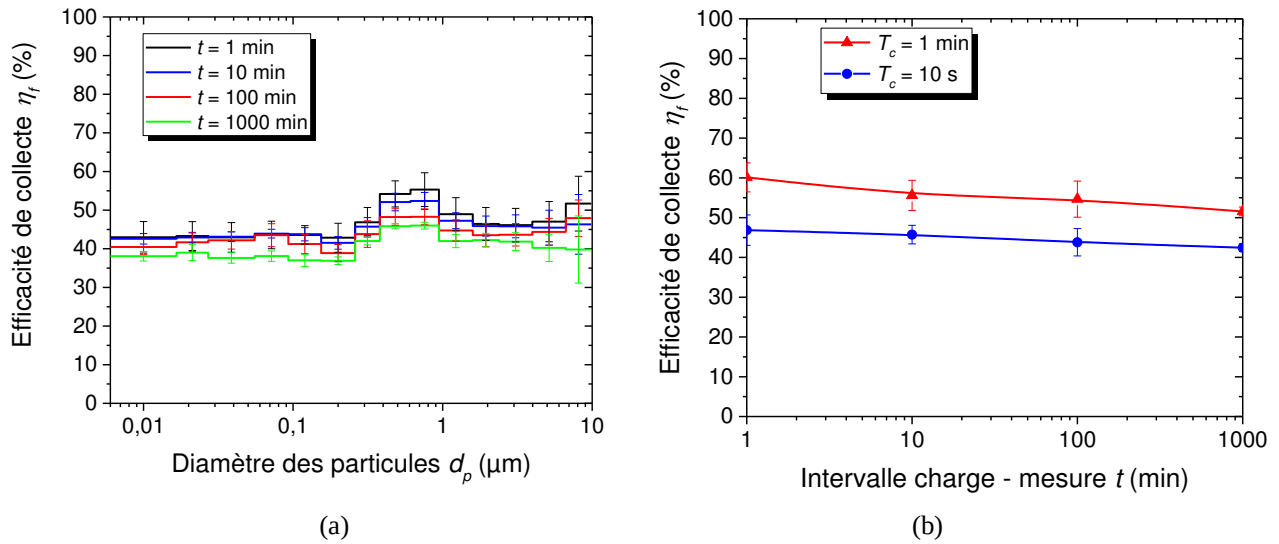


Figure V.31 : Efficacité de collecte en fonction de la durée entre la charge et la mesure. Conditions expérimentales : Lot 1, $\phi = 90$ mm, Débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 19^\circ\text{C}$ et $HR = 38\%$, $V_s = 9,7$ kV pour $V_g = 1$ kV, (a) $T_c = 1$ min, (b) Etage 7 :] 0,26 ; 0,38] μm

Nous venons de voir l'effet de la durée d'exposition sur l'efficacité de collecte pour une seule couche, nous allons maintenant multiplier le nombre de couche pour étudier l'influence que cela apporte pour une longue durée d'utilisation du filtre.

B. Nombre de couches et nature du média

La figure V.32 illustre les résultats de l'étude, nous remarquons que l'augmentation du nombre de couche permet ici de maintenir l'efficacité de collecte. Par exemple pour une durée de 3 heures, l'efficacité ne baisse que de 10%, contrairement à l'utilisation d'une seule couche à laquelle l'efficacité baisse de 30% (figure V.32(a)). Nous pouvons également noter que l'utilisation du lot n°1 permet d'avoir une meilleure efficacité de collecte au début, cependant pour une utilisation à long terme c'est le tissu du lot 2 du fournisseur Ideatiss qui offre une meilleure efficacité. En effet, le lot 1 est léger comparé au lot 2, sa masse par unité de surface est de 42 g/m^2 , alors que le lot 2 a une masse surfacique de 64 g/m^2 , compte tenu de leur épaisseur, il sera plus facile de neutraliser les charges de l'échantillon du lot 1 que ceux du lot 2. De plus la mobilité des charges sera plus marquée sur le lot 1 comparé au lot 2 à cause de leur niveau de charge, par conséquent le tissu du lot 1 perdra vite sa charge par rapport au tissu du lot 2.

En comparant l'apport de la charge électrique sur l'efficacité de collecte par rapport à celle obtenu sans dépôt de charges (figure V.32(b)), nous pouvons noter que l'amélioration de l'efficacité de collecte est plus importante avec le lot 2, nous avons environ un gain de 70% contre 55% avec le lot 1. Nous pouvons conclure que le multicouche permet d'améliorer considérablement l'efficacité de collecte.

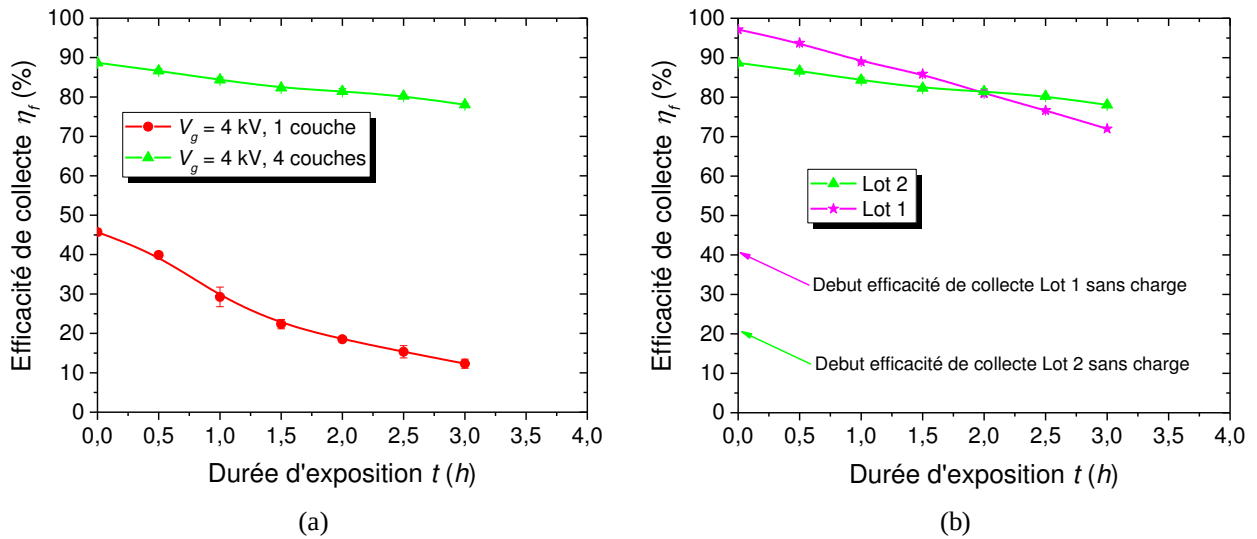


Figure V.32 : Efficacité de collecte en fonction de la durée d'exposition. Conditions expérimentales : Etage 7 :] 0,26 ; 0,38] μm , (a) lot 2 (1 couche vs 4 couches), (b) lot 1 vs lot 2, $\phi = 90$ mm, Débit particules $Q_p = 4$ l/min, rapport de dilution $R_d = 18,5$, $T = 27^\circ\text{C}$ et $HR = 42\%$, $V_s = 14,7$ kV pour $V_g = 4$ kV.

Conclusion

L'étude de l'efficacité de collecte était complexe dans la mesure où beaucoup de paramètres variaient, comme par exemple la porosité des médias, les conditions atmosphériques ou encore la concentration de particules générées. Une analyse locale de l'efficacité des médias n'a pas pu être abordée à cause de la complexité de cette mesure qui ne peut être que globale. Pour la corrélation charge – densité de fibre, c'est plutôt la reproductibilité qui causait problème, étant donné que les fibres des médias sont faites de manière aléatoire. Il était nécessaire pour nous afin qu'on puisse tirer des conclusions de cette étude, de multiplier le nombre d'expériences et faire une étude statistique. Cette technique nous a permis d'apporter des réponses sur les variations de quelques paramètres électriques et géométriques du dispositif de charge ainsi que d'autres paramètres, sur l'évolution de l'efficacité de collecte, notamment les effets suivants :

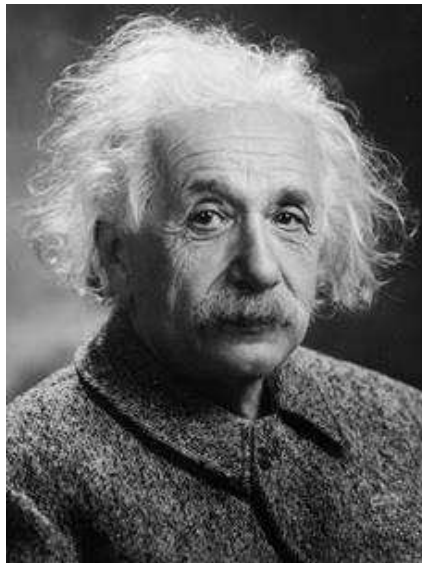
- Temps de charge des média (T_c) ;
- Polarité de l'alimentation source ;
- Potentiel source (V_s) et potentiel de grille (V_g) ;
- Résistance de grille (R_g) ;
- Distance fil – grille (D_g) et distance grille – média (D_m) ;
- Mode de charge (statique/balayage) ;
- Vitesse de balayage V_b ;
- Seuil de filtration des médias ;
- Masse de l'échantillon (grammage) ;
- Empilement des couches (multicouche) ;

- Durée d'exposition du média.

Cela fait beaucoup de paramètres, mais ils n'ont pas tous le même degré de contribution à l'efficacité de collecte. Tout d'abord, nous avons analysé l'efficacité de collecte du tissu utilisé dans la majorité de cas de notre étude, il s'agit du lot 1 qui est un média non-tissé en polypropylène. L'efficacité moyenne de collecte de ce média sans dépôt de charge tourne aux alentours de 25%, une grande majorité de particules se situant entre 0,1 μm et 1 μm de diamètre n'est pas collectée. Ce résultat est en accord avec la théorie qui justifie une inefficacité des mécanismes de capture des filtres mécaniques dans cette plage. La diffusion est efficace pour les particules nanométriques alors que l'impaction inertielle est efficace pour les grosses particules. Parmi les paramètres étudiés, on distingue le potentiel source, le potentiel de grille, la configuration fil – plan, le multicouche, qui sont des paramètres qui participent de manière considérable à l'optimisation de l'efficacité de collecte. Les autres paramètres influent très peu mais permettent d'améliorer l'efficacité de collecte, comme par exemple :

- La résistance de grille qui permet d'amplifier le potentiel de grille lorsqu'elle augmente ;
- Le seuil de filtration qui favorise la filtration mécanique lorsqu'il est bas ;
- La polarité positive qui charge mieux les échantillons par rapport à la négative ;
- La durée de charge des échantillons, qui est certes suffisant pour 10 s mais l'efficacité est améliorée pour une durée un peu longue (60 s) ;
- L'augmentation des distances D_g et D_m permettent d'élargir la zone de dépôt de charges, l'efficacité n'est pas très bien détectée car les particules passent majoritairement dans une zone limitée de 30 mm de diamètre. L'avantage qu'on peut tirer de l'augmentation de ces distances est la possibilité d'utiliser plus de puissance source tout en évitant un claquage, ce qui peut aussi être perçu comme inconvénient pour consommation massive d'énergie ;
- Le mode de charge en balayage permet d'avoir une charge homogène sur le média, mais c'est le mode statique qui offre une meilleure efficacité, étant donné que la concentration de charges est plus importante au centre du média, et c'est dans cette zone que la vitesse d'écoulement du fluide est élevée ;
- La masse de l'échantillon joue sur la porosité des fibres mais aussi sur l'état de charge du média, il faut trouver l'équilibre qui permet à la fois de charger en profondeur les fibres du média mais aussi d'avoir la possibilité de charger plus de fibres, ce qui justifie l'augmentation du nombre de fibres par conséquent l'augmentation de la masse du média. Cependant cette augmentation de la masse ne doit pas être un frein pour le dépôt de charge, c'est d'ailleurs pour cela que l'utilisation du multicouche permet de résoudre ce problème, avec cette technique on arrive à atteindre les 98% d'efficacité de collecte.

CONCLUSION GÉNÉRALE



Albert Einstein

(1879 – 1955)

« Imagination is more important than knowledge ».

CONCLUSION GÉNÉRALE

La pollution de l'air met en danger la santé humaine. Dans les moyens de transport, l'air à l'intérieur de l'habitacle est parfois plus pollué qu'à l'extérieur de celui-ci. Des filtres en médias textiles non-tissés sont le plus souvent utilisés pour la collecte de ces particules polluantes. Des nombreuses études ont montré qu'en déposant une charge électrique à la surface de ces médias augmente de façon significative l'efficacité de la filtration, grâce aux forces électriques agissant sur les particules chargées ou polarisées. Les travaux présentés dans ce mémoire de thèse ont été menés dans l'objectif d'améliorer les performances des medias filtrants non-tissés, par dépôt de charges électriques, en utilisant la décharge couronne produite par deux systèmes d'électrodes haute tension.

La conclusion générale de ces travaux pourrait être formulée ainsi : l'efficacité de la collecte des particules par les média filtrants non-tissés dépende à la fois de la géométrie des systèmes électrodes utilisés pour le dépôt des charge électrique et des conditions d'application de la haute tension qui génère la décharge couronne. La démarche expérimentale qui a conduit à cette conclusion s'est organisée selon les quatre phases suivantes :

1. Mise au point des dispositifs expérimentaux ;
2. Caractérisation de l'état de charge des medias non-tissés en polypropylène chargés par décharge couronne, en utilisant deux configuration d'électrodes : fil – plan et fil – grille - plan ;
3. Evaluation de l'efficacité de collecte ;
4. Analyse des corrélations entre l'état de charge des médias et l'efficacité de collecte.

Les bancs d'essais réalisés sur des sites d'Angoulême et du Futuroscope de l'Institut PPRIME ont permis de mesurer le potentiel électrique à la surface des médias chargé et l'efficacité de collecte de ceux-ci, pour des variations des paramètres électriques (tension source, tension de grille, courant de décharge,...) et géométriques (fil – plan de masse, fil – grille, grille – plan de masse). Dans les conditions de l'étude, les conclusions suivantes ont pu être tirées :

1. L'efficacité de collecte croit avec l'intensification du champ électrique moyen entre l'électrode active et le plan de masse (en configuration fil – plan), ou entre la grille et

le plan de masse (en configuration triode). Le potentiel de la source et le potentiel de la grille sont les paramètres importants qui expliquent en particulier l'augmentation du champ électrique moyen.

2. La distribution de charges est plus uniforme en polarité positive, ce résultat est bien corrélé avec celui obtenu en termes d'efficacité de collecte.
3. L'intensification du niveau de charge initiale du média s'accompagne d'une accélération du déclin du potentiel de surface, mais aussi d'une augmentation de l'efficacité de collecte.
4. L'augmentation du diamètre du cylindre de l'électrode couronne de type duale permet de focaliser le dépôt de charges. En effet, plus le cylindre de l'électrode duale est large, plus les lignes de champ sont déviées et orientées vers le plan de masse.
5. En configuration triode, les distances fil-électrode – grille et grille – plan de masse, respectivement D_g et D_m influent essentiellement sur le champ électrique et la zone dépôt. L'augmentation de ces distances permet d'élargir la surface de dépôt de charges, cependant le paramètre prépondérant ici est le champ électrique. En effet, l'efficacité de collecte suit l'évolution de la puissance électrique, calculée comme produit entre le potentiel de grille et le courant reçu par l'échantillon.
6. L'homogénéisation de la charge électrique est parfaitement obtenue en mode de charge dynamique. Cependant la variation de la vitesse de balayage lors de la phase de charge du média n'a pas permis d'observer une influence significative sur l'efficacité de collecte étant donné que le temps de réponse du système d'alimentation est faible par rapport à la durée de la charge du média.
7. En comparaison avec la configuration classique fil – plan, le système d'électrode de type triode assure un dépôt de charges plus uniforme à des niveaux de potentiels de surface rigoureusement contrôlables. Cependant l'efficacité de collecte semble plus intéressante en configuration fil – plan. En effet, à une tension d'alimentation donnée, le courant récolté par l'échantillon en configuration fil – plan est plus important qu'en configuration triode.
8. L'augmentation de l'épaisseur du média rend difficile le piégeage des ions en profondeur du média, cependant elle favorise les actions mécaniques de capture (impaction inertielle, diffusion brownienne, interception direct). L'utilisation des médias en multicouche pour le filtrage augmente considérablement l'efficacité de collecte, ceci est dû à l'association des actions mécaniques et électriques.

Les principales contributions personnelles dans ces travaux de recherches sont les suivantes :

- 1) Optimisation du banc expérimental pour une cartographie 2D du potentiel de surface;
- 2) Commande numérique du système de déplacement avec une précision spatiale de 10 μm ;

- 3) Conception d'un banc expérimental pour la caractérisation des médias chargés par décharge couronne (sur deux sites de l'Institut Pprime) ;
- 4) Mise au point d'un logiciel d'acquisition et de traitement de données (potentiel de surface, mesure de courants et calcul d'efficacité de collecte par classe granulométrique).
- 5) Etude paramétrique de la configuration triode (mode de charge, influence des paramètres électriques et géométriques de la configuration) ;
- 6) Mise au point d'un banc expérimental pour la caractérisation de l'efficacité de collecte des médias filtrants.
- 7) Corrélation de l'état de charge des médias par mesure du potentiel de surface en utilisant une sonde électrostatique, puis par mesure de la charge électrique globale en utilisant un coulombmètre.

Perspectives

Les études réalisées dans le cadre de cette thèse ouvrent des perspectives intéressantes d'amélioration de l'efficacité de la filtration de l'air par média non-tissés, en utilisant le dépôt de charge électrique par décharge couronne.

Il serait intéressant d'étudier la collecte des particules en fonction du diamètre des pores du média mais aussi du diamètre des fibres pour permettre une analyse plus approfondie des mécanismes physiques de collecte. L'état de charge peut être analysé avec les moyens actuels, mais aussi avec d'autres techniques comme par exemple la Microscopie Electronique à Balayage pour analyser plus finement les phénomènes de captation des particules par les fibres. Pour augmenter la persistance des charges électrostatiques sur les médias, d'autres techniques de charges plus énergétiques pourraient aussi être étudiées comme par exemple la décharge couronne pulsée, ou encore des dispositifs permettant de générer des ions avec des niveaux d'énergie plus importants.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Henri Poincaré

(1854 – 1912)

« Mathematics is the art of giving the same name to different things ».

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Organisation mondiale de la santé, «7 millions de décès prématurés sont liés à la pollution de l'air chaque année,» 24 03 2014. [En ligne]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/fr/>. [Accès le 04 03 2016].
- [2] R. Cadiergues, «Qualité de l'air : les aerosols (les particules),» [En ligne]. Available: http://media.xpair.com/auxidev/nV03a_QA_Partici.pdf. [Accès le 25 02 2016].
- [3] B. Tabti, Contributions à la caractérisation des filtres à électret par la mesure du déclin de potentiel de surface, Poitiers: Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2011.
- [4] R. A. Anderson, R. C. Sokolowski et K. W. & Ostermeier, «Nonwoven fabric and method of producing same,» U.S. Patent No 4,100,324, 07 1978.
- [5] A. Wilson, «Development of the nonwovens industry,» Handbook of Nonwovens, pp. 1-15, 2007.
- [6] H. J. Lee et N. Cassill, «Analysis of world nonwovens market,» Analysis, vol. 5, n° %13, 2006.
- [7] IFM, «Les non-tissées se font performants, de pair avec les textiles techniques,» [En ligne]. Available: <http://www.ifm-paris.com/fr/observatoire-etudes-mode/ifm/observatoire-economique/download/1054/60932/134.html>. [Accès le 30 01 2016].
- [8] Edana, «Discover nonwovens,» Edana, [En ligne]. Available: <http://www.edana.org/discover-nonwovens>. [Accès le 04 02 2016].
- [9] G. Chen, Z. Xu and L. Zhang, "Measurement of the surface potential decay of corona-charged polymer films using the pulsed electroacoustic method," Measurement Science and Technology, vol. 18, pp. 1453-1458, 2007.
- [10] G. Chen and Z. Xu, "Space charge dynamics in low density polyethylene under DC electric fields," Vols. 142, 12008, 2008.
- [11] K. Graham, M. Ouyang, T. Raether, T. Grafe, B. McDonald and P. Knauf, "Polymeric nanofibers in air filtration applications,," in Fifteenth Annual Technical Conference & Expo

- of American Filtration & Separation Society, Galveston, Texas, 9 - 12 April, 2002.
- [12] I. Krucinska, "The influence of technological parameters on the filtration efficiency of electret needled non-woven fabrics," *Journal of Electrostatics*, vol. 56, pp. 143-153, 2002.
- [13] R. Boichot, "Filtration des particules issues des moteurs diesel par matrices fibreuses plongées dans un champ électrique," *Thèse de Doctorat, Université de Savoie, Chambéry*, 2005.
- [14] C. Kim, L. Bao, K. Okuyama, M. Shimada and H. Niiunima, "Filtration efficiency of a fibrous filter for nanoparticles," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 8, pp. 215-221, 2006.
- [15] A. Podgorski, A. Balazy and L. Gradon, "Application of nanofibers to improve the filtration efficiency of the most penetrating aerosol particles in fibrous filters," *Chemical Engineering Science*, vol. 61, no. 20, pp. 6804-6815, 2006.
- [16] G. Mouret, *Étude de la filtration des aérosols nanométriques*, Vandoeuvre-les-Nancy: Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2008.
- [17] M. Plopeanu, L. Dascalescu and B. Yahiaoui, "Repartition of Electric Potential at the Surface of Nonwoven Fabrics for air Filtration," *IEEE Transactions. Industry Applications*, vol. 48, no. 3, pp. 851-856, 2012.
- [18] S. Ardkapan, M. Johnson, S. Yazdi, A. Afshari and N. Bergsoe, "Filtration efficiency of an electrostatic fibrous filter : Studing filtration dependency on ultrafine particule exposure and composition," *Journal of Aerosol Science*, vol. 72, pp. 14-20, 2014.
- [19] K. W. Lee and B. Y. H. Liu, "On the Minimum Efficiency and the Most Penetrating Particle Size for Fibrous Filters," *Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 30, no. 4, pp. 377-381, 1980.
- [20] F. Haghighat, A. Bahloul, J. Lara, R. Mostofi et A. Mahdavi, «Développement d'une procédure de mesure de l'efficacité des filtres d'appareils de protection respiratoire N95 contre les nanoparticules,» *Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Montréal (Québec)*, 2013.
- [21] A. Frenot and I. Chronakis, "Polymer nanofibers assembled by electrospinning," *COCIS Elsevier Science*, vol. 8, pp. 64-75, 2003.
- [22] G. Rutledge, "Processes and applications of electrostatics fiber formation," *Journal of Physics : Conference Series*, Vols. 142, 12026, 2008.

- [23] J. Payen, Etude et développement de structures fibreuses nontissées dédiées à la filtration de particules fines dans l'air, Valenciennes: Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du hainaut-Cambrésis, 2009.
- [24] A. Varesano, R. A. Carletto and G. Mazzuchetti, "Experimental investigations on the multi-jet electrospinning process," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 5178-5185, 2009.
- [25] H. Lim, «A Review of Spunbond Process,» *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, vol. 6, n° 13, 2010.
- [26] T. Sill and H. Recum, "Electrospun materials for affinity-based engineering and drug delivery," *Journal of Physics : Conference Series*, Vols. 646, 12060, 2015.
- [27] G. Coste, 06 2004. [En ligne]. Available: <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/tutoriel/non-tisse/page03.htm>.
- [28] J. Payen, «Matériaux non tissés,» *Techniques de l'ingénieur*, 2013.
- [29] K. W. Lee and B. Y. H. Liu, "Experimental study of aerosol filtration by fibrous filters," *Aerosol Science and Technology*, vol. 1, pp. 35-46, 1982.
- [30] A. Renoux and D. Boulaud, *Les Aérosols - physique et métrologie*, Paris: Lavoisier Technique & documentation, 1998.
- [31] F. Romay, B. Y. H. Liu et S. J. Chae, «Experimental study of electrostatic capture mechanisms in commercial electret filters,» *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 28, pp. 224-238, 1998.
- [32] B. Lowkis and E. Motyl, "Electret properties of polypropylene fabrics," *Journal of Electrostatics*, vol. 52, pp. 232-238, 2001.
- [33] O. Blajan, *Contribution à l'amélioration du rendement des filtres électrostatiques*, Poitiers: Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2009.
- [34] K. W. Lee and B. Y. H. Liu, "Theoretical Study of Aerosol Filtration by Fibrous Filters," *Aerosol Science and Technology*, vol. 1, pp. 147-161, 1982.
- [35] R. Brown, «Air filtration : an integrated approach to the theory and applications of fibrous filters,» Pergamon, 1993.
- [36] W. C. Hinds, *Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne*

- Particles, New York: 2nd Edition, Wiley - Interscience, 1999.
- [37] C. Davies, «Air filtration,» Academic Press, 1973.
- [38] H. J. White, Industrial Electrostatic Precipitation, Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company Inc, 1963.
- [39] K. Parker, Electrostatic precipitation, London: Chapman & Hall, 1997.
- [40] A. Mizuno, «Electrostatic precipitation,» IEEE Trans. Dielectr. Elect. Insul., vol. 7, n° 15, pp. 615-624, 2000.
- [41] C. Wang, "Electrostatics forces in fibrous filters," Powder Technology, vol. 118, pp. 166-170, 2001.
- [42] K. Li and Y. Jo, "Dust collection by a fiber bundle electret filter in an MVAC system," Aerosol Science and Technology, vol. 44, pp. 578-587, 2010.
- [43] R. Brown, «A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies,» Philosophical Magazine, vol. 4, pp. 161-173, 1828.
- [44] A. Einstein, "Investigations on the Theory of the Brownian Movement," Ann. d. Phys., vol. 17, pp. 549-560, 1905.
- [45] Udppc, «Albert Einstein et la théorie du mouvement brownien,» [En ligne]. Available: http://www.udppc.asso.fr/bupdoc/consultation/article-bup.php?ID_fiche=12499. [Accès le 02 02 2016].
- [46] IEEE-DEIS-EHD Technical Committee, «Recommended standard for dimensionless parameters used in electrohydrodynamics,» IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 10, n° 11, pp. 3-6, 2003.
- [47] T. Frising, Etude de la filtration des aérosols liquides, Vandoeuvre-lès-Nancy: Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2004.
- [48] A. JOUBERT, Performances des filtres plissés à Très Haute Efficacité en fonction de l'humidité relative de l'air, Vandoeuvre-lès-Nancy: Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [49] F. London, «Zur Theorie und Systematik der Molekularkräfte,» Zeitschrift für Physik, vol.

- 63, pp. 245-279, 1930.
- [50] C. Wang, "Electrostatic forces in fibrous filters- areview," Powder Technology, vol. 118, pp. 166-170, 2001.
- [51] J. Chang, A. Kelly et J. Crowley, Handbook of Electrostatic Processes, New York: Marcel Dekker , 1995.
- [52] T. P. Rivera, «Assemblage convectif de colloïdes par forces de capillarité en milieu confiné: applications en plasmonique,» Grenoble, 2009.
- [53] D. Japuntich, J. Stenhouse et B. Liu, «Effective pore diameter and monodisperse particle clogging of fibrous filter,» Journal of Aerosol Science, vol. 8, n° %11, pp. 147-158, 1997.
- [54] P. Raynor et D. Leith, «The influence of accumulated liquid on fibrous filter performance,» Journal of Aerosol Science, vol. 31, n° %11, pp. 19-34, 2000.
- [55] H. Darcy, Les fontaines publiques de la vile de Dijon : Exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau, V. Dalmont, Éd., Paris, 1856.
- [56] R. Fjeld et T. Owens, «The effect of particle charge on penetration in an electret filter,» IEEE Industry Applications Society, vol. 24, n° %14, pp. 725 - 731, juillet/Août 1988.
- [57] G. Touchard, S. Sammartino, G. Artana, F. Putier et S. Watanabe, Technologie des pulvérulents dans les IAA, Chapitre 5 : caractérisation des milieux granulaires, TEC & DOC Lavoisier, 2003.
- [58] L. Dascalescu, A. Iuga, R. Morar, V. Neamtu, I. Saurasan, A. Samuila and D. Rafiroiu, "Corona and electrostatic electrodes for high-tension separators," Journal of Electrostatics, vol. 29, no. 3, pp. 221-225, 1993.
- [59] A. Abahazem, Etudes expérimentales des décharges couronne pour la dépollution des gaz, Toulouse III: Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III – Paul Sabatier, 2009.
- [60] B. Tabti, R. Mekideche, M. Plopeanu, L. Dumitran and L. Dascalescu, "Corona Charging and Charge Decay Characteristics of Non-woven Filter Media," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 46, no. 2, pp. 634-640, 2010.
- [61] N. Zouzou, B. Dramane, E. Moreau and G. Touchard, "EHD Flow and Collection Efficiency of a DBD-ESP in Wire-to-Plane and Plane-to-Plane Configurations," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 47, no. 1, pp. 336-343, 2011.

- [62] X. Deng and K. Adamiak, "A numerical algorithm for simulation of the electric corona discharge in the triode system," *Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol. 23 , p. 597–602, 1999.
- [63] A. Antoniu, B. Tabti, M. Plopeanu and L. Dascalescu, "Accelerated discharge of corona-charged non-woven fabrics," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, no. 3, pp. 1188-1193, 2010.
- [64] P. Molinié, *Recherches en électrostatique. Actualité d'une science ancienne et applications à la caractérisation des matériaux.*, Paris XI: Mémoire Habilitation à Diriger des Recherches, Université Paris Sud, 2010.
- [65] D. B. L. P. A. & F. J. L. Marty-Dessus, «Space charge cartography by FLIMM: a three-dimensional approach,» *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 35, n° 124, p. 3249, 2002.
- [66] L. S.-V. A. & M.-D. D. Berquez, «Mesures de charge d'espace par FLIMM: Derniers développements,» chez 7ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, Saint-Nazaire, 2016.
- [67] Horenstein, "The Contribution of Surface Potential to Diverse Problems in Electrostatics," *Journal of Physics : Conference Series*, Vols. 646, 12001, 2015.
- [68] N. Zouzou, «Etude de la mobilité moléculaire du PEN destin é à la fabrication des condensateurs : influence,» Toulouse, 2002.
- [69] L. Boudou, «Influence des paramètres de mise en oeuvre sur la morphologie et la conductivité électrique d'un polyéthylène destiné à la fabrication des câbles,» Toulouse, 2001.
- [70] R. Kacprzyk and C. Stec, "Measurements of the surface charge density on moving webs," *Journal of Electrostatics*, Vols. 40-41, pp. 455-461, 1997.
- [71] P. Molinié and P. Llovera, "New Methodology for Surface Potential Decay Measurements : Application to Study Charge Injection Dynamics on Polypropylene Films," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 11, no. 6, pp. 1049-1056, 2004.
- [72] A. Mihalcioiu, *Techniques de mesure et instrumentation virtuelle pour l'étude des processus électrostatiques*, Poitiers: Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2005.
- [73] T. Oda, K. Yamashita and R. Ono, "Surface charge behaviour of corona-charged thin polymer films - simultaneous LIPP and TSDC measurement," *Journal of Physics :*

- Conference series, Vols. 142, 12012, 2008.
- [74] D. Koch, Caractérisation de surface par cartographie du potentiel : application à la détection de défauts liés à la corrosion, Paris XI: Thèse de Doctorat, Université de Paris Sud, 2010.
- [75] M. Noras, "Non-contact surface charge/voltage measurements : Capacitive probe - principle of operation," Trek Application Note, N°3001, 2002.
- [76] M. Noras, "Non-contact surface charge/voltage measurements : Fieldmeter and voltmeter methods," Trek, Application note, N°3002, 2002.
- [77] M. Noras, "Trek electrostatic voltmeters : Setup, environment, working conditions," Trek Application Note, N°3003, 2002.
- [78] M. Noras, "AC-Feedback Electrostatic Voltmeter Operation," Trek Application Note, N°3006, 2003.
- [79] M. Noras, "Charge Detection Methods for Dielectrics – Overview," Trek Application Note, N°3005, 2003.
- [80] P. Llovera Segovia, Etude des mecanismes d'injection de charge dans les matériaux isolants au moyen de mesures électrostatiques de déclin et retour de potentiel. Nouveaux outils d'analyse., Paris XI: Thèse de Doctorat, Université de Paris Sud, 2001.
- [81] camfi, «EN 1822,» [En ligne]. Available: <http://www.camfil.fr/technique-de-filtration/specifications-industrielles/en-1822/>. [Accès le 15 02 2016].
- [82] C. Brochot, N. Michielsen, D. Bemer, S. Chazelet et D. Thomas, «Etat de l’art de la mesure de l’efficacité des Appareils de Protection Respiratoire et description d’un nouveau banc de test des APR dédié aux nanoparticules,» chez 25 ème Congrès Français sur les Aérosols, Paris, France, 2010.
- [83] B. Dramane, Précipitation électrostatique de particules submicroniques par décharge à barrière diélectrique : étude électrique, granulométrique et aérodynamique, Poitiers: Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2009.
- [84] R. Gouri, Optimisation électrique et géométrique d'un électrofiltre à barrière diélectrique en configuration fil-tube carré - application aux particules submicroniques, Poitiers: Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2012.
- [85] A. Aba'a Ndong, Décharges à barrière diélectrique pulsées de volume et de surface

- appliquées à la précipitation électrostatique et à la régénération de surface, Poitiers: Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2014.
- [86] N. Zouzou, les Précipitateurs électrostatiques - concepts et théories, Poitiers: Cours, Master Sciences pour l'ingénieur - Génie des Systèmes Industriels et Génie Électrique, Université de Poitiers, 2012.
- [87] H. J. White, Industrial electrostatic precipitation, London: Addison Wesley Publishing Company Inc, 1963.
- [88] M. D. A. G. J. E. Jonest, «A simple analytic alternative to Warburg's law,» vol. 23, 1990.
- [89] M. Plopeanu, L. Dascalescu and B. Yahiaoui, "Repartition of Electric Potential at the Surface of Nonwoven Fabrics for air Filtration," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 48, no. 3, pp. 851-856, 2012.
- [90] P. Molinié, M. Goldman and J. Gatellet, "Surface potential decay on corona-charged epoxy samples due to polarization processes," Journal of Physics D : Appl. Phys., vol. 124, pp. 1601-1610, 1995.
- [91] Z. Xu, L. Zhang and G. Chen, "Decay of electric charge on corona charged polyethylene," Journal of Physics D : Applied Physics., vol. 40, pp. 7085-7089, 2007.
- [92] R. Kacprzyk, "Influence of discharge conditions on the charge decay characteristics," Journal of Physics : Conference Series, Vols. 142, 12064, 2008.
- [93] A. Zukeran, P. Looy, A. Chakrabarti, A. Berezin, S. Jayaram, J. Cross, T. Ito and J. S. Chang, "Collection efficiency of ultrafine particles by an electrostatic precipitator under dc and pulse operating modes," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 5, p. 1184–1190, 1999.
- [94] A. Podgorski, A. Balazy and L. Gradon, "Application of nanofibers to improve the filtration efficiency of the most penetrating aerosol particules in fibrous filters," Chemical Engineering Science, vol. 61, pp. 6804-6815, 2006.
- [95] N. Zouzou, B. Dramane, E. Moreau, G. Touchard and J. M. Petit, "Removal of Diesel Particles using a DBD reactor," in SIA Conference : Diesel Engines After Treatment, Paris, 2008.
- [96] L. Zhang, Z. Xu and G. Chen, "Decay of electric charge on corona charged polyethylene," Journal of Physics : Conference Series, Vols. 142, 12060, 2008.

- [97] T. Yokoyama, M. Kogoma, T. Moriwaki and S. Okazaki, "The mechanism of the stabilisation of glow plasma at atmospheric pressure," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 23, no. 8, pp. 1125-1128, 1990.
- [98] Y. Yang, D. Yin, R. Xiong, J. Shi, F. Tian, X. Wang and Q. Lei, "FTIR and Dielectric Studies of Electrical Aging in Polyimide under AC Voltage," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 2, pp. 574-581, 2012.
- [99] Z. Xu, L. Zhang and G. Chen, "Measurement and analysis of electric potential decay in corona charged low-density polyethylene films," in *International Conference on Solid Dielectrics*, Winchester UK, 2007.
- [100] W. C. Wang, P. C. Jiang, S. Zhang, L. Jia, D. Z. Yang, K. Tang and Z. J. Liu, "An uniform DBD plasma excited by bipolar nanosecond pulse using wire-cylinder electrode configuration in atmospheric air," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 122, pp. 107-112, 2014.
- [101] D. Walsh and J. Stenhouse, "The effect of particules size, charge, and composition on the loading characteristics of an electically active fibrous filter material," *Journal of Aerosol Science*, vol. 28, pp. 307-321, 1997.
- [102] D. Walsh et J. Stenhouse, «parameters affecting the loading behavior and degradation of electrically active filter materials,» *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 29, n° 15, pp. 419-432, 1998.
- [103] D. Taylor, "Measuring techniques for electrostatics," *Journal of Electrostatics*, Vols. 51-52, pp. 502-508, 2001.
- [104] B. Tabti, A. Antonia, M. Plopeanu, B. Yahiaoui, B. Bendahmane and L. Dascalescu, "Implementation and interpretation of surface potential decay measurements on corona-charged non-woven fabrics," *Journal of Physics : Conference series*, vol. 301, no. 1, 2040, 2011.
- [105] Y. Segui, «Diélectriques,» *Techniques de l'ingénieur*, vol. D 2301, pp. 1-12.
- [106] F. Paschen, "Sur la différence de potentiel nécessaire à la formation d'arc électrique dans de l'air, de l'hydrogène et du gaz carbonique sous différentes pressions (Traduction de l'allemand)," *Wied. Annales de Physique*, vol. 37, pp. 69-96, 1889.
- [107] H. Pang, *Dépoussiérage électrostatique pour les particules submicroniques en atmosphère usuelle (Terre) et raréfiée (planète Mars)*, Grenoble: Thèse de Doctorat, Université Joseph

Fourier, 2006.

- [108] T. B. Jones, *Electromechanics of Particles*, New-York: Cambridge University Press, 1995.
- [109] X. Huang, *Influence des particules fines sur la stabilité d'un milieu granulaire*, Lyon: Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lyon, 2013.
- [110] M. Horenstein and N. Roberts, "Peeling force for an electrostatically charged sheet on a grounded surface," In *Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting*, vol. 3, pp. 1714-1720, 1993.
- [111] A. Fatihou, N. Zouzou, G. Iuga and L. Dascalescu, "Measurement of the electric potential at the surface of nonuniformly charged polypropylene nonwoven media," *Journal of Physics : Conference Series*, Vols. 646, 12035, 2015.
- [112] B. Dramane, N. Zouzou, E. Moreau and G. Touchard, "Electrostatic Precipitation of Submicron Particles using a DBD in axisymmetric and planar configurations," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 16, no. 2, p. 343–351, 2009.
- [113] B. Dramane, N. Zouzou, E. Moreau and G. Touchard, "Electrostatic precipitation in wire-to-cylinder configuration: Effect of the high-voltage power supply waveform," *Journal of Electrostatics*, vol. 67, pp. 117-122, 2009.
- [114] M. Datta and M. Horenstein, "The electrostatics of charged insulating sheets peeled from grounded conductors," *Journal of Physics : Conference Series*, Vols. 142, 12076, 2008.
- [115] A. Crisci, B. Gosse, J.-P. Gosse and V. Ollivier-Duréault, "Surface potential decay due to surface conduction," *Eur. Phys. J. AP*, vol. 4, pp. 107-116, 1998.
- [116] R. Cochet, "Loi de charge des fines particules (submicroniques)," in *Colloque International N°102 : La physique des forces électrostatiques et leurs applications*, C.N.R.S., Paris, 1961.
- [117] G. Chen, "A new model for surface potential decay of corona-charged polymers," *Journal of Electrostatics*, vol. 45, pp. 265-273, 1999.
- [118] J. R. Brock and M. Wu, "Field charging of aerosol particles," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 45, pp. 106-114, 1973.
- [119] J. E. Jonest, M. Daviest et A. Goldman, «A simple analytic alternative to Warburg's law,» vol. 23, 1990.

LISTE DES PUBLICATIONS

Publications dans des revues avec comité de lecture :

- [1] **A. Fatihou**, L. Dascalescu, N. Zouzou, B. Neagoe, A. Reguig, L. M. Dumitran, « Measurement of Surface Potential of Non-uniformly Charged Insulating Materials Using a Non-contact Electrostatic Voltmeter », IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 23, Issue 4, pp. 2377-2384, August 2016.
- [2] A. Bouteffaha, A. Bendaoud, **A. Fatihou**, A. F. ChiriÇescu, R. R. Rodrigues, L. Dascalescu, « Study of the transient regime of the corona discharge generated by a triode electrode arrangement », IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 23, pp. 692 – 698, April 2016.
- [3] T. Zeghloul, L. Dascalescu, K. Rouagdia, **A. Fatihou**, P. Renoux, D. Souchet, « Sliding Conformal Contact Tribocharging of Polystyrene and Polyvinyl Chloride », IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 52, pp. 1808 – 1813, March-April 2016.
- [4] **A. Fatihou**, N. Zouzou, G. Iuga and L. Dascalescu, « Measurement of the electric potential at the surface of nonuniformly charged polypropylene nonwoven media », Journal of Physics: Conference Series, Vol. 646, No. 012035, 2016.
- [5] K. Rouagdia, L. Herous, M. Nemamcha, **A. Fatihou**, B. Tabti, L. Dascalescu, « Experimental modeling of the electric potential decay at the surface of polypropylene films (PP) », Journal of Electrostatics, Vol. 76, pp. 262–267, August 2015.

Communications avec actes :

- [1] **A. Fatihou**, N. Zouzou, L. Dascalescu, « Collection of ultrafine particles using polypropylene non-woven filter media charged by triode corona discharge », IEEE Industry Application Society Annual Meeting, 18-22 Oct, Addison, USA, 2015.
- [2] **A. Fatihou**, N. Zouzou, G. Iuga and L. Dascalescu, « Measurement of the electric potential at the surface of nonuniformly charged polypropylene nonwoven media », Electrostatics 2015, 12 – 17 April, Southampton, UK.
- [3] **A. Fatihou**, N. Zouzou, L. Dascalescu, « Amélioration des performances des matériaux fibreux nontissés chargés par décharge couronne utilisés pour la filtration de l'air », 3^{ème} Journée des Doctorants de l'Institut Pprime, JDD'2015, 13 mars, Poitiers, France, 2015.

[4] **A. Fatihou**, L. Dascalescu, N. Zouzou, L. M. Dumitran, « Interpretation of surface potential measurements performed with the vibrating capacitive probe of an electrostatic voltmeter », IEEE Industry Application Society Annual Meeting, 5-9 Oct, Vancouver, Canada, 2014.

[5] **A. Fatihou**, K. Rouagdia, A. Smaïli, B. Tabti, N. Zouzou, L. Dascalescu, « Influence de la procédure de charge sur la distribution des charges et sur le déclin du potentiel de surface », 9ème Conférence de la Société *Française d'Electrostatique*, *SFE'2014*, 27-29 Août, Toulouse, France, 2014.

[6] **A. Fatihou**, N. Zouzou, L. Dascalescu, « Etude des paramètres influant l'optimisation de la charge électrique sur les medias nontissés », *2ème Journée des Doctorants du D2 de l'Institut Pprime*, *JDD'2014*, 19 juin, Poitiers, France, 2014.

Publication en cours :

[1] **A. Fatihou**, N. Zouzou, L. Dascalescu, « Particle Collection Efficiency of Polypropylene Non-woven Filter Media Charged by Triode Corona Discharge », IEEE Transactions on Industry Applications, (soumise en 2016).

Titre : AMÉLIORATION DES PERFORMANCES DES MATÉRIAUX FIBREUX NON-TISSÉS CHARGÉS PAR DÉCHARGE COURONNE UTILISÉS POUR LA FILTRATION DE L'AIR.

Résumé : La démarche expérimentale menée dans cette thèse a eu comme objectif l'étude des facteurs qui influent l'efficacité de collecte des médias non-tissés chargés par décharge couronne, utilisés pour la filtration de l'air. Les recherches se sont focalisées sur les techniques faisant appel à la décharge couronne en configuration fil-plan et en configuration triode (électrode duale + grille + plan de masse). L'étude s'est déroulée en trois phases : (1) mise au point de dispositifs expérimentaux pour générer la décharge couronne et mesurer le potentiel électrique à la surface des échantillons chargés ; (2) caractérisation de l'état de charge des medias ; (3) évaluation de l'efficacité de collecte, en corrélation avec les résultats des mesures de charge. La distribution de charges a été plus homogène en configuration triode et le niveau de charge a été meilleur en polarité positive. Le déplacement de l'échantillon dans la zone de décharge électrique permet de mieux uniformiser la distribution de la charge. L'augmentation du courant de décharge et du potentiel de grille permet d'amplifier le niveau de charge des medias, suite à l'intensification du champ électrique moyen entre l'électrode active et le plan de masse (en configuration fil – plan), ou entre la grille et le plan de masse (en configuration triode). L'efficacité de la collecte est meilleure si la charge est uniformément déposée, sous l'action d'un champ électrique plus intense. Elle est plus élevée pour les configurations dites « multicouches » où la captation des particules est améliorée par l'association de plusieurs mécanismes physiques, mettant en jeux des forces électriques et mécaniques.

Mots clés : électrostatique, décharge couronne, medias non-tissés, charge électrique, filtration d'air, déclin de potentiel de surface
.....

Title : IMPROVED PERFORMANCE OF NONWOVEN FIBROUS MATERIALS CHARGED BY CORONA DISCHARGE USED FOR AIR FILTRATION.

Abstract : The experimental approach undertaken in this thesis was aimed at the study of the factors affecting the collection efficiency of nonwoven media charged by corona discharge, used for air filtration. Research was focused on techniques using the corona discharge generated by wire-plane and triode configurations (dual electrode + grid + ground plane). The study was conducted in three phases: (1) development of experimental devices to generate corona discharge and measure the electrical potential on the surface of charged samples; (2) characterization of the electrostatic charge state of the media; (3) evaluation of the collection efficiency, correlated with the results of charge measurements. The charge distribution was more homogeneous in triode configuration and the charge level was higher in positive polarity. The sample movement in the electric discharge zone allowed for more uniform distribution of the charge. The increase of the discharge current and gate voltage amplifies the charge level of the media, due to the intensification of the average electric field between the active electrode and the ground plane (configuration wire - plane) or between the gate and the ground plane (in triode configuration). The collection efficiency is better when the charge is uniformly deposited, under the action of a strong electric field. It is higher for the so-called "multi-layer" configurations where the capture of the particles is improved by the combination of several physical mechanisms, involving electrical and mechanical forces.

Keywords : electrostatics, corona discharge, non-woven fabrics, electric charge, air filtration, surface potential decay