RETOUR SUR UN MINI-CHARGEUR DE LA LITTERATURE (HAN, 2008)

S. Clavaguera*, A. Guiot, M. Pourprix, C. Brouard, Ph. Berne

Plateforme NanoSécurité, Commissariat à l'Energie Nucléaire et aux Energies Alternatives (CEA) Univ. Grenoble Alpes, 38054, Grenoble, France *Courriel de l'orateur : simon.clavaguera@cea.fr

TITLE

A mini-charger from literature revisited (Han, 2008)

RESUME

Nous construisons un mini-chargeur de particules selon les indications d'un article de la littérature (Han, 2008). Le cœur est un ioniseur formé de fibres de carbone. Ses performances sont comparées à celles de l'article originel. Les résultats sont tout-à-fait compatibles, mais montrent l'intérêt de travailler à la tension relativement basse, ce que ne permet pas notre dispositif. Une étude de l'écoulement de l'air montre qu'il est favorable à un bon fonctionnement.

ABSTRACT

A mini-charger is built according to the specifications of a literature article (Han, 2008). The core is a ionizer made of carbon fibres. The performances are compared to those of the original device, and found to be quite compatible. Our device however requires higher voltage, which is found detrimental. Lastly, a Computational Fluid Dynamics simulation confirms that the particle trajectories are adequate.

MOTS-CLES : chargeur, fibres de carbone, efficacité, écoulement/ **KEYWORDS:** charger, carbon fibres, efficiency, flow

1. INTRODUCTION ET MOTIVATIONS

La motivation de ce travail est double :

- le Laboratoire développe un système de séparation électrostatique (Clavaguera, 2020a), pour lequel un chargeur de particules performant est nécessaire,
- de manière plus générale, le besoin de spectromètres de mobilité électrique portables pour les particules ultrafines se fait sentir; et ces appareils nécessitent eux aussi des chargeurs performants.

Dans ce contexte, nous avons choisi de reprendre le chargeur décrit dans un article de Han et col. (2008), utilisant des fibres de carbone comme sources d'ions. Ce choix est motivé par la simplicité de ce dispositif (en particulier, l'absence de « sheath air »), les bonnes performances et la quasi-absence de production d'ozone mentionnées dans l'article.

Dans un premier temps, nous reproduisons les différentes mesures d'efficacité faites par Han et col. Nous les complétons par une étude de l'écoulement de l'air dans le mini-chargeur.

2. LE MINI-CHARGEUR DE HAN ET COL. (2008) ; NOTRE REALISATION

Le chargeur originel (Figure 1 gauche) se compose d'un corps cylindrique de 90 mm de long et 40 mm de diamètre, muni de deux pinceaux de fibres de carbone (environ 300 fibres de 5 à 10 µm de diamètre). Les entrée/sortie de l'air se font aux deux extrémités du cylindre, par deux pièces de raccordement coniques. Le débit est de 1,5 L.min⁻¹, la haute tension appliquée aux fibres varie entre 2,3 et 4 kV.





Figure 1. Mini-chargeur : description dans l'article original et notre réalisation.

Notre réalisation (Figure 1 droite) reprend l'ensemble ces dimensions. Pour des raisons pratiques, le débit a été porté à 2 L.min⁻¹. La gamme de haute tension explorée va de 3 à 10 kV.

3. MESURES DE PENETRATION ET D'EFFICACITE

Han et col. ont mesuré, entre autres, les caractéristiques suivantes :

- la pénétration, qui quantifie les pertes de particules lorsque le chargeur n'est pas sous tension,
- l'efficacité de charge de sortie, qui donne la proportion de particules chargées sortant du dispositif,
- l'efficacité de charge extrinsèque, qui indique quelle fraction des particules entrant dans le dispositif en ressortent effectivement chargées.

Ces mesures ont été faites grâce à un aérosol de KCI produit par atomisation. La gamme de taille explorée est de 20 à 200 nm (Han et col.) ou 20 à 300 nm (notre étude).

Les pénétrations particulaires sont données en Figure 2 pour un aérosol non chargé, neutralisé et portant une charge unique (mesures de Han et col. en noir, nos mesures en couleur). La pénétration est proche de 1 dans tous les cas, sauf pour les particules de 20 nm, dans notre étude, pour lesquelles la perte « par l'écoulement » atteint 20%.





La Figure 3 illustre l'efficacité de charge de sortie. Han et col. relèvent globalement une bonne efficacité pour des tensions entre 2,3 et 4 kV, moins bonne toutefois pour les plus petites particules (20 et 40 nm). Dans notre cas, nous constatons une efficacité basse et erratique à 3 kV, mais bonne (et même supérieure à celle de Han et col.) à 3,4 kV. Il est probable que l'effet couronne ne se développe vraiment qu'au-delà de 3 kV. La différence peut provenir des pinceaux de fibres de carbone utilisés par Han et dans notre étude, cet élément étant finalement peu décrit dans l'article original.



Particle diameter (nm) Figure 3. Efficacité de charge de sortie.

La Figure 4 donne l'efficacité de charge extrinsèque, qui est en fin de compte la grandeur intéressante pour l'utilisateur (en se limitant à la tension de 3,4 kV pour notre travail). Nos résultats sont tout-à-fait compatibles avec ceux de Han et col. : nos points mesurés à 3,4 kV s'insèrent globalement bien entre leurs points à 3 et 4 kV. Relevons quand même une meilleure efficacité de notre dispositif pour les plus petites particules : conséquence, peut-être, de la meilleure efficacité de charge en sortie signalée plus haut.



Figure 4. Efficacité de charge extrinsèque.

Ne pouvant pas travailler à tension plus basses, nous sommes cependant pénalisés : l'optimum pour nous se situe à 3,5 kV et se traduit par une efficacité extrinsèque de l'ordre de 50-60%. Han et col. peuvent descendre à 2,3 kV, ce qui limite largement les pertes (non représentées ici) et leur permet d'atteindre des efficacités entre 60 et 100%.

Dans la mesure où notre explication par la différence des fibres d'ionisation est correcte, nous voyons que l'aspect « électrostatique » du dispositif a une grande importance.

Notre mini-chargeur a été monté dans le dispositif de séparation de particules mentionné en introduction, où il a fonctionné correctement (Clavaguera, 2020b).

4. ETUDE DE L'ECOULEMENT DE L'AIR DANS LE DISPOSITIF

Pour un débit d'air de 2 L.min⁻¹, la vitesse dans les canalisations d'entrée est de 0,66 m.s⁻¹ et le nombre de Reynolds de l'ordre de 350. Nous nous attendons donc à un écoulement laminaire. Nous avons tenté une simulation de l'écoulement dans le chargeur au moyen du logiciel Comsol (Comsol, 2021), en trois dimensions, en instationnaire et en stationnaire. Les résultats montrent qu'il se développe un jet fin au centre du chargeur (Figure 5 : carte champ de vitesse), entouré par un recirculation (Figure 6 : lignes de courant). Le système jet/recirculation paraît stable au cours du temps.



Figure 5. Champ de vitesse dans un plan de coupe.



Figure 6. Lignes de courant autour du jet central.

A partir de ce champ de vitesse, nous pouvons calculer les trajectoires de particules dans le dispositif. Cellesci restent globalement confinées au centre du chargeur, avec un petit élargissement au voisinage de la sortie (Figure 7). La Figure 7 suggère une perte de particules dans le rétrécissement, mais cet effet doit être pris avec prudence car très dépendant de la finesse du maillage utilisé. Le même calcul nous donne des temps de sortie étagés entre 0,2 et 0,5 secondes.



Figure 7. Trajectoire de particules de 200 nm de diamètre, gros plan sur la sortie du chargeur.

Cette situation est *a priori* avantageuse, puisque nous avons des trajectoires de particules bien contrôlées et causant peu de pertes ; remarque qui sera à nuancer par un calcul de champ électrique et de déviation des particules.

5. CONCLUSIONS

Un mini-chargeur a été construit d'après l'article de Han et col. Ses performances ont été vérifiées et se révèlent meilleures en termes d'efficacité de charge de sortie, mais moindres en termes d'efficacité de charge extrinsèque - celle qui intéresse l'utilisateur. Semble en cause le fonctionnement des pinceaux de fibre de carbone, qui ont obligé à travailler à tension plus haute que dans l'article originel.

La simulation de l'écoulement dans le chargeur a montré des trajets de particules bien contrôlés et favorables à un bon fonctionnement.

Une perspective intéressante serait de poursuivre ce travail de simulation en y introduisant le calcul des champs électriques, du champ de concentration d'ions et de la prise de charge par les particules.

Ce travail est soutenu par le Plan Recherche et Développement Amiante (PRDA) du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, dans le cadre du projet SelFi.

6. REFERENCES

- Clavaguera, S., Guiot, A., Pourprix, M., Brouard, C., Berne, P., Séparation de fibres en suspension dans l'air, une application à la détection en temps réel, Congrès français sur les aérosols, Paris, 28-29 janvier 2020, 2020a.
- Clavaguera, S., Guiot, A., Brouard, C., Berne, P., Pourprix, M., Ritoux, S., Motzkus C., Airborne fiber detection, an application to real-time detection, European aerosol conference,, 31 août-4 septembre 2020, 2020b.

Comsol, http://comsol.fr, consulté le 25.09.2020.

Han B, Kim H-J, Kim Y-J, Sioutas C, Unipolar charging of fine and ultra-fine particles using carbon fiber ionizers, *Aerosol Sci. and Tech.*, 42:793-800, 2008