



BADORIS - Document de synthèse relatif à
une barrière technique de sécurité (BTS)

Filtres à Très Haute Efficacité (THE)

Version 0 – juin 2006

Document élaboré par l'IRSN

Document de synthèse relatif à une barrière technique de sécurité (BTS)

Types d'installations : procédés chimiques, substances combustibles en entrepôts couverts, substances toxiques

Nom du dispositif : Filtres à très haute efficacité (THE)

Document élaboré par : l'IRSN

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Laurent BOUILLOUX (SERAC-IRSN)

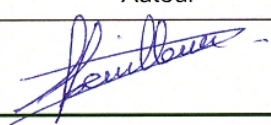
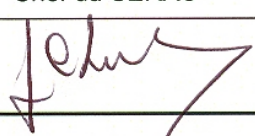
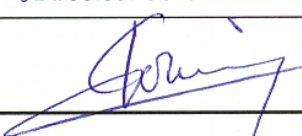
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	L. BOUILLOUX	J.-C. LABORDE	<i>P. COUSINOU</i> T. CHARLES
Qualité	Auteur	Chef du SERAC	<i>Adjoint</i> Directeur de la DSU
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. PRESENTATION TECHNIQUE DES DISPOSITIFS	5
1.1 Elément de sécurité de type FILTRE THE	5
1.1.1 Principe de fonctionnement	5
1.1.2 Limites d'utilisation.....	10
1.1.3 Paramètres influant sur l'efficacité.....	11
2. EXIGENCES TECHNIQUES, NORMES ET RÈGLEMENTS.....	13
3. PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS.....	14
4. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	14

1. PRESENTATION TECHNIQUE DES DISPOSITIFS

Les filtres sont largement utilisés dans l'industrie (HVAC, Dispositifs de confinement) pour épurer les effluents gazeux de tous types de matières mises en suspension et qui constituent les aérosols. Ainsi, les filtres à air se définissent comme des structures poreuses disposant de la capacité à piéger des particules entraînées par un effluent gazeux. Ces structures poreuses peuvent être composées de différents types de matériaux (lit granulaire, enchevêtrement de fibres, ...). Dans le domaine de la ventilation, ce sont les médias fibreux qui sont le plus couramment utilisés et qui sont constitués par un enchevêtrement de fibres maintenues par un liant et dont la nature varie en fonction des performances attendues du filtre (efficacité de filtration, résistance mécanique ou chimique, décolmatage). En fonction de leur domaine d'application, les filtres industriels sont regroupés par catégories au sein desquelles on retrouve la catégorie des filtres à Très Haute Efficacité (THE).

1.1 ELEMENT DE SECURITE DE TYPE FILTRE THE

1.1.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Une cellule filtrante se compose d'un cadre ou d'une armature qui est en acier galvanisé ou inoxydable (cas des filtres standards placés dans les réseaux de ventilation à l'intérieur de caissons de filtration) et parfois en polymères, dans le cas des cartouches filtrantes d'enceintes types boîtes à gants ou des filtres incinérables [01]. Le lut est un produit placé à l'intérieur du cadre afin d'assurer l'étanchéité entre le médium filtrant et l'armature ; ce lut est en matière minérale ou en matière plastique (chlorure de polyvinyle, polyuréthane, silicone), les joints d'étanchéité amont/aval placés autour de l'armature étant en néoprène, fibres de verre ou silicone. Le médium filtrant utilisé est à base de fibres de verre.

La figure 1 illustre quelques géométries de filtres THE industriels.

Les très faibles vitesses auxquelles il faut utiliser de tels médias conduisent à mettre en oeuvre de très grandes surfaces. C'est ainsi que pour filtrer 1 000 m³/h à une vitesse de 2 cm/s, une surface de 13,8 m² est nécessaire. Par suite, ces médias sont utilisés sous forme plissée afin de réduire au maximum l'encombrement des filtres.



Figure 1 : Exemples de géométries de filtres industriels THE

Il existe deux techniques de plissage :

- le plissage à petits plis dans lequel les plis ont une hauteur comprise entre 20 et 50 mm et sont entrecroisés au moyen de fils ou de bandelettes ininflammables.

Ce type de plissage permet la réalisation de deux types de filtres bien différents :

- le filtre à grand débit d'air qui est constitué par la juxtaposition de nappes de médium plissé généralement en 20 mm de haut, disposées en V dans un cadre métallique ou plastique. Cette conception a l'avantage de permettre la mise en oeuvre d'une très grande surface de filtration et par suite de traiter un débit plus important. C'est ainsi que l'on peut filtrer 3 400 m³/h avec une perte de charge de 250 Pa dans un filtre de dimensions standards de 610 x 610 x 292 mm³. Ce type de filtre, de par sa conception, donne à la sortie un flux turbulent, le régime d'écoulement d'air dans le médium filtrant étant quant à lui laminaire. On le réservera donc aux installations dans lesquelles il n'est pas nécessaire de disposer d'un flux laminaire immédiatement en aval des filtres (cas des installations nucléaires),
- le panneau à flux laminaire qui est constitué d'une simple nappe de médium plissé sur 50 mm de haut. Ce type de filtre, dont l'utilisation est généralisée sur les installations de salles propres, est conçu pour délivrer un flux laminaire à des vitesses comprises entre 25 et 60 cm/s. A 45 cm/s, la perte de charge initiale est d'environ 140 Pa.

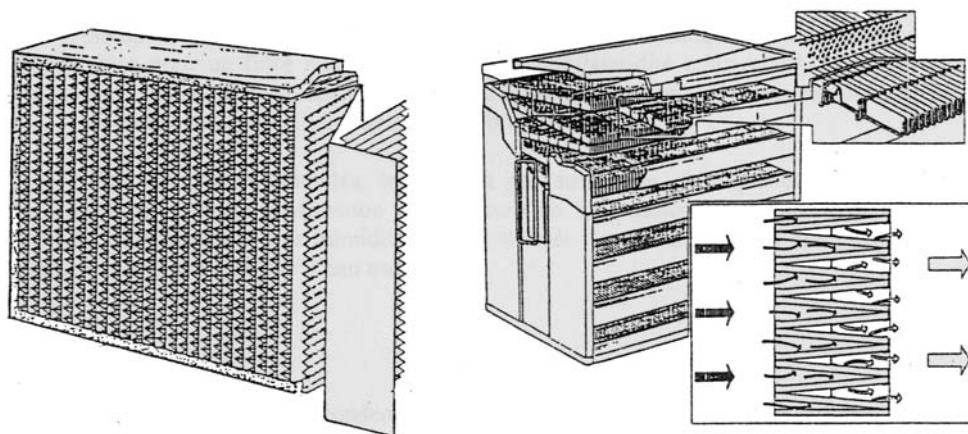
- le plissage à plis profonds dans lequel le papier est plissé en accordéon suivant toute la profondeur du filtre et entretoisé au moyen d'intercalaires en carton, plastique ou aluminium. Cette technique ne permet pas de mettre en oeuvre une surface de médium aussi importante que précédemment. C'est ainsi qu'un filtre de dimensions 610 x 610 x 292 mm³ ne pourra traiter qu'un débit maximal de 1 700 m³/h, pour une perte de charge de 250 Pa. Par contre, avec cette technique de plissage, la totalité de la surface frontale du filtre diffuse un flux laminaire. Il faut toutefois observer que ce type de filtre a, à caractéristiques égales, un encombrement plus grand en profondeur que le panneau à flux laminaire à petits plis.

Les dimensions des filtres industriels des réseaux de ventilation sont en grande partie standardisées au format américain ou dérivées de ce dernier (Tableau 1).

Tableau 1 - Dimensions standards et débits nominaux associés, dans le cas de filtres à petits plis, à armature parallélépipédique

Filtres	Dimensions (mm ³)	Débit de filtration nominal (m ³ /h)
Cellule	610 x 610 x 292	3 400
Demi-cellule	610 x 305 x 292	1 500
2 dièdres	600 x 130 x 202	450

La figure 2 présente différents types de filtres rencontrés sur les réseaux de ventilation des installations



Filtre à plis profonds

Filtre à petits plis

Figure 2 : Techniques de plissage des filtres THE utilisés dans les réseaux de ventilation

Par définition [02], on appelle filtre THE ou HEPA filter (High Efficiency Particulate Air filter) un filtre présentant suivant l'ancienne norme militaire américaine MIL-F-51068F '*Filters, Particulate, High-Efficiency, Fire Resistant*' une efficacité minimale de 99,97 % vis-à-vis d'un aérosol de DiOctyle Phtalate (DOP) monodispersé de 0,3 µm. Cette norme est maintenant remplacée par the American Society of Mechanical Engineers ASME-AG-1 '*Code on nuclear air and gas treatment*' [03] et par la spécification du département américain de l'énergie (DOE) DOE-STD-3020-2005 '*Specification for HEPA filters used by DOE contractors*' [04].

La norme NF EN 1822 '*Filtres à air à très haute efficacité et filtres à air à très faible pénétration (HEPA et ULPA)*' [05] s'appuie sur la mesure de l'efficacité de capture de la classe de particule la plus difficile à arrêter (MPPS : Most Penetrating Particule Size). Elle impose aux filtres d'assurer deux caractéristiques d'efficacité. La première est l'efficacité globale utilisée pour désigner les filtres. La seconde oblige les fabricants à scanner le filtre afin de vérifier qu'en chaque point du filtre, un niveau minimal d'efficacité est garanti (efficacité locale). Un filtre de même conception qu'un filtre THE mais disposant d'un médium filtrant conduisant à une efficacité minimale de 99,9995 % vis-à-vis d'un aérosol d'environ 0,1 µm (MPPS) est un filtre à très faible pénétration ou ULPA filter (Ultra Low Penetration Air filter). La norme définit les différentes classes de filtres en fonction des efficacités globales et locales (Tableau 2).

Tableau 2 : Classification NF EN 1822

Groupe de filtre	Classe de filtre	Valeurs intégrales MPPS			Valeurs locales MPPS		
		Rendement minimal (%)	Perméance minimale (%)	CE minimal	Rendement minimal (%)	Perméance minimale (%)	CE minimal
HEPA (H)	H10	85	15	6,7	-	-	-
	H11	95	5	20	-	-	-
	H12	99,5	0,5	200	97,5	2,5	40
	H13	99,95	0,05	2 000	99,75	0,25	400
	H14	99,995	0,005	20 000	99,975	0,0025	4 000
ULPA (U)	U15	99,9995	0,0005	200 000	99,9975	0,00025	40 000
	U16	99,99995	0,00005	2 000 000	99,99975	0,00025	400 000
	U17	99,999995	0,000005	20 000 000	99,9999	0,00001	1 000 000

Pour exprimer l'efficacité d'un filtre vis-à-vis d'un aérosol donné, on considère trois quantités :

- la quantité d'aérosol incident en amont du filtre (A),
- la quantité d'aérosol émergeant en aval du filtre (a),
- la quantité d'aérosol retenu par le filtre ($A - a$).

A partir de ces trois quantités dont la première est la somme des deux autres, on peut exprimer trois rapports :

- le rendement R , assimilé usuellement à l'efficacité de filtration et qui est le rapport de la quantité d'aérosol retenue par le filtre à la quantité d'aérosol incident,
- la perméance P qui est le rapport de la quantité d'aérosol émergeant à la quantité d'aérosol incident,
- le coefficient d'épuration CE qui est le rapport de la quantité d'aérosol incident à la quantité d'aérosol émergeant.

Trois mécanismes de piégeage gouvernent principalement la filtration THE :

- l'inertie,
- l'interception,
- la diffusion.

Dans le cas d'une fibre élémentaire constituant le médium filtrant et placée dans un courant d'aérosol monodispersé véhiculé par de l'air s'écoulant dans des conditions laminaires, les trois mécanismes de piégeage peuvent être définis comme suit.

Dans l'arrêt d'une particule par inertie, les particules emportées par le courant gazeux possèdent une vitesse dirigée suivant un axe qui rencontre la fibre. Elles sont pourvues d'une certaine énergie cinétique, fonction de leur vitesse et de leur masse. On conçoit que pour une valeur suffisante de cette énergie, la particule continue sa route en direction de la fibre et ne suit pas les filets gazeux déviés. Elle vient se fixer sur l'obstacle avec d'autant plus d'efficacité :

- qu'elle est plus lourde,
- que la vitesse V d'approche est plus grande.

Dans l'arrêt par interception, les particules de diamètre d_p sont supposées suivre les filets gazeux qui les portent lorsque ceux-ci sont déviés ; mais celles dont le centre de gravité passe à moins de $\frac{d_p}{2}$ de la fibre sont fixées.

On en conclut que l'efficacité de l'arrêt par interception :

- croît avec le diamètre des particules,
- augmente lorsque la fibre devient plus fine.

Dans l'arrêt par diffusion, on considère que les particules, surtout si leur diamètre est inférieur au dixième de micron, sont animées du mouvement brownien. Il arrive alors que celles dont la trajectoire moyenne passe suffisamment près de la fibre puissent rencontrer cette dernière par suite d'une déviation sous l'influence du mouvement brownien.

Il en résulte que l'efficacité de l'arrêt par diffusion :

- croît lorsque d_p diminue,
- croît lorsque la fibre est plus fine,
- décroît lorsque la vitesse augmente.

1.1.2 LIMITES D'UTILISATION

Les limites d'utilisation sont traditionnellement fixées par type de filtre par le constructeur. Elles sont généralement de deux types, à savoir, la température maximale de l'air de filtration et la perte de charge finale recommandée ou maximale admissible (caractérisant le degré de colmatage du filtre).

Concernant la température de l'air de filtration, la limite d'utilisation d'un filtre est fixée en fonction des types de lut et de joint utilisés. En service continu, les valeurs des températures maximales de l'air admissible sur un filtre non colmaté au débit nominal de filtration sont de 120 °C pour un filtre disposant d'un lut PVC et d'un joint néoprène contre 200 °C pour un filtre disposant d'un lut minéral et d'un joint silicone. Les filtres disposant d'une homologation CTHEN (cf. §2) garantissent des performances vis-à-vis d'un cycle de contraintes couplées de température de l'air (comprises entre 70 et 300 °C) et de perte de charge (maintenue à environ 8 fois la perte de charge initiale).

Par ailleurs, la composition chimique de l'effluent de filtration constitue également un paramètre à considérer pour l'utilisation des filtres THE et notamment, la

présence d'acide fluorhydrique qui, selon les teneurs, peut conduire à une altération des fibres de verre constituant le médium filtrant.

1.1.3 PARAMETRES INFLUANT SUR L'EFFICACITE

Les paramètres influant sur la filtration peuvent être regroupés en trois familles.

La première famille est la qualité intrinsèque du produit en termes de caractéristiques du médium filtrant et de soins apporté à la fabrication. Ainsi, l'efficacité de l'élément filtrant est conditionné par la compacité (rapport du volume occupé par les filtres sur le volume de la nappe de médium filtrant), l'épaisseur du médium filtrant, le spectre de dimension des fibres qui le composent, ainsi que sa mise en œuvre dans le filtre. Le tableau 3 présente les caractéristiques d'un médium filtrant mis en œuvre dans les filtres THE.

Tableau 3 : Caractéristiques d'un médium filtrant utilisé dans les filtres THE

Nature du médium filtrant	Fibres de verre
Grammage (g/cm ²)	85
Epaisseur (mm)	0,44
Compacité (-)	0,08
Diamètre géométrique moyen des fibres (µm)	1

La deuxième famille regroupe la nature des aérosols collectés, notamment en termes de granulométrie et de caractère solide ou liquide.

Enfin, la dernière famille regroupe les conditions de filtration, notamment en termes de vitesse de filtration et de température et de composition chimique de l'effluent.

Compte tenu des mécanismes de piégeage définis ci-amont, il apparaît que l'efficacité d'un filtre THE passe par un minimum en fonction de la vitesse de filtration et du diamètre des particules (Figure 3) ; cela a donc deux conséquences :

- les filtres travaillent à une vitesse de filtration de l'ordre de 2 à 3 cm/s, soit nettement inférieure à la valeur correspondant à l'efficacité minimale ; rappelons que la vitesse de filtration est définie par :

$$V = \frac{\text{débit d'air véhiculé au travers du filtre}}{\text{surface totale du médium filtrant}}$$

- les tests de filtres sont effectués en laboratoire ou in situ à l'aide d'aérosols tests dont le diamètre se situe entre 0,1 µm et 0,3 µm, soit au minimum d'efficacité du filtre ; ainsi l'efficacité vis-à-vis d'un contaminant réel ne pourra qu'être supérieure à celle donnée par l'aérosol test.

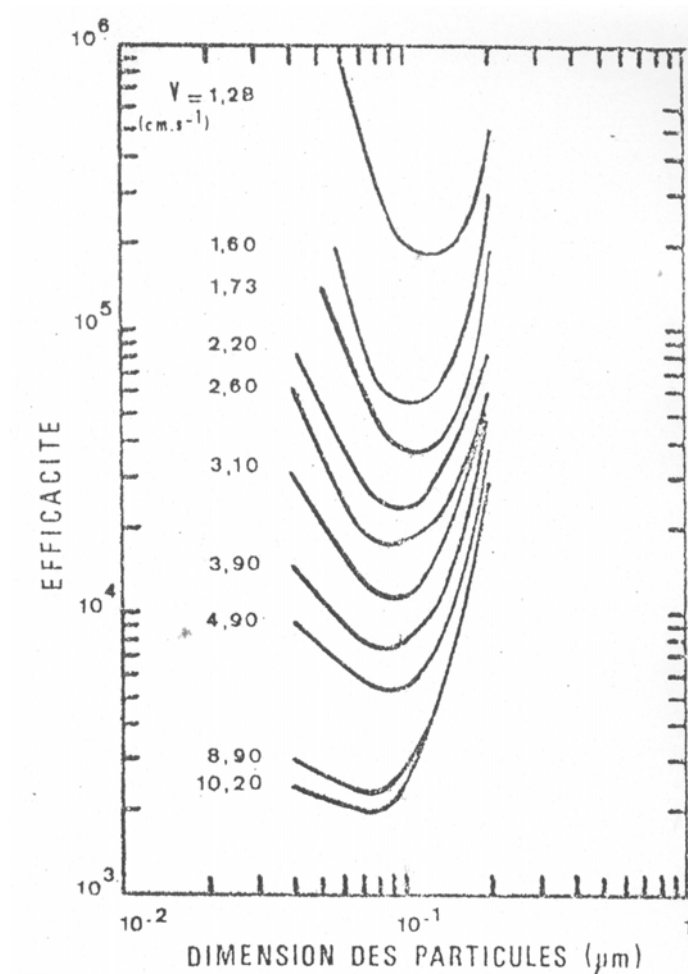


Figure 3 : Coefficient d'épuration d'un filtre THE en fonction du diamètre des particules pour des vitesses de filtration de 1,28 à 10,2 cm/s [06]

Ainsi, il est important de noter que la valeur d'efficacité de filtration n'a de sens que si les conditions opératoires sont clairement précisées (a minima la nature de l'aérosol et les conditions de filtration).

2. EXIGENCES TECHNIQUES, NORMES ET REGLEMENTS

En France, outre la norme NF EN 1822 qui fixe les caractéristiques initiales à respecter pour les différentes classes de filtres THE, il existe également des contrôles des performances. Plusieurs niveaux de contrôle des filtres co-existent :

- chez le fabricant, en sortie de production (a minima selon la norme NF EN 1822),
- en laboratoire ; à titre d'exemple, le Centre Technique d'Homologation des Equipements Nucléaires (CTHEN) de l'IRSN a établi des procédures de contrôle en laboratoire afin que soient évaluées les performances des filtres en situations normales et accidentelles (cas de l'incendie en particulier [07]) de fonctionnement ; le CTHEN délivre des certificats de conformité de filtres aux fabricants ayant soumis leurs produits à ces contrôles de performances,
- sur le site, à partir de méthodes normalisées ; sur site, il n'est possible de faire une mesure qu'en condition normale de fonctionnement, d'où l'intérêt des contrôles en laboratoire.

Dans l'industrie nucléaire française, les contrôles en laboratoire (type CTHEN) mais également sur site, sont réalisés selon la norme française NF X 44-011 '*Méthode de mesure de l'efficacité des filtres au moyen d'un aérosol d'uranine (fluorescéine)*' [08] qui préconise l'utilisation d'un aérosol solide de fluorescéine sodée de 0,15 µm de diamètre médian massique, produit par pulvérisation.

Outre les tests définis selon le référentiel américain ASME AG-1, deux autres méthodes de tests des filtres THE sont utilisées en Allemagne (Norme DIN 24-184 '*Standard Tests for Aerosol Filtration*') [09] et en Grande-Bretagne (BS 3928 '*Method for sodium flame test for air filters*') [10]. Ces deux méthodes utilisent respectivement un aérosol d'huile de paraffine de 0,36 µm de diamètre et un aérosol de chlorure de sodium de 0,65 µm de diamètre, tous deux produits par pulvérisation.

Différentes études ont été menées pour tenter de corrélérer les résultats d'efficacité de filtration obtenus par les différentes méthodes existantes. Il ressort, des conclusions de ces études qu'il n'est pas aisé d'établir ce genre de corrélations. En conséquence, à l'heure actuelle, la réalisation des mesures d'efficacité de filtration sur les filtres THE est uniquement à considérer comme un gage de qualité de l'équipement, garantissant un minimum d'efficacité de filtration.

3. PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS

Les trois principaux fabricants de filtres THE à petits plis, utilisés en ventilation, sont listés ci-après.

www.camfilfarr.com

www.aaf.fr

www.vokes-air.fr

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Principes généraux de la filtration des effluents gazeux, Cours de formation continue dispensés à l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, www-instn.cea.fr

- [02] Nuclear Air Cleaning Handbook, US Department of Energy, DOE-HDBK-1169-2003, www.eh.doe.gov/hepa/

- [03] Code on Nuclear Air and Gas Treatment, American Society of Mechanical Engineers, ASME AG-1-2003

- [04] Specification for HEPA Filters Used by DOE Contractors, US Department of Energy, DOE-STD-3020-2005

- [05] Filtrés à air à très haute efficacité et filtres à air à très faible pénétration (HEPA et ULPA), Norme européenne NF EN 1822, 1998-2000

- [06] Influence de la dimension des particules et de la vitesse de filtration sur l'efficacité des filtres à air, A. BRIAND & J. DUPOUX, 11^{ème} colloque IRCHA, PARIS, 1974
- [07] Cahier des charges , Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, IRSN/CTHEN n° 93-030, 1993
- [08] Méthode de mesure de l'efficacité des filtres au moyen d'un aérosol d'uranine (fluorescéine), Norme NF X 44-011, 1972
- [09] Standard Tests for Aerosol Filtration, Norme Allemande DIN 24-184, 1977
- [10] Method for sodium flame test for air filters, Norme Britannique BS 3928, 1969