

- Appareil de protection respiratoire
- Stockage
- Utilisation
- Efficacité
- Filtre

► Sandrine CHAZELET, Alain MASSON,  
INRS, département Ingénierie des procédés

#### RESPIRATORY PROTECTIVE DEVICES WITH FILTERS – EFFECT OF THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF STORAGE AND USE ON THE PERFORMANCE OF THE FILTERS

Filters used in respiratory protective devices come in two categories: electret filters, used mainly in manufacturing disposable masks (made of electrically charged polymer fibres); and glass fibre filters, to be found in pleated form in cartridges (non-charged microfibres).

This study concerns identifying the environmental conditions of storage and use of these filters that can influence their performance. It constitutes a preliminary step in establishing a protocol for accelerated ageing of such filters.

The experimental approach consisted in measuring penetration (ratio of particle concentration exiting from the filter to particle concentration entering it) when new, and after exposure to an external parameter and the electric fields in the vicinities of the filters, in particular for electret filters.

This study made it possible to verify that variations in relative humidity and temperature over the ranges recommended by manufacturers, did not generate any reduction in the efficiency of the filters. The same applies for storing masks equipped with filters in the vicinity of machinery generating high electromagnetic fields and during accidental electrostatic discharges into the air in the vicinities of the filters.

Of all of the parameters studied, only forced neutralization generated a significant reduction in the filtering efficiency of the electrets filters. The charges carried by such filters and that impart their very high level of performance to them are unstable. Thought is currently being given to these electrostatic effects in the course of work in updating the standardized protocols for testing such filters.

- Respiratory protective device
- Storage
- Use
- Efficiency
- Filter

# APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE FILTRANTS

## EFFET DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DE STOCKAGE ET D'UTILISATION SUR LES PERFORMANCES DES FILTRES

Les filtres utilisés dans les appareils de protection respiratoire se divisent en deux catégories: les filtres électrets principalement utilisés dans la fabrication des masques jetables (constitués de fibres de polymère chargées électriquement) et les filtres en fibres de verre présents sous forme plissée dans les cartouches (microfibres non chargées).

L'étude, objet de cet article, concerne l'identification des conditions environnementales de stockage et d'utilisation de ces filtres pouvant influencer sur leurs performances. Elle constitue une étape préliminaire à l'établissement d'un protocole de vieillissement accéléré de ces filtres.

La démarche expérimentale a consisté en la mesure de la perméance (rapport de la concentration en particules en sortie du filtre sur celle à l'entrée) à l'état neuf et après exposition à un paramètre extérieur et du champ électrique au voisinage des filtres, en particulier pour les filtres électrets.

Cette étude a permis de vérifier que des variations en humidité relative et en température, sur les plages préconisées par les fabricants, ne généraient pas de baisse d'efficacité des filtres. Il en est de même pour le stockage de masques filtrants au voisinage de machines générant de forts champs électromagnétiques et lors de décharges électrostatiques accidentelles dans l'air au voisinage des filtres. Sur l'ensemble des paramètres étudiés, seule la neutralisation forcée génère une baisse significative de l'efficacité de filtration des filtres électrets. Les charges portées par ces filtres et qui leur confèrent leur très haut niveau de performances sont labiles. Ces effets électrostatiques font actuellement l'objet de réflexions dans le cadre de l'évolution des protocoles normalisés de test de ces filtres.

Les prescriptions en matière de tests de certification des Appareils de Protection Respiratoire (APR) et les essais de performance des APR filtrants sont rassemblées dans les normes européennes harmonisées suivantes :

■ EN143 [1] pour les filtres pouvant être utilisés avec une pièce faciale ;

■ EN149 [2] pour les pièces faciales filtrantes constituées en majeure partie du matériau filtrant.

L'une de ces exigences concerne la durée limite de stockage « avant utilisation » des appareils. Ainsi, les fabricants doivent fournir des préconisations en termes de conditions de stockage (température, humidité). Ces conditions sont laissées à l'initiative du fabricant qui se limite à déclarer ce qu'il considère comme le plus adapté, sans que cela soit vérifié par l'organisme notifié en charge de la certification.

Mais il n'existe à l'heure actuelle pas de méthodologie pour s'assurer de la pertinence des durées et conditions de stockage. Cependant, la directive EPI 89/686/CEE du 21/12/1989 [3] spécifie que si une exigence est exprimée, une méthode de vérification ou d'essai doit y être associée. En dehors de l'expérience acquise par chacun, aucun élément objectif ne peut être pris en considération.

Après avoir recensé les différents types de matériaux filtrants utilisés dans la conception des équipements, qu'ils soient de type « mécanique » utilisant des papiers microfibrilles de verre ou « électrostatique » utilisant principalement des fibres polypropylène, une campagne d'essais a été menée sur l'influence de divers paramètres environnementaux susceptibles d'influer sur les performances de ces filtres. Par ailleurs, d'un point de vue plus prospectif, des tests d'exposition des filtres aux rayonnements électromagnétiques et aux décharges électrostatiques ont été réalisés. Cette étude paramétrique est un préalable à l'étude proprement dite du vieillissement des filtres.

## DESCRIPTION DES FILTRES ÉTUDIÉS

Au cours de cette étude, les deux catégories de médias filtrants utilisés dans la réalisation des filtres des APR et des appareils eux-mêmes ont été étudiées, à savoir le papier microfibrilles de verre et les médias en fibres de polypropylène pouvant être chargées électriquement. Ces médias fibreux bruts (avant mise en forme) ont été obtenus auprès d'un fabricant de tous types d'APR, notamment filtrants.

Le premier type de filtre est constitué de fibres de verre non chargées. Il rentre dans la fabrication des filtres dits réutilisables équipant les APR de type masque complet ou demi-masque mais également les appareils à ventilation assistée. Une fois mis en forme, il se présente sous forme plissée ce qui en accroît les performances de filtration par l'augmentation de la surface filtrante. Deux illustrations de la structure de ce média et de sa mise en forme sont présentées *Figures 1 et 2*.

Dans la réalisation de ces filtres amovibles (*Cf. Figure 2*) qui viennent équiper

les pièces faciales (masque complet, par exemple) interviennent des colles, des liants qui peuvent être altérés, indépendamment du média fibreux, par exemple sous l'effet de la température. Certains tests ont donc été menés sur ces filtres complets, notamment l'étude de l'influence de l'humidité et de la température.

Le second type de filtre étudié est celui des filtres électrostatiques dits électrets. La propriété principale de ces médias filtrants, généralement constitués de fibres de polymère, est que leurs fibres sont chargées électriquement lors de leur fabrication. Il en résulte un accroissement important de l'efficacité de filtration de ces médias à perte de charge constante, ce qui les rend particulièrement attractifs. Ces médias filtrants sont utilisés dans la réalisation des demi-masques jetables. Deux séries d'échantillons de filtres électrostatiques ont été testées : la première concerne des filtres de classe P1 et la seconde des filtres de classe P2, tous deux constitués de fibres de polypropylène. Deux illustrations des médias utilisés lors de l'étude, à l'échelle microscopique et macroscopique sont données *Figures 3 et 4*.

FIGURE 1

Observation au Microscope Electronique à Balayage de la structure interne du média filtrant de classe P3<sup>1</sup> (fibres de verre ; compacité : 0,071 ; diamètre moyen géométrique des fibres : 1,3 µm - écart type géométrique  $\sigma_g = 1,4$ )

<sup>1</sup> La classification des filtres à particules pour les appareils de protection respiratoire est référencée dans la norme européenne NF EN 143 [1].

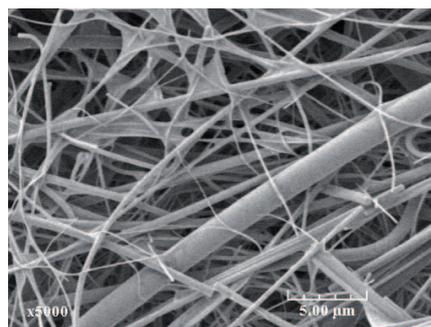


FIGURE 2

Illustration du plissage du filtre en fibres de verre



FIGURE 3

Observation au Microscope Electronique à Balayage de la structure interne du média filtrant de classe P2 (fibres de polypropylène; compacité: 0,134; diamètre moyen géométrique des fibres: face A: 20,1  $\mu\text{m}$  -  $\sigma\text{g} = 1,8$ , face B: 3,3  $\mu\text{m}$  -  $\sigma\text{g} = 1,2$ )

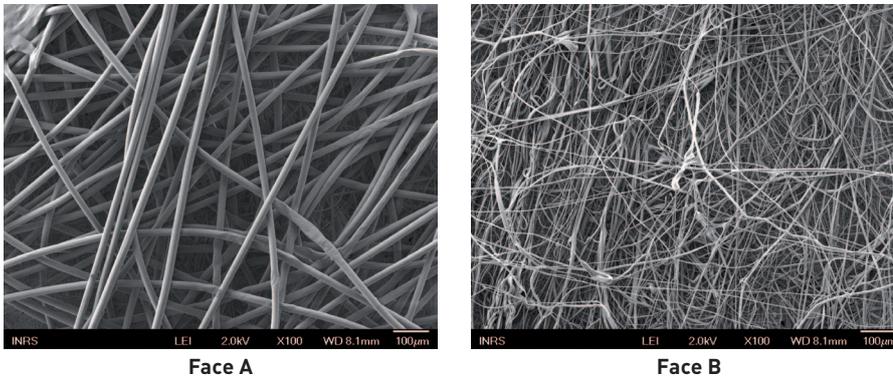
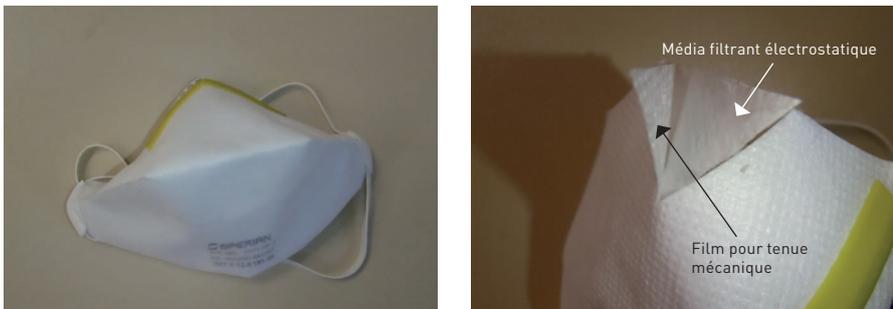


FIGURE 4

Demi-masque jetable constitué de deux couches: un film pour la tenue mécanique et une épaisseur de média électret de classe P1



## MÉTHODES D'ESSAIS

Le banc d'essais utilisé ainsi que le détail des protocoles expérimentaux sont précisés en Annexe.

### CARACTÉRISATION DES PERFORMANCES DES FILTRES

Le paramètre utilisé pour quantifier l'efficacité de filtration pour une tranche granulométrique « i » est la perméance  $P_i$  définie par l'équation (1).

$$P_i = \frac{C_{\text{aval},i}}{C_{\text{amont},i}} \quad (1)$$

avec  $C_{\text{aval},i}$  et  $C_{\text{amont},i}$  respectivement les concentrations en particules à l'aval et à l'amont du filtre dans la tranche granulométrique « i ».

Ce paramètre est choisi du fait du haut niveau d'efficacité des filtres étudiés. Il est mesuré expérimentalement

par comptage des particules en amont et en aval du filtre balayé par un flux d'air chargé en aérosol de NaCl à une vitesse de 5 cm/s.

Six prélèvements alternés amont/aval sont réalisés successivement pour chaque mesure de perméance permettant un calcul d'incertitude sur la perméance moyenne obtenue.

Le second paramètre mesuré est le champ électrique moyen au voisinage des filtres. Ces mesures réalisées au moyen d'un moulin à champ sont spécifiques aux filtres électrets même si, pour avoir une référence, elles ont toujours été menées en parallèle sur les filtres en fibres de verre.

### PARAMÈTRES D'EXPOSITION

Les expositions auxquelles les filtres ont été soumis sont brièvement décrites dans le *Tableau I*. Ces paramètres ont été choisis d'une part en relation avec les

conditions de stockage extrêmes des filtres et, d'autre part, et de manière plus exploratoire, avec les conditions d'utilisation accidentelle de ceux-ci. Les plages étudiées sont volontairement larges et les intensités de champ volontairement maximales dans le but de mettre en évidence des effets sur l'efficacité de filtration des filtres.

## RÉSULTATS PRINCIPAUX

Les courbes qui sont présentées ci-dessous ne représentent que les points pour lesquels la précision est suffisante. Étant donné les faibles valeurs de perméance obtenues, les graphes ne fournissent généralement que la perméance sur la plage 0,1 - 0,5  $\mu\text{m}$ .

### EFFET DE L'HUMIDITÉ RELATIVE SUR LES PERFORMANCES DES FILTRES

Les *Figures 5 et 6* présentent l'évolution de la perméance en fonction de la taille des particules pour le filtre électret classé P1 et pour le filtre en fibres de verre classé P3.

Une légère dégradation de l'efficacité de filtration suite au premier cycle en humidité est observée à la *Figure 5* pour le filtre électret, effet qui ne s'accroît pas lors du deuxième cycle.

Néanmoins, cette variation ne modifierait pas la classe du filtre considéré (pour un filtre de classe P1, la perméance à environ 5 cm/s vis-à-vis d'un aérosol de diamètre médian en nombre de 0,42  $\mu\text{m}$  doit être inférieure à 0,2, pour le filtre P3 inférieure à  $5 \cdot 10^{-4}$ ).

Des tests sont réalisés dans le but de voir si l'humidité est susceptible de dégrader d'autres éléments constituant la cartouche filtrante après mise en forme du filtre en fibres de verre P3. Les variations obtenues dans le cas du filtre mis en forme ne sont pas significatives et ne s'accroissent pas avec le nombre de cycles.

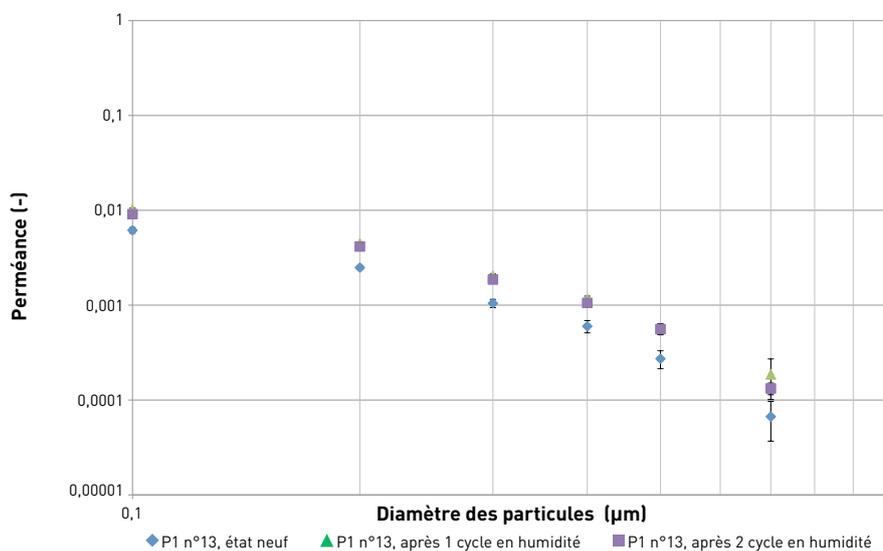
**TABEAU 1**

**Résumé des expositions**

Paramètre d'exposition	Plage	Moyen utilisé
Humidité relative à 25°C	Cycles de 12 h entre 20 % et 80 %	Enceinte climatique
Température à 50% RH	Cycles de 12 h entre -30°C et +70°C	Enceinte climatique
Neutralisation électrique		Bain d'isopropanol
Rayonnement électromagnétique	Champ électrique 350 V/m	Voisinage d'une presse haute fréquence
Décharge électrostatique	+16,5 kV et -16,5 kV	Pistolet ESD

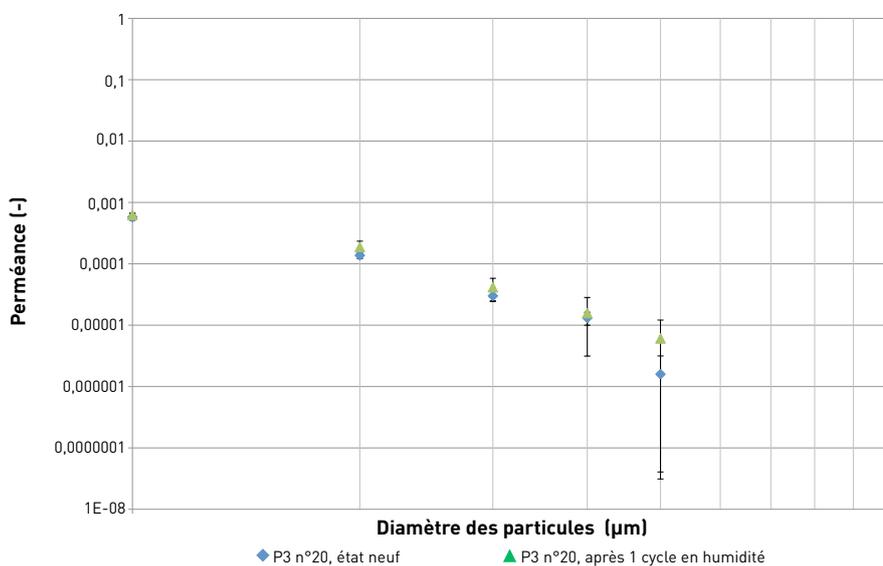
**FIGURE 5**

Perméance du filtre P1 (échantillon n° 13) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après 1 puis 2 cycles en humidité



**FIGURE 6**

Perméance du filtre P3 (échantillon n° 20) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après 1 cycle en humidité



**EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR LES PERFORMANCES DES FILTRES**

Deux exemples ont été choisis pour illustrer l'effet de ce paramètre : un filtre électret P1 (échantillon n° 33) et un filtre en fibres de verre P3 (échantillon n° 44) (Cf. Figures 7, 8)

Des essais complémentaires ont été menés sur des filtres P3 mis en forme en cartouche afin de constater si les variations de température n'étaient pas susceptibles de détériorer d'autres éléments du filtre (liants, colle...). Aucun effet significatif de la température n'est observé pour les filtres non chargés P3.

Comme dans le cas de l'étude de l'influence de l'humidité sur les performances des filtres électret, une augmentation de la perméance est observée après un cycle en température pour le filtre P1 (même résultat pour le filtre P2). Cet effet n'est pas accentué lors du second cycle. Deux hypothèses pourraient permettre d'expliquer cette variation. La première est liée à la structure polymère des fibres qui pourraient être altérées (température de transition vitreuse du polypropylène de -10°C) et la seconde est liée à l'état de charge des fibres qui pourrait évoluer légèrement avec la température. Onogi [4] évoque la dissipation de charge à partir de la surface d'un tissu à des températures de l'ordre de 20 à 30°C mais associée à des variations de l'humidité relative, ce qui n'est pas le cas dans nos essais (humidité relative maintenue à 50%).

Pour avoir des éléments complémentaires sur la pertinence de la première hypothèse, des cycles restreints à une plage basse de température ont été effectués, entre -30°C et +20°C, puis à la plage haute entre +20°C et +70°C. Les résultats sont présentés Figures 9 et 10 pour le filtre électret P1 (échantillons n° 98 et n° 80).

Ces résultats qui se retrouvent pour tous les échantillons de filtre électret, classés P1 ou P2, montrent que le passage à une température élevée est à l'origine de la baisse d'efficacité. Pour savoir si une altération des charges est associée à ce phénomène ou bien si l'effet porte sur la structure du filtre, des mesures de champ électrique au voisinage de la surface des filtres ont été faites et sont présentées en annexe 1 pour les cycles en températures basse et haute. Aucun effet électrique n'est

FIGURE 7

Perméance du filtre P1 (échantillon n° 33) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après 1 puis 2 cycles en température sur la plage - 30°C; + 70°C

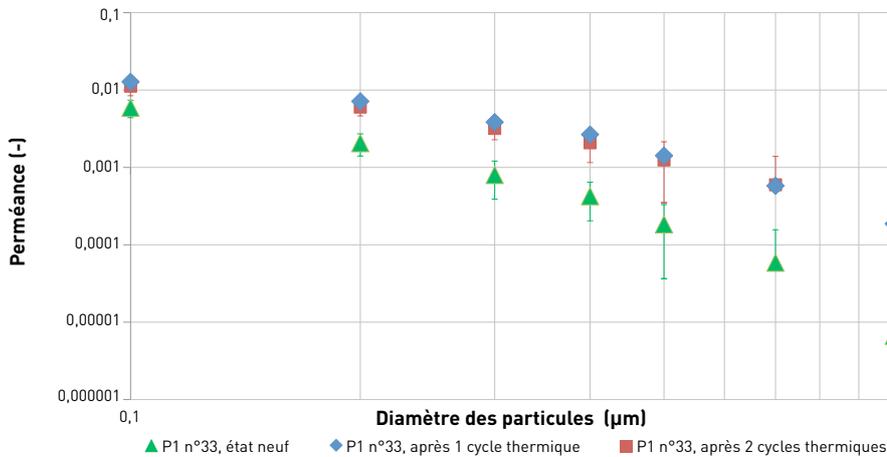


FIGURE 8

Perméance du filtre P3 (échantillon n° 44) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après 1 puis 2 cycles en température sur la plage - 30°C; + 70°C

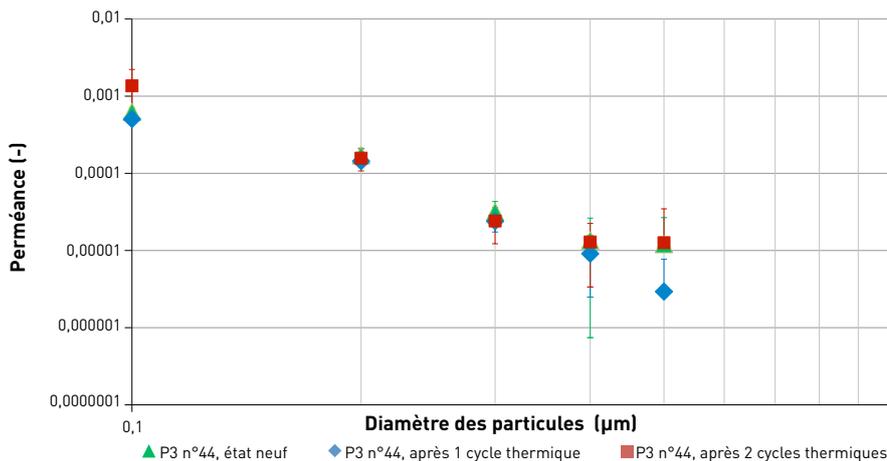
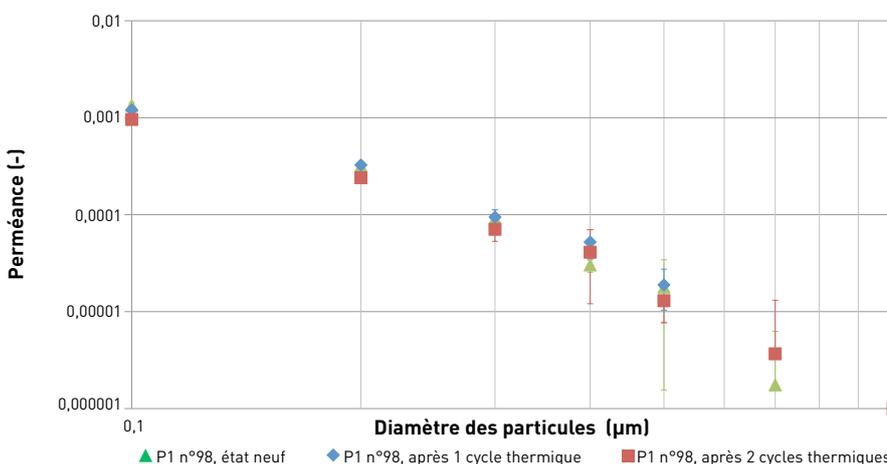


FIGURE 9

Perméance du filtre P1 (échantillon n° 98) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après 1 puis 2 cycles en température sur la plage - 30°C; + 20°C



observé ce qui laisserait supposer que la variation de perméance est due à une légère modification des propriétés physiques des fibres polymères du fait de la température. Après observation d'un échantillon de filtre électret avant et après cycle thermique et détermination de la distribution de tailles de fibres dans chaque cas sur 100 mesures, il n'a pas pu être mis en évidence de différences significatives entre les deux échantillons.

Tous ces éléments confirment le fait que, malgré une faible augmentation de leur perméance, les filtres électrets conservent leurs propriétés filtrantes et, notamment, la classe à laquelle ils appartenaient à l'état neuf.

### EFFET DE LA NEUTRALISATION SUR LES PERFORMANCES DES FILTRES

Deux exemples des résultats obtenus pour cette étude sont fournis sur les Figures 11 et 12 pour le filtre électret P2 et pour le filtre non chargé P3.

Le résultat de la neutralisation à l'isopropanol est une brutale augmentation de la perméance du filtre électret P2, résultat identiquement observé pour le filtre P1. Dans ce cas, le filtre classé P2 à l'état neuf ne conserve plus ses propriétés filtrantes, basées essentiellement sur des forces électrostatiques (dites coulombiennes), après neutralisation (pour un filtre de classe P2, la perméance à environ 5 cm/s vis-à-vis d'un aérosol de diamètre médian en nombre de 0,42 µm doit être inférieure à 0,06). Cette explication est renforcée par les mesures au moulin à champ du champ électrique au voisinage des filtres, qui passe de - 46 kV/m à - 2 kV/m pour un échantillon du filtre P1, par exemple (cf. @nnexe 2).

Dans le cas du filtre en fibres de verre de classe P3, deux des quatre échantillons testés ne présentent aucune variation de la perméance après neutralisation. Les deux autres présentent une légère remontée de la perméance qui ne modifierait pas la classe du filtre neuf. Cette légère variation peut s'expliquer par une dégradation des fibres de verre au contact de la solution d'isopropanol. Il est en effet connu que ces fibres se délitent dans de l'eau, par exemple.

FIGURE 10

Perméance du filtre P1 (échantillon n° 80) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après 1 puis 2 cycles en température sur la plage + 20°C, + 70°C

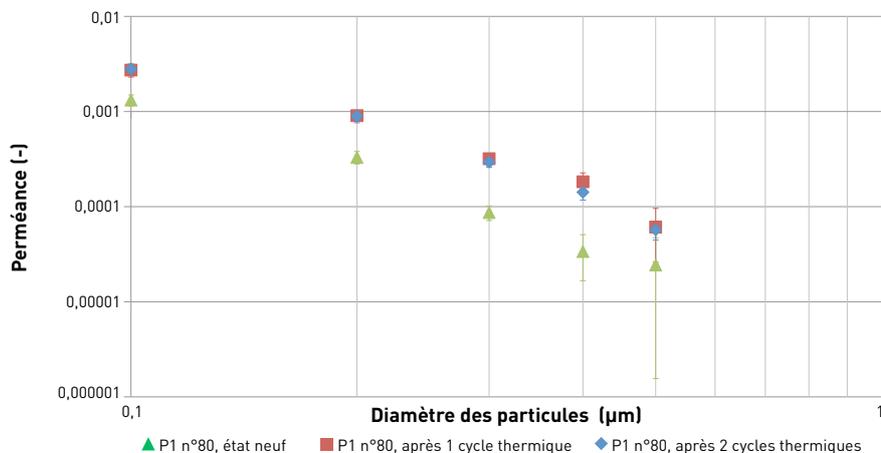


FIGURE 11

Perméance du filtre P2 (échantillon n° 26) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après neutralisation

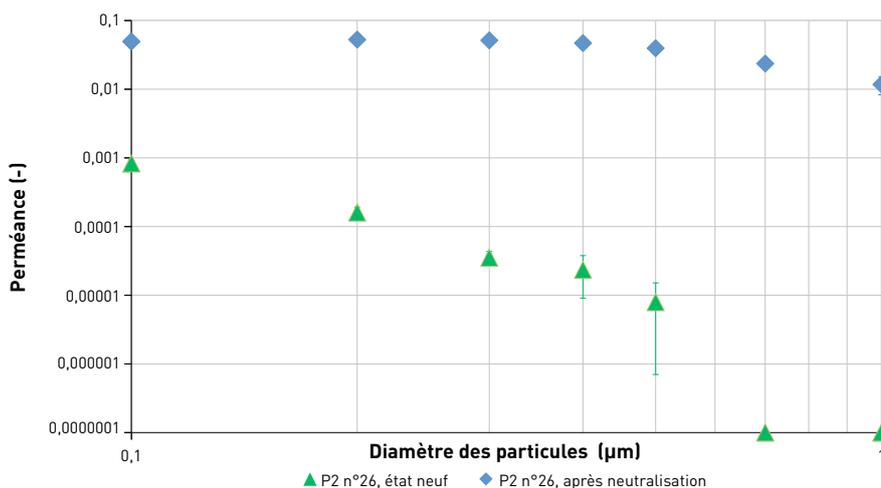
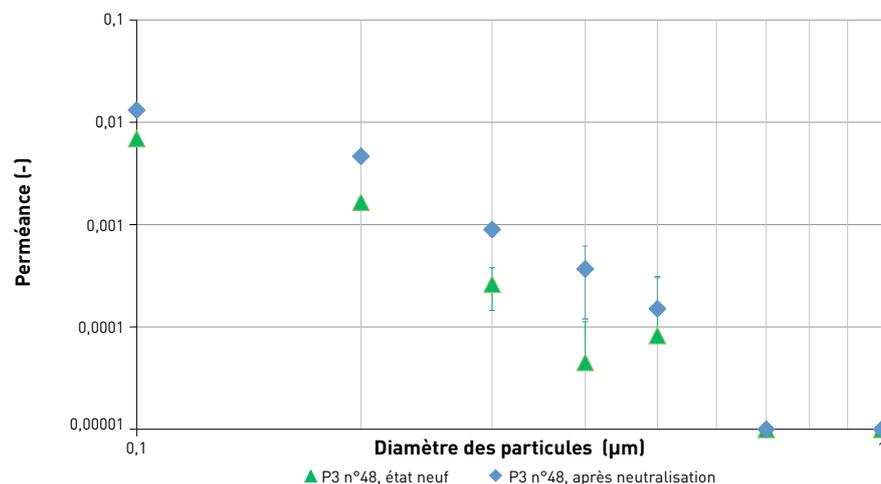


FIGURE 12

Perméance du filtre P3 (échantillon n° 48) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après neutralisation



## EFFET D'UN CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LES PERFORMANCES DES FILTRES

Les Figures 13 et 14 illustrent les résultats obtenus avec un échantillon de filtre électret P2 (n° 67) et un échantillon de filtre en fibres de verre P3 (n° 88) après passage au voisinage de la presse haute fréquence.

Pour chacun des échantillons étudiés, la variation de la perméance est négligeable. Ce résultat est conforté par les mesures faites au moulin à champ qui n'évoluent pas suite à cette exposition (cf. @nnexe 3).

## EFFET DE DÉCHARGES ÉLECTROSTATIQUES SUR LES PERFORMANCES DES FILTRES

Les résultats obtenus présentant le plus d'écart entre la perméance du filtre à l'état neuf et celle obtenue après dix décharges électrostatiques sont représentés Figure 15 pour le filtre électret P2 pour des décharges positives. Le résultat est similaire pour des décharges négatives.

Les différences mesurées pour le filtre électret P1 sont équivalentes et pour le filtre en fibres de verre P3 plus faibles et donc non significatives.

Une légère variation de la perméance est observée qui peut s'expliquer soit par une modification de l'état de charge du fait de l'application locale d'une haute tension, soit par le percement du filtre au niveau de la pointe du pistolet générant la décharge. Des observations des filtres sur table lumineuse n'ont pas pu mettre en évidence de percements. Des mesures du champ électrique au voisinage des filtres au moulin à champ ont donc été effectuées. Elles sont regroupées pour les trois types de filtres à l'@nnexe 4.

Contrairement à ce que l'on aurait pu imaginer à la vue des mesures de perméance, les champs varient fortement après décharge électrostatique mais cela ne semble pas influencer l'efficacité de filtration des médias. Il est vrai que les valeurs de champs restent fortes même si elles changent de signe pour certains échantillons. Les mécanismes de capture par forces coulombiennes sont donc toujours prédominants dans la capture des particules. Par ailleurs, le champ mesuré est un champ net. Or,

FIGURE 13

Perméance du filtre P2 (échantillon n° 67) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après passage au voisinage de la presse haute fréquence

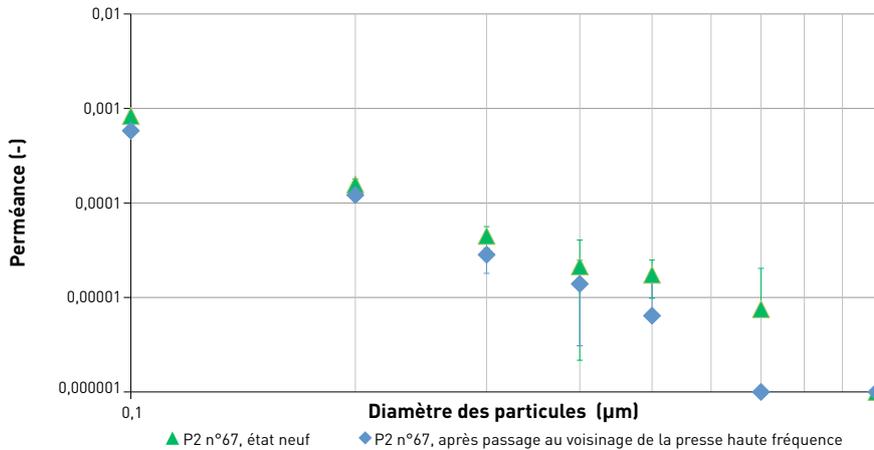


FIGURE 14

Perméance du filtre P3 (échantillon n° 88) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après passage au voisinage de la presse haute fréquence

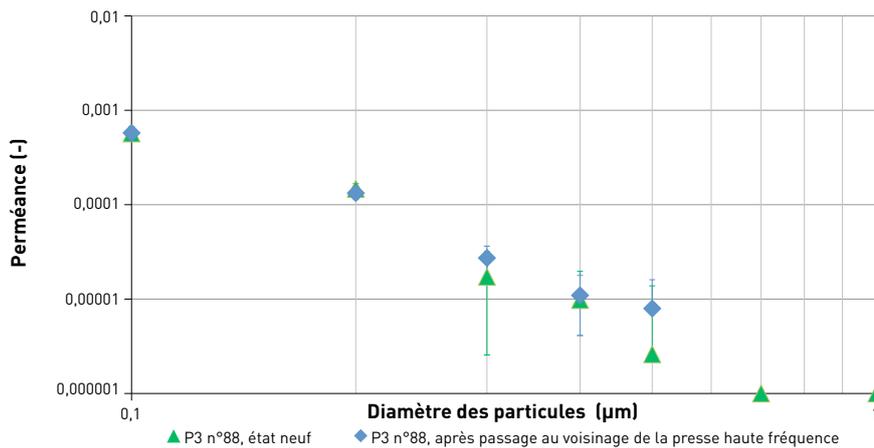
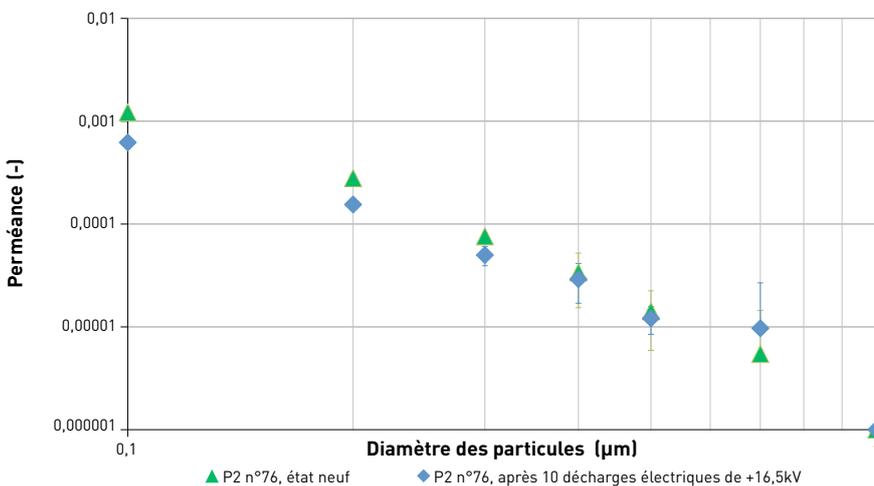


FIGURE 15

Perméance du filtre P2 (échantillon n° 76) en fonction du diamètre des particules à l'état neuf et après 10 décharges électrostatiques de +16,5 kV



certain auteurs [5] rapportent des analyses hétérogènes de la distribution de charges des fibres au sein d'un même média (dans le cas du polypropylène: 2/3 de fibres positives et 1/3 négatives en général). La décharge électrostatique a peut-être simplement réorganisé les charges au sein de l'échantillon de filtre.

Pour conclure sur l'influence de ce paramètre sur la classe du filtre testé, les décharges étudiées, réglées pourtant à la valeur maximale possible, n'ont pas d'effet sur le niveau d'efficacité des filtres.

## DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le travail présenté dans cet article constitue le préalable à toute étude sur une dégradation dans le temps de la performance des filtres. Il s'est en effet orienté vers la mise en évidence des paramètres susceptibles d'altérer les performances des filtres lors de leur stockage mais également lors de leur manipulation avec le but de valider ou non les recommandations des fabricants en termes de conditions de stockage. Deux approches ont été proposées: celle de l'évolution de la perméance du filtre et, pour les filtres électrets, celle du champ électrique au voisinage du filtre.

Cette étude a permis de vérifier que des variations en humidité relative et en température, sur les plages des conditions de stockage préconisées par les fabricants, ne risquaient pas de générer de baisse d'efficacité des filtres. Par ailleurs le stockage ou le port de masques filtrants au voisinage de machines générant de forts champs électromagnétiques ne semble pas modifier la classe de celui-ci. Il en est de même lors de décharges électrostatiques accidentelles dans l'air au voisinage des filtres.

Sur l'ensemble des paramètres étudiés (humidité relative, température, contact avec un alcool, champ magnétique et décharge électrostatique), seule la mise en contact avec l'isopropanol génère une modification significative de la perméance, c'est-à-dire du niveau d'efficacité du filtre étudié et cela, uniquement sur les filtres électrets. Les charges portées par les fibres sont neutralisées

par cette procédure qui est déjà en vigueur dans les normes de test des filtres de ventilation générale mais pas dans celles ayant trait aux filtres pour la protection respiratoire. L'étude pourrait être approfondie par des mesures de perméance des filtres électrets non plus après trempage dans de l'isopropanol liquide mais après balayage par des vapeurs d'isopropanol (ou d'alcool, plus généralement).

Cette étude permet de soulever une question sur l'évolution des protocoles normalisés de test des filtres pour la protection respiratoire. L'utilisation importante des filtres électrets dans les masques jetables, qui se justifie par le très haut niveau d'efficacité obtenue pour une perte de charge réduite, pose la question de la stabilité de ces charges dans le temps, comme il a été démontré dans l'étude. Ce point devrait être pris en compte dans les protocoles normalisés. S'il semble évident qu'un test de neutralisation à l'isopropanol ne rend pas forcément compte du niveau réel de performance du filtre, il est important de prendre conscience de la fragilité des charges portées par ces filtres dont l'efficacité est entièrement contrôlée par celles-ci.

L'évolution de la perméance des filtres électrets au cours de leur colmatage, point non développé dans cette étude, constitue une perspective intéressante à ce travail. S'il est bien connu que

l'efficacité de filtration d'un filtre non chargé en fibres de verre augmente avec son colmatage, la littérature rapporte des essais de colmatage des filtres électrets dont l'efficacité diminue du fait de la neutralisation ou du masquage des charges portées par les fibres par les particules déposées [6]. Les tests normalisés ont déjà intégré en partie cet aspect dans l'amendement à la norme EN 143 en incluant une mesure de perméance après génération d'une certaine masse de particules. Ces tests permettent en effet d'identifier un comportement propre aux filtres électrets, sans pour autant obtenir la valeur minimale de la perméance du filtre lors de son utilisation. Des essais plus poussés d'évolution de la perméance des filtres électrets au cours de leur colmatage pourraient mettre en évidence les limites de performance de ces filtres lors de leur utilisation.

Reçu le: 12/09/2012  
Accepté le: 25/01/2013

#### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les départements IET et MP de l'INRS pour leur contribution à cette étude.

**@nnexes: retrouvez les annexes dans la version électronique (pdf) de cet article sur notre site [www.hst.fr](http://www.hst.fr)**

## BIBLIOGRAPHIE

[1] NF EN 143 - *Appareils de protection respiratoire - Filtres à particules - Essais, exigences, marquage*. 2000, AFNOR, Paris.

[2] NF EN 149 - *Appareils de protection respiratoire, demi-masques filtrants contre les particules*. 2009, AFNOR, Paris.

[3] Directive 89/686/CEE du Conseil, du 21 décembre 1989, concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux équipements de protection individuelle, Journal Officiel n° L 399 du 30/12/1989, p. 0018-0038

[4] ONOGI Y., SUGIURA N., MATSUDA C. - *Temperature effect on dissipation of triboelectric charge into air from textile surface*, Textile Research Journal, 67 (1), pp. 45-49, 1997.

[5] STENHOUSE J.I., GRADON L., MARIJNISSEN J.C.M. - *Electret filters, production and properties. Proceedings of the international workshop on electrets filters, production and properties*, Warsaw, Poland, January 29-30, 1999.

[6] WALSH D.C., STENHOUSE J.I. - *The effect of particle size, charge and composition on the loading characteristics of an electrically active fibrous filter material*. J. Aerosol Sci., 28 (2), pp. 307-321, 1997.

## Annexe

### DESCRIPTION DU BANC D'ESSAIS

Le banc d'essai utilisé pour caractériser l'efficacité de filtration de chaque filtre est illustré *Figure A1*. Il comporte trois parties :

- une zone de génération d'un aérosol test de NaCl polydispersé;
- une zone de filtration constituée d'un porte-filtre à l'intérieur duquel se trouve le média filtrant plan à tester (surface de filtration de 132,7 cm<sup>2</sup>);
- une zone de mesure de l'efficacité par échantillonnage et comptage de l'aérosol en amont et en aval du filtre (compteur optique PMS Lasair 1001: 0,1 - 2 µm).

Toutes les mesures d'efficacité de filtration ont été réalisées à une vitesse de filtration de 5 cm/s. Pour information, les conditions des tests normalisés référencés dans la norme NF EN 143 (2000) préconisent un débit de 95 L/min, sans indication de vitesse de filtration. Selon la surface filtrante du filtre commercial testé, la vitesse pourra varier autour de

cette valeur de 5 cm/s. Par ailleurs l'aérosol généré est volontairement polydispersé afin d'obtenir une évolution de l'efficacité de filtration vis-à-vis de différentes tranches granulométriques de l'aérosol de NaCl (entre 0,1 et 2 µm). Pour comparaison, la norme NF EN 143 (2000) préconise l'utilisation d'un aérosol de NaCl dont le diamètre médian en nombre est de 0,42 µm (écart-type géométrique  $\sigma_g = 1,67$ ).

Le paramètre utilisé pour quantifier l'efficacité de filtration pour une tranche granulométrique « i » est la perméance  $P_i$  définie par l'équation (1).

$$P_i = \frac{C_{\text{aval},i}}{C_{\text{amont},i}} \quad (1)$$

Ce paramètre est choisi du fait du haut niveau d'efficacité des filtres étudiés.

Les concentrations en particules à l'amont et à l'aval du filtre, notées  $C_{\text{amont}}$  et  $C_{\text{aval}}$ , sont déterminées par comptage

optique. L'appareil fournit un nombre de particules comptées (pendant un intervalle de temps de prélèvement fixé) pour les huit classes granulométriques de l'appareil. Six prélèvements alternés amont/aval sont réalisés successivement pour chaque mesure de perméance permettant un calcul d'incertitude sur la perméance moyenne obtenue.

Pour finir sur le parallèle entre les conditions de nos essais et les conditions des tests normalisés, il faut préciser que les valeurs que nous obtenons sont des perméances en nombre, calculées à partir de concentrations numériques. Dans les normes, le photomètre de flamme utilisé fournit des concentrations massiques cumulées sur l'ensemble du spectre granulométrique de l'aérosol polydispersé. Les valeurs absolues que nous obtenons ne devront pas être comparées aux valeurs préconisées dans les normes. Seul l'ordre de grandeur pour une taille de particule donnée pourra être discuté. L'approche choisie est donc de travailler en relatif

FIGURE A1

Schéma du banc d'essai pour la mesure de l'efficacité de filtration

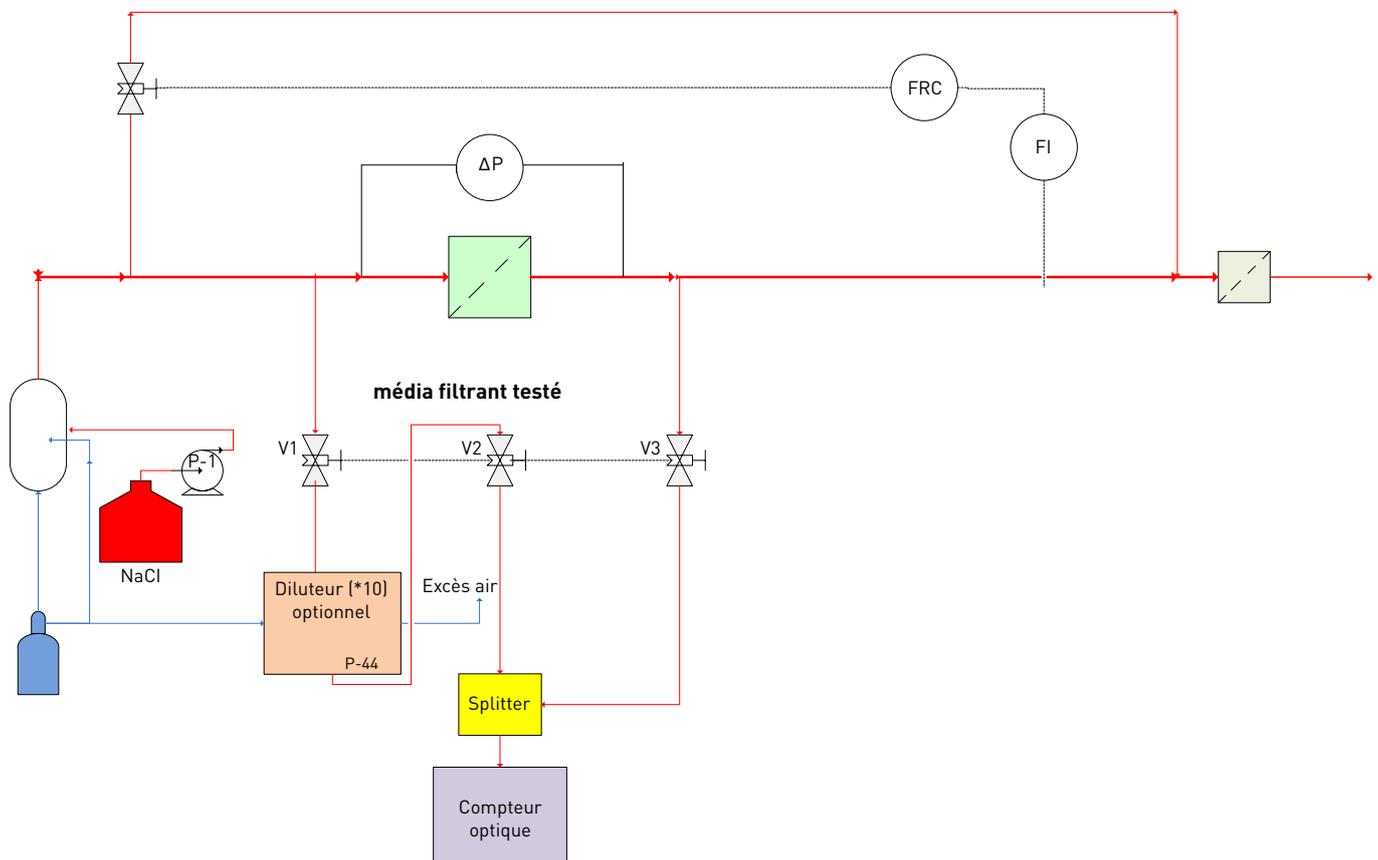


FIGURE A2

Schéma de la démarche de test des filtres

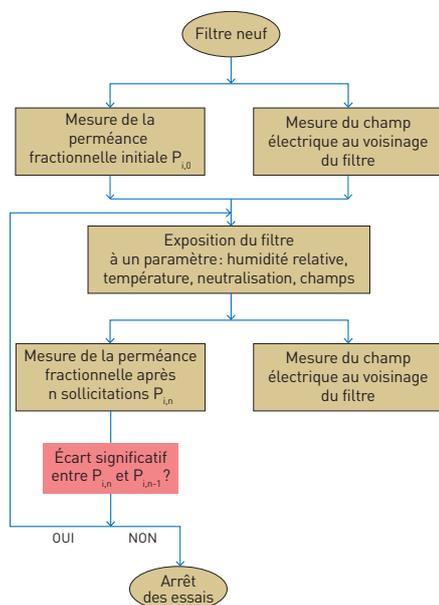


FIGURE A3

Presse haute fréquence (IET)



TABLEAU A1

Champ mesuré au niveau des filtres testés lors de la mise en service de la presse haute fréquence

Type d'échantillon testé	Champ mesuré (V/m)
Filtre P1 électret	370 ± 5
Filtre P2 électret	338 ± 5
Filtre P3 fibres de verre	360 ± 10

entre avant et après l'exposition du filtre à une sollicitation extérieure et en aucun cas d'appliquer un protocole normalisé.

MESURE DU CHAMP ÉLECTRIQUE AU VOISINAGE DES FILTRES

Ces mesures sont spécifiques aux filtres électrets même si, pour avoir une référence, elles ont toujours été menées en parallèle sur les filtres en fibres de verre. Le principe est de contrôler au moyen d'un mesureur de champ électrique (Kleinwächter EFM 231, 2 - 200 kV/m) la variation du champ électrique mesuré au voisinage du filtre et donc l'état des charges portées par les fibres du média filtrant suite à l'exposition à l'un ou l'autre des paramètres.

DÉMARCHE GÉNÉRALE D'ÉTUDE D'UN ÉCHANTILLON DE MÉDIA FILTRANT

D'une manière générale, le principe adopté est de mesurer la perméance des filtres à l'état neuf et après les avoir soumis à l'influence d'un paramètre extérieur. Ces essais comparatifs ont toujours été faits sur 4 échantillons du même type de filtres (3 types de filtres: P1 électret, P2 électret et P3 non chargé). La démarche générale adoptée est résumée Figure A2. Elle est appliquée à chaque échantillon testé.

MOYENS D'ESSAIS POUR L'EXPOSITION DES FILTRES AUX DIFFÉRENTS PARAMÈTRES

Les paramètres sélectionnés couvrent les conditions de stockage des filtres (humidité, température, au voisinage d'une source de rayonnement électromagnétique) et des manipulations accidentelles (contact avec un solvant, décharge électrostatique). Tous les essais ont été réalisés sur quatre échantillons de chacun des types de filtres: électret P1, électret P2 et filtres en fibres de verre P3 simultanément. Pour l'influence de cycles en humidité et en température, quatre filtres montés en cartouche amovible de classe P3 sont également testés.

EFFET DE L'HUMIDITÉ

Les échantillons ont été soumis à des cycles de variation en humidité relative dans une enceinte climatique. La plage étudiée a été calée sur les recommandations des fabricants en termes de condi-

tions de stockage (70% RH au maximum). Le cycle défini consiste en 12 h d'exposition des différents échantillons à une humidité relative de 25% suivies de 12 h à 80%. L'incertitude absolue sur l'humidité relative est d'environ 10%. Durant l'ensemble du cycle, la température est maintenue égale à 25°C. Le cycle est reproduit trois fois. Les échantillons sont ensuite laissés dans l'enceinte jusqu'à stabilisation des conditions en température et humidité extérieure.

EFFET DE LA TEMPÉRATURE

La même enceinte climatique est utilisée pour mesurer l'effet de la température sur les performances des médias filtrants. Le cycle en température défini consiste en 12 h d'exposition des échantillons à -30°C suivies de 12 h à 70°C. L'incertitude absolue sur la température est de 3%. Durant l'ensemble du cycle, l'humidité relative est maintenue à 50%. Le cycle est répété trois fois. Les échantillons sont ensuite laissés dans l'enceinte jusqu'à stabilisation des conditions en température et humidité extérieure.

Deux autres cycles ont été expérimentés pour étudier distinctement l'effet d'une température positive élevée par rapport à l'ambiante (+20°C à +70°C) et celui d'une température basse (-30°C, +20°C).

EFFET DE LA TREMPÉ DANS UN SOLVANT (ISOPROPANOL)

Le protocole utilisé est inspiré de la norme EN 779<sup>2</sup> pour les filtres de ventilation générale. L'objectif est de supprimer les effets électrostatiques d'un média filtrant électret en le trempant dans 30 ml de l'isopropanol liquide. Chaque échantillon est ensuite séché sous hotte ventilée.

EFFET DES RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

L'objectif de ces tests est de voir si un rayonnement électromagnétique de forte intensité peut altérer les performances des filtres, notamment électret, par une modification de la charge portée par leurs fibres. Une presse haute fréquence

<sup>2</sup> NF EN 779 - Filtres à air de ventilation générale pour l'élimination des particules - Détermination des performances de filtration. 2003, AFNOR, Paris.

(27 MHz), a été utilisée (Cf. *Figure A3*).

Les échantillons sont alignés devant la presse et le champ (en V/m) est mesuré au centre et au niveau des extrémités de la ligne d'échantillons. Les valeurs sont données *Tableau A1*.

#### EFFET D'UNE DÉCHARGE ÉLECTROSTATIQUE

Cet essai simule une décharge électrostatique d'origine humaine dans l'air. Pour illustrer le phénomène, une personne se mouvant dans une atmosphère sèche avec des chaussures isolantes sur une moquette peut se charger à quelques milliers de volt. Si cette personne approche un objet conducteur, elle se décharge sur ce conducteur sous forme d'une violente étincelle. Le courant instantané créé et le fort champ magnétique concomitant peuvent conduire au dysfonctionnement et à la détérioration des dispositifs électroniques.

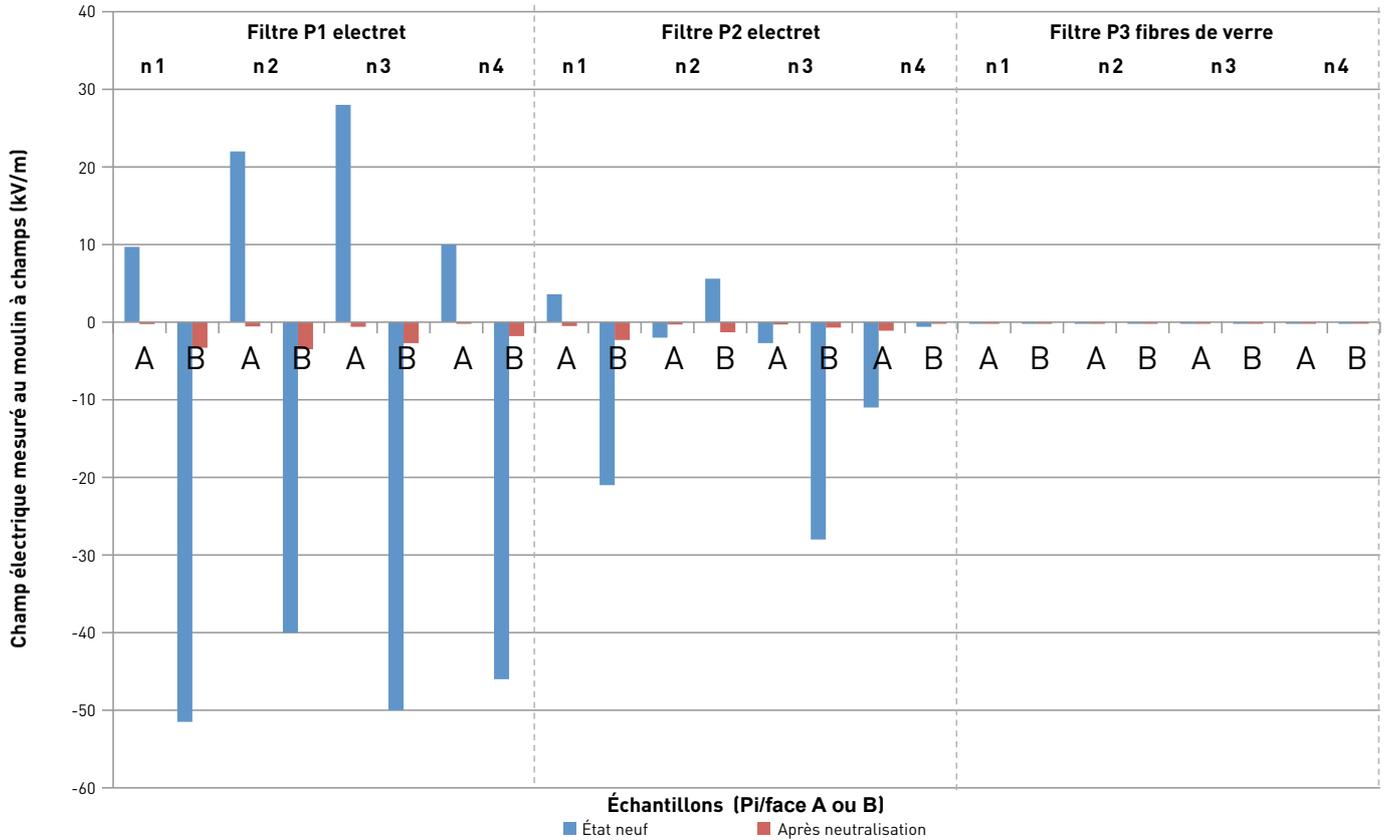
Ce protocole qui simule cette décharge est donc initialement conçu pour les machines, ordinateurs...

Le protocole suivi consiste en un pointage d'un endroit du filtre testé par un pistolet simulant une décharge électrostatique (ESD Simulator NSG 435) suivi d'une décharge de + 16,5 kV ou - 16,5 kV. Cette valeur correspond à la valeur maximale que peut fournir le pistolet. Chaque échantillon de filtre testé subit 10 impulsions autour de son centre, soit positives soit négatives. Pour chaque catégorie de filtre, deux échantillons subissent dix impulsions positives et deux échantillons subissent dix impulsions négatives.



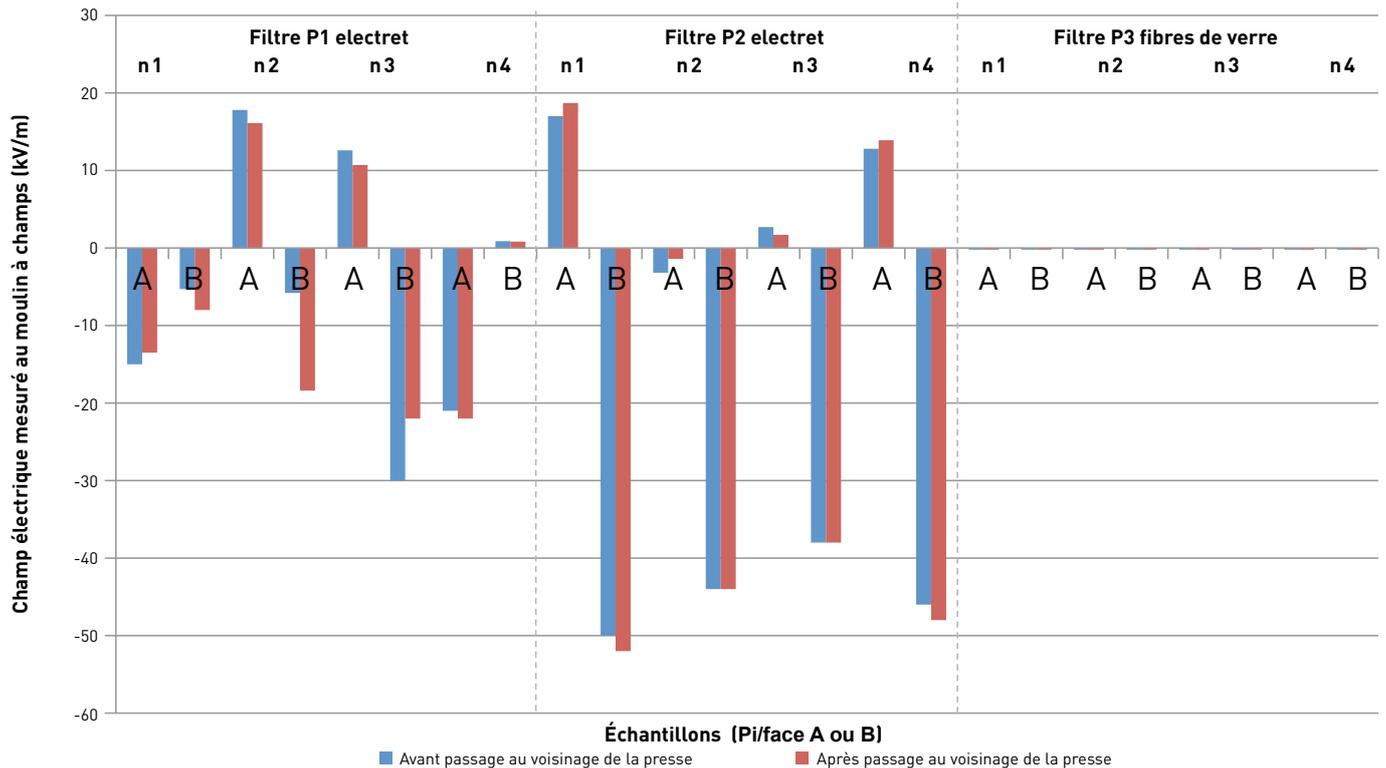
### @annexe 2

Mesures du champ électrique au voisinage des filtres P1, P2 et P3 à l'état neuf et après neutralisation



### @annexe 3

Mesures du champ électrique au voisinage des filtres P1, P2 et P3 à l'état neuf et après stockage au voisinage de la presse haute fréquence



## @annexe 4

Champ électrique mesuré au moulin à champ au voisinage des filtres à l'état neuf et après 10 décharges électrostatiques de -16,5 kV ou +16,5 kV

