

Classification
Physics Abstracts
41.10D

Evolution de la charge électrique d'une particule heurtant une paroi solide

G. Touchard ⁽¹⁾, A. Zerghouni ^(1,*), S. Watanabe ^(1, **) et J. Borzeix ^(1, ***)

⁽¹⁾ Laboratoire de Physique et Mécanique des Fluides, U.A. 191 du CNRS, 40 avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex, France

(Reçu le 9 avril 1990, révisé le 17 décembre 1990, accepté le 28 décembre 1990)

Résumé. — Le travail que nous présentons est une étude expérimentale du phénomène de génération de charges par collisions sur des surfaces métallique (cuivre) et isolante (polyéthylène). Les expériences sont réalisées sur un dispositif relié à un système d'acquisition de données. Nous avons procédé à l'étude de l'influence de plusieurs paramètres sur ce phénomène tels que : l'angle de choc ; les dimensions des particules ; la charge initiale des particules ; la vitesse au moment du choc. Nous avons aussi mis en évidence l'existence d'une charge de saturation qu'acquiert une particule après un grand nombre de chocs avec une paroi solide.

Abstract. — This study, essentially experimental, relates the electric charge generated by the shock of particles on a conducting wall (copper) and on an insulating one (polyethylene). The experiments are realised with an equipment connected to a data acquisition system. We have analysed the influence of different parameters : impact angle ; particle size ; initial charge of the particles ; impact velocity. Then from these experiments it is possible to point out the charging process of a particle for successive shocks.

1. Introduction.

Bien qu'il soit connu depuis longtemps, le phénomène de transfert de charges électriques par contact entre corps solides reste encore mal analysé, aussi bien du point de vue théorique qu'expérimental.

La complexité de ce phénomène est souvent liée à la diversité des paramètres le contrôlant.

Cependant, de nombreux accidents survenus depuis plusieurs années au niveau des conduites transportant des gaz combustibles, semblent être attribués à ce phénomène.

Les charges électrostatiques sont engendrées par les collisions successives sur la paroi du tube de particules solides en suspension dans le gaz.

Plusieurs remèdes ont été adoptés par les compagnies de distribution de gaz afin d'éliminer ces charges. Malheureusement, ils ne sont pas totalement efficaces et leur mise en œuvre est souvent très difficile.

(*) Actuellement à la Faculté des Sciences de Tétouan, Maroc.

(**) AICHI Institute of Technology, Toyota, Japan.

(***) Université Française du Pacifique.

Ce n'est alors qu'à partir d'une analyse systématique et fondamentale du processus qui en est la cause que l'on pourra comprendre réellement ce phénomène et réduire ses effets néfastes.

Nous nous sommes proposés d'entreprendre dans cette étude, essentiellement expérimentale, l'analyse du phénomène de transfert de charges en fonction de l'angle d'impact, de la vitesse d'impact, des dimensions et de la charge d'origine des particules.

2. Rappels bibliographiques.

Beaucoup de travaux se sont succédé sur le transfert de charges par collision d'une particule avec une paroi solide [1-7]. Le processus de transfert de charges est particulièrement complexe et lié à des phénomènes quantiques. La plupart des hypothèses émises admettent que la charge échangée est proportionnelle à la différence des fonctions de travail, cependant si ces fonctions peuvent être définies dans le cas des métaux, cette détermination est beaucoup plus difficile dans le cas des isolants.

Néanmoins Cole donne une formulation empirique relativement simple de la charge totale en fonction de la charge d'origine et du nombre de chocs subis par la particule :

$$Q_T = (q_1/K) [1 - \exp(-Kn_c)] + Q_0 \exp(-Kn_c)$$

q_1 étant la charge due au potentiel de contact, Q_0 la charge d'origine (avant le premier choc), K un coefficient et n_c le nombre de chocs. Lorsque n_c devient très grand, alors Q_T tend vers la charge dite de saturation Q_S

$$Q_S = q_1/K.$$

Pour une particule ayant cette charge alors la charge d'impact est égale à 0.

3. Dispositif expérimental.

Il est composé figure 1, d'une pipette d'injection permettant d'envoyer des particules avec différentes vitesses initiales. Ces particules par frottement sont éjectées avec une charge initiale Q_0 . Elles passent alors dans un champ électrique qui joue le rôle de déflecteur puis frappent une électrode cible orientable. La connaissance de la trajectoire de la particule (chargée de sa charge d'origine) dans le champ électrique, nous permet de déterminer cette charge. La charge d'impact, elle, est mesurée grâce à un électromètre Keithley 610 C. Les électrodes utilisées sont, soit en cuivre, soit en polyéthylène noir (avec 2 % de noir de carbone, $\rho \approx 0,8 \times 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$), soit en polyéthylène jaune ($\rho \approx 2 \times 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$). Les particules sont des microbilles de verre sodocalcique de différents diamètres ($\rho \approx 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$).

4. Résultats expérimentaux.

Au moment du choc d'une particule avec l'électrode, la particule recueille une charge que nous appelons la charge d'impact. Après le choc, la charge totale de la particule Q_T est égale à la somme de sa charge avant le choc Q_0 (appelée charge d'origine) et de la charge d'impact Q_1 . Ainsi, $Q_T = Q_1 + Q_0$.

Nous avons étudié la variation de cette charge d'impact par unité de masse en fonction de plusieurs paramètres.

4.1 EN FONCTION DE L'ANGLE D'IMPACT. — Nous voyons, sur les figures 2 à 4, l'évolution de la charge d'impact en fonction de l'angle d'impact pour un échantillon de particule de 200 μm de diamètre environ, une vitesse d'impact de 130 cm/s, et pour des charges d'origine positives

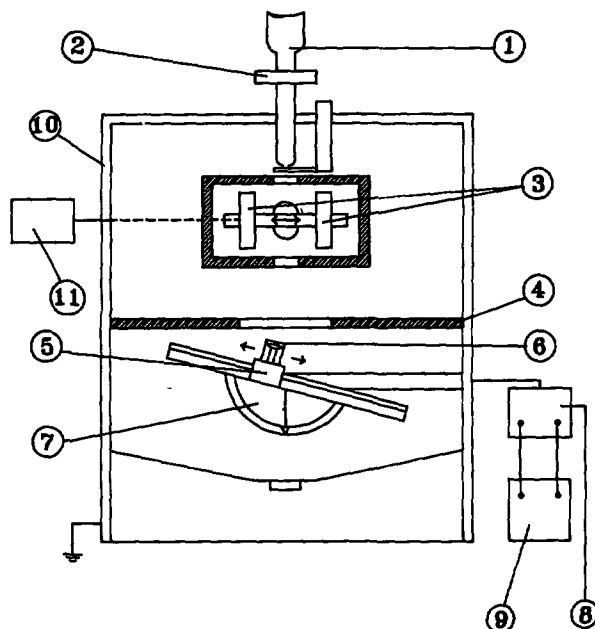


Fig. 1. — Dispositif expérimental. (1) Pipette d'injection des particules ; (2) Vibreur électrique ; (3) Armatures défectrices ; (4) Ecran électrique ; (5) Support de P.T.F.E. ; (6) Electrode de mesure ; (7) Dispositif de variation d'inclinaison ; (8) Electromètre (Keithley 610 C) ; (9) Système d'acquisition (LSI11/02) ; (10) Blindage électrique ; (11) Alimentation haute tension.

[Experimental equipment. (1) Reservoir of particles ; (2) Electrical vibrator ; (3) Electrodes for deflection ; (4) Electrical shield ; (5) Support (P.F.T.E.) ; (6) Measuring electrode ; (7) Device for impact angle variation ; (8) Electrometer (Keithley 610 C) ; (9) Data acquisition system (LSI11/02) ; (10) Faraday cage ; (11) High voltage power supply.]

et négatives. Nous constatons que la charge d'impact varie de façon importante avec l'angle d'impact. De plus, la charge d'origine conduisant à une charge d'impact nulle est toujours négative, cette valeur correspond à la charge dite de saturation.

4.2 EN FONCTION DE LA VITESSE D'IMPACT. — Nous voyons, figure 5, l'évolution de la charge d'impact en fonction de la vitesse au moment du choc pour des particules de $200\ \mu\text{m}$ et une électrode de cuivre. Cette évolution suit une loi de la forme AV^7 , A étant une constante dépendant de la charge d'origine. Ce type de loi montre que la charge échangée n'est pas simplement proportionnelle à l'énergie cinétique de la particule incidente, mais que le phénomène est plus complexe.

4.3 EN FONCTION DU DIAMÈTRE DES PARTICULES. — L'évolution, en fonction du diamètre des particules, est représentée figure 6 pour le polyéthylène noir et une vitesse de $130\ \text{cm/s}$. Comme l'avait montré Benmadda [7], la charge d'impact par unité de masse est décroissante en fonction du diamètre des particules et suit grossièrement une loi du type $A'D_p^{-1} + B'$. Ce qui signifie que cette même charge d'impact par particule est proportionnelle au carré du diamètre de la particule et par conséquent, à la surface de contact au moment du choc [1].

4.4 EN FONCTION DE LA CHARGE D'ORIGINE. — Nous voyons, figure 7, l'évolution de la charge d'impact en fonction de la charge d'origine pour une vitesse de $130\ \text{cm/s}$ et des

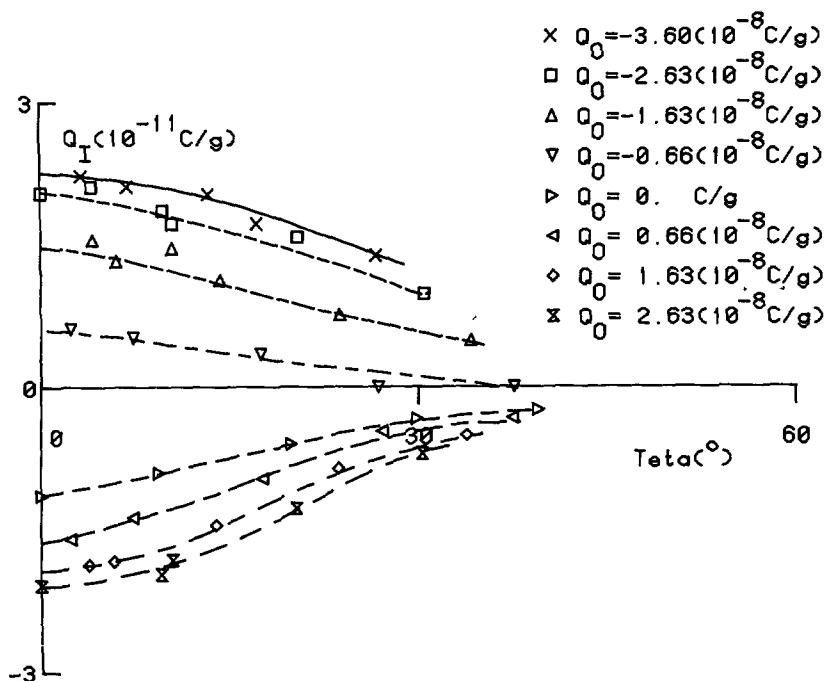


Fig. 2. — Charge d'impact en fonction de l'angle d'impact pour une électrode de cuivre.
[Impact charge in terms of impact angle for a copper electrode.]

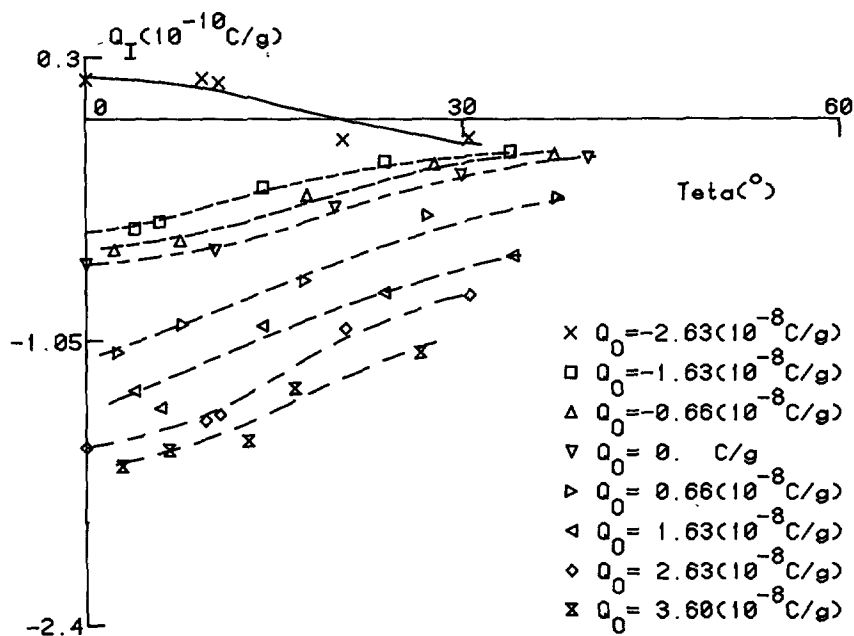


Fig. 3. — Charge d'impact en fonction de l'angle d'impact pour une électrode en polyéthylène noir.
[Impact charge in terms of impact angle for a black polyethylene electrode.]

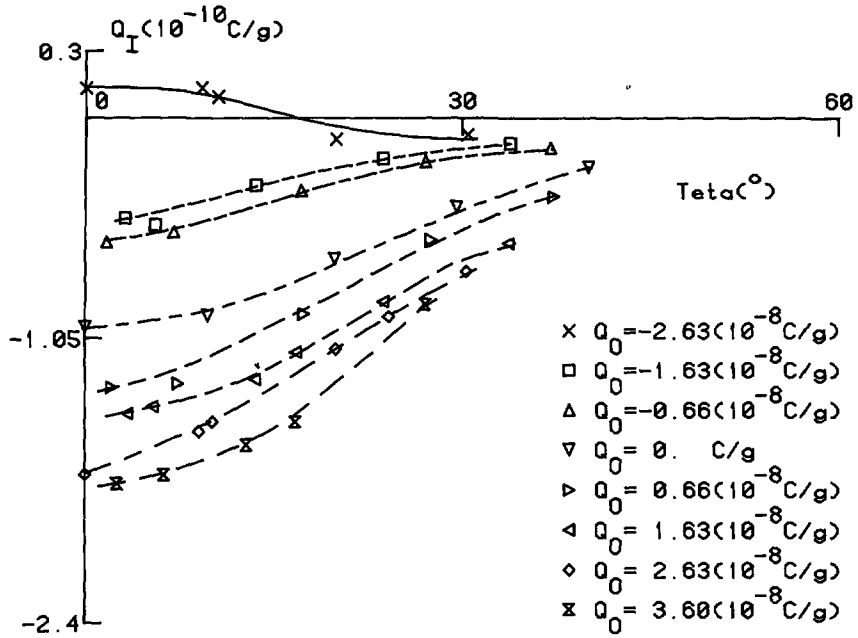


Fig. 4. — Charge d'impact en fonction de l'angle d'impact pour une électrode en polyéthylène jaune.

[Impact charge in terms of impact angle for a yellow polyethylene electrode.]

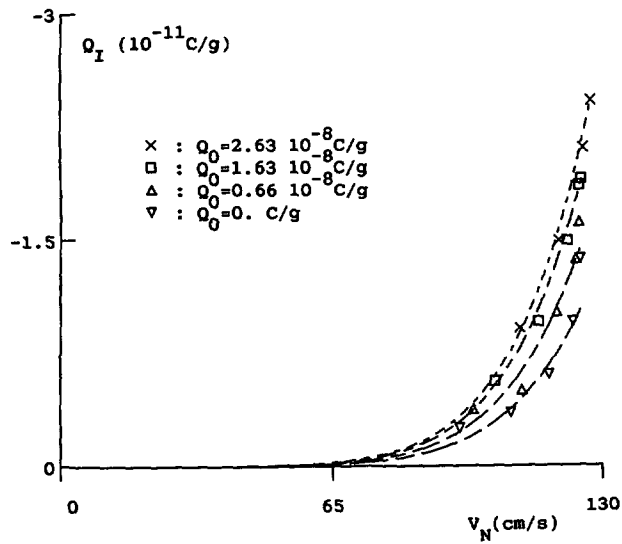


Fig. 5. — Charge d'impact en fonction de la vitesse d'impact.

[Impact charge in terms of impact velocity.]

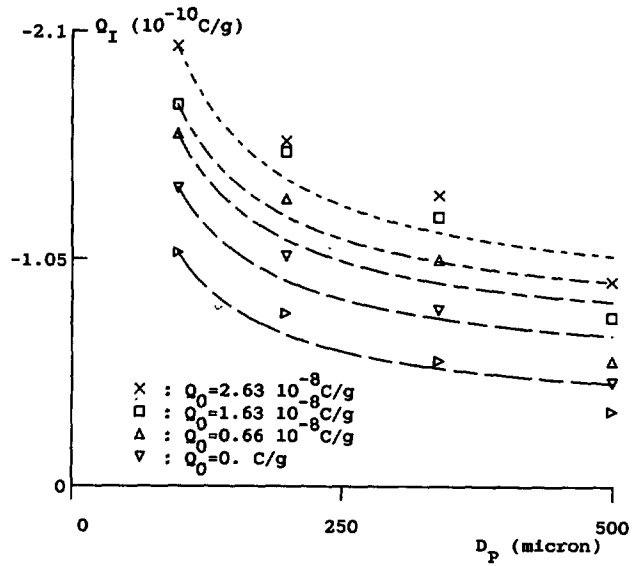


Fig. 6. — Charge d'impact en fonction du diamètre des particules.

[Impact charge in terms of particles diameters.]

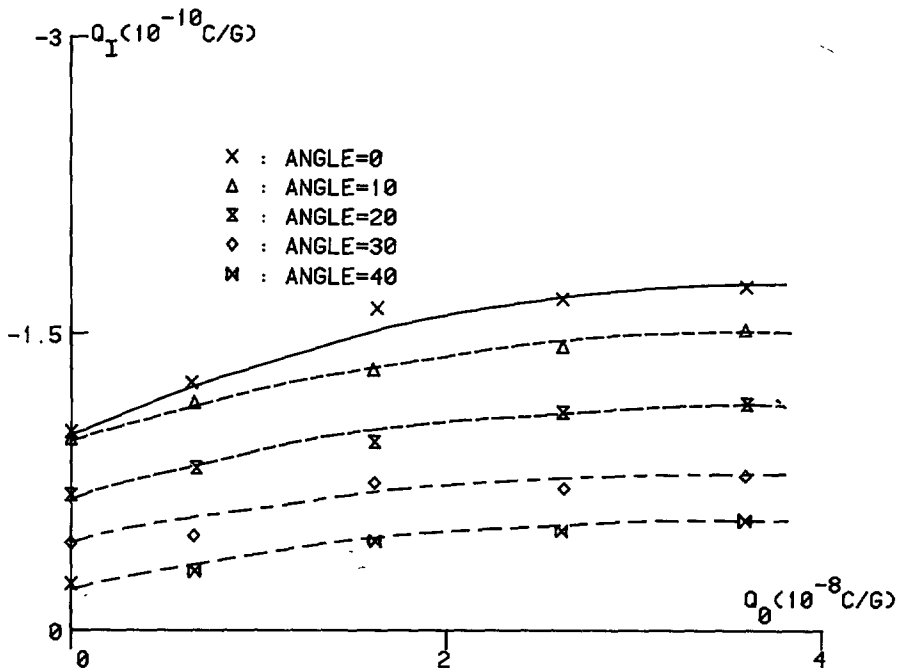


Fig. 7. — Charge d'impact en fonction de la charge d'origine.

[Impact charge in terms of original charge.]

particules de $200\ \mu\text{m}$. D'après Cole [1], la charge échangée au moment du choc est proportionnelle à la différence entre le potentiel de contact et le potentiel induit par la particule lorsque celle-ci a une charge initiale. Selon cette hypothèse, l'évolution de la charge d'impact devrait être linéaire en fonction de la charge d'origine, en fait, il semble qu'elle ne le soit pas, cette différence peut être due à une perte de charges par conduction au moment du contact.

5. Influence de la nature de l'électrode.

La charge d'impact est fonction de la nature de la plaque bombardée. Ainsi, nous avons pu remarquer que la charge d'impact augmentait en valeur absolue avec la résistivité de l'électrode.

Par exemple, pour des particules de $200\ \mu\text{m}$, avec une charge initiale nulle et un impact normal à l'électrode, la charge échangée est de $10^{-11}\ \text{C/g}$ pour le cuivre, $7 \times 10^{-11}\ \text{C/g}$ pour le polyéthylène noir et $10^{-10}\ \text{C/g}$ pour le polyéthylène jaune.

Ainsi, la charge échangée est vraisemblablement fonction de la différence des travaux d'extraction, mais comme nous l'avons signalé précédemment, cette relation reste très difficile à quantifier.

6. Détermination de l'évolution de la charge totale en fonction du nombre de chocs.

Cette évolution est très intéressante. En effet, elle peut nous permettre de savoir quand, dans un écoulement, les particules ont atteint leur charge de saturation et par conséquent, le courant de paroi devient nul.

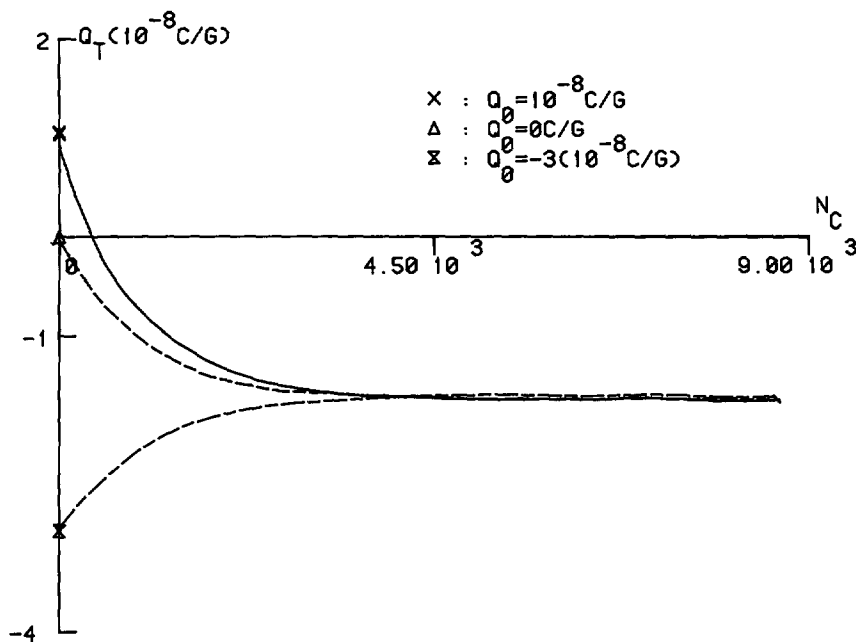


Fig. 8. — Charge totale en fonction du nombre de chocs et de la charge d'origine pour une électrode en cuivre.

[Total charge in terms of number of shocks and original charge for a copper electrode.]

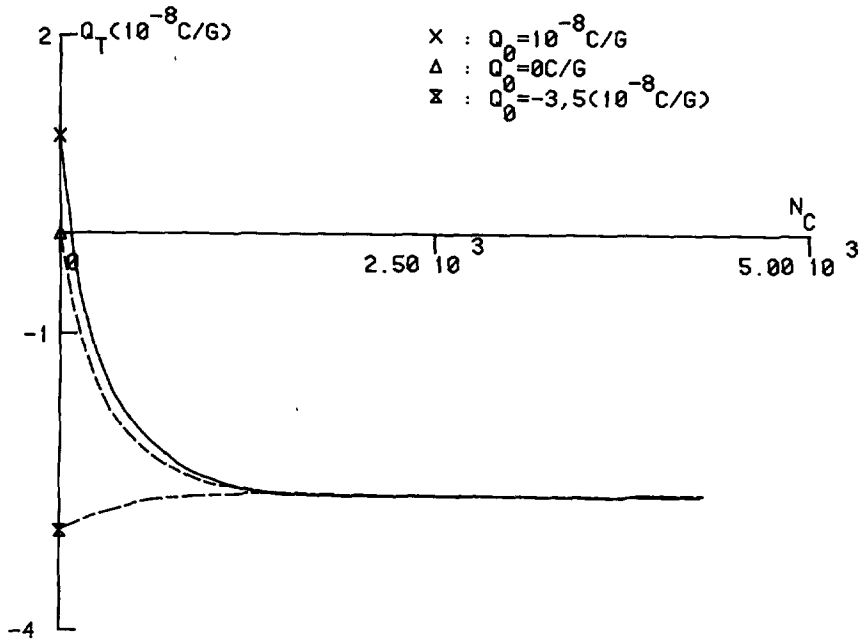


Fig. 9. — Charge totale en fonction du nombre de chocs et de la charge d'origine pour une électrode en polyéthylène noir.

[Total charge in terms of number of shocks and original charge for a black polyethylene electrode.]

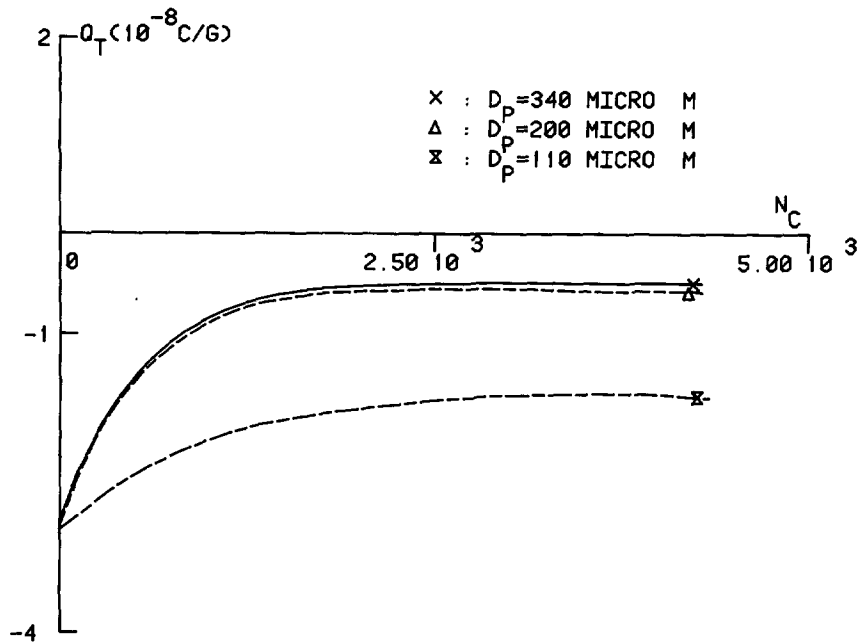


Fig. 10. — Charge totale en fonction du nombre de chocs et du diamètre des particules pour une électrode en cuivre.

[Total charge in terms of number of shocks and particles diameter for a copper electrode.]

Nous avons vu que nous pouvions obtenir la valeur de la charge de saturation Q_S grâce à l'évolution de la charge d'impact en fonction de la charge d'origine. Par ailleurs, nous connaissons pour une valeur donnée de Q_0 la charge d'impact pour le premier choc ($n_c = 1$). La formule de Cole s'écrit alors :

$$Q_T = Q_S[1 - \exp(-Kn_c)] + Q_0 \exp(-Kn_c)$$

avec

$$K = \log \left(\frac{Q_0 - Q_S}{Q_{i1} + Q_0 - Q_S} \right)$$

(Q_{i1} charge d'impact au premier choc).

Nous avons tracé l'évolution de Q_T en fonction de n_c pour différentes valeurs de la charge d'origine. Nous remarquons que la charge de saturation est atteinte beaucoup plus lentement dans le cas du cuivre, figure 8, que dans le cas du polyéthylène noir, figure 9. De même, cette charge de saturation dépend fortement du diamètre des particules, figure 10.

7. Conclusion.

La charge d'impact par unité de masse de particules de verre venant frapper une électrode de cuivre ou de polyéthylène noir ou de polyéthylène jaune est décroissante en valeur absolue en fonction de l'angle d'impact, croissante en fonction de la vitesse, décroissante en fonction du diamètre des particules et croissante en fonction de la charge initiale. Elle est également fonction de la nature de l'électrode ; ainsi, la charge de saturation est atteinte pour un nombre de chocs beaucoup plus faible dans le cas du polyéthylène noir que dans le cas du cuivre.

Bibliographie

- [1] COLE B. N., BAUM M. R., MOBBS F. R., An investigation of electrostatic charging effects in high speed gas-solid pipe flows, *Proc. Inst. Mech. Engr.* **3C** (1970) 77-83.
- [2] COLE B. N., BOWERS H. M., MOBBS F. R., A theory for the high speed flow of gas-solids mixtures under conditions of equilibrium and fractional log, *Proc. Inst. Mech. Engr.* **3C** (1970) 59-66.
- [3] LOEB L. B., Static electrification (Springer Berlin) 1958.
- [4] MASUDA H., KOMATSU T., MITSUI N., IINOYA K., Electrification of gas-solid suspensions flowing in steel and insulating coated pipes, *J. Electrostat.* **2** (1977) 341-350.
- [5] MASUDA H., KOMATSU T., IINOYA K., The static electrification of particles in gas-solids pipes flow, *AICHE J.* **22** (1976) 558-564.
- [6] KITAKA S., MASUI N., MURATA Y., A method for measuring the charging tendency of powder in pneumatic conveyance through metal pipes, *J. Electrostat.* **6** (1979) 181-190.
- [7] BENMADDA M., Etude du transport de charges dans les gaz empoussiérés, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Poitiers (1986).