

# Performances des matériaux de confection de vêtements de protection contre les aérosols solides

Ludovic Tuduri, Université de Bordeaux, France. [ludovic.tuduri@u-bordeaux.fr](mailto:ludovic.tuduri@u-bordeaux.fr)

L. Wingert; Y. Cloutier; A. Balhoul, S. Hallé, D. Tessier, P. Dolez, J.-L. Giraudel

---

université  
de **BORDEAUX**

**ÉTS**

**irsst**

# Enjeux de santé et sécurité: exposition cutanée et maladie de la peau

---

- Etats-Unis – (NIOSH 2011, OSHA 2018) :
  - 13 millions de travailleurs exposés
  - Maladies de la peau parmi les plus reconnues : coûts annuels de un milliard de dollars
  - Incidence de 2,2/10000 VS 1,7/10000 pour les maladies respiratoires
- Québec (CNESST, 2013-2015)
  - 0,8 % des maladies acceptées VS 2,8 % pour les maladies respiratoires VS 86,2 % troubles de l'oreille
- Europe (EU OSHA 2007)
  - 2ème maladie professionnelle après troubles musculo-squelettiques
  - Entre 10 et 40 % des maladies professionnelles
  - 80-90% des maladies de la peau causées par les produits chimiques

# Enjeux de santé et sécurité: Produits chimiques



Gaz/vapeurs



Liquides



Solides



aérosols liquides



aérosols solides

Barrières de protection différentes selon  
la nature de l'agresseur chimique



Critères et exigences de performances différents  
pour les vêtements de protection

# Enjeux de santé et sécurité : aérosols solides

Type/nature des particules	Effets potentiels
Chrome, cobalt, béryllium, poussières de bois, farine	Irritation, dermatites de nature variée, sensibilisation, lésions cutanées
Nanoparticules	Incertitudes sur la pénétration cutanée et les effets
Amiante, silice cristalline	Obligation réglementaire-transfert de contamination

**Norme ISO 13982-1** Vêtements de protection chimique à utiliser contre les particules solides : exigences de performances des vêtements de protection contre les produits chimiques offrant une protection au corps entier contre les particules solides transportées par l'air

## VPC de type 5

**Norme ISO 13982-2** Vêtements de protection chimique à utiliser contre les particules solides : méthode d'essai pour la détermination de la fuite vers l'intérieur d'aérosols de fines particules dans des combinaisons



Montréal, le 2 juillet 2014

**Objet : Vêtements de protection appropriés contre les particules solides toxiques, corrosives ou causant une sensibilisation cutanée**

Madame,  
Monsieur,

La réglementation sur la santé et la sécurité du travail du Québec exige le port d'un vêtement de protection pour les travaux qui exposent les travailleurs à des particules solides toxiques, corrosives ou causant une sensibilisation cutanée.

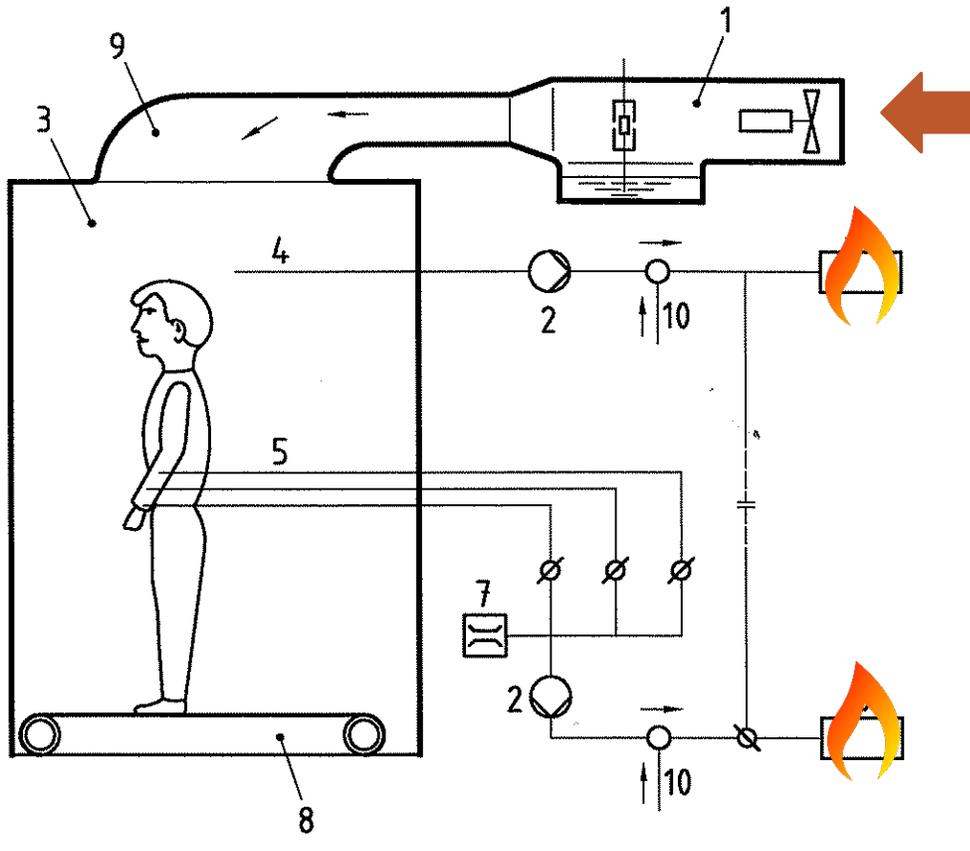
Par la présente, nous vous informons que la CSST n'accepte désormais que les vêtements de protection dont les performances spécifiques et globales pour empêcher la pénétration des particules solides sont connues et certifiées par un laboratoire indépendant et agréé.

# Enjeux de santé et sécurité : normalisation ISO 16602

Performance générale	Paragraphe	Essai de performance spécifique	Type de vêtement de protection contre les produits chimiques							
			1a	1b	1c	2	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5	6 <sup>a</sup>
	5.4	Étanchéité	X	X	X	—	—	—	—	—
Intégrité de la totalité du vêtement de protection contre les produits chimiques	5.5	Fuite vers l'intérieur	—	X <sup>b</sup>	X	X	—	—	—	—
	5.6	Essai au jet de liquide	—	—	—	—	X	—	—	—
	5.7	Essai au brouillard de liquide	—	—	—	—	—	X	—	—
	5.8	Essai de fuite vers l'intérieur d'un aérosol de particules	—	—	—	—	—	—	X	—
	5.9	Essai limité au brouillard de liquide	—	—	—	—	—	—	—	X
	6.5	Résistance à la perméation	X	X	X	X	X	X	—	—
Résistance chimique des matériaux des vêtements de protection <sup>c</sup>	6.6	Résistance à la pénétration de liquides sous pression	—	—	—	—	—	X <sup>d</sup>	—	—
	6.7	Résistance à la pénétration de particules	—	—	—	—	—	—	— <sup>e</sup>	—
	6.8	Étanchéité à la pénétration de liquides	—	—	—	—	—	—	—	X
	6.9	Répulsion liquide	—	—	—	—	—	—	—	X

ISO 16602:2007  
Vêtements de protection contre les produits chimiques;  
Classification, étiquetage et exigences de performances

# Enjeux de santé et sécurité : normalisation ISO 13982



Aérosol de chlorure de sodium  $0,02 \mu\text{m}-2 \mu\text{m}$ ,  
MMAD= $0,6 \mu\text{m}$ ,  $8 \pm 4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$

Fuite vers l'intérieur

10 VPC\* 3 exercices\* 3 points de prélèvements = 90 mesures

Limites

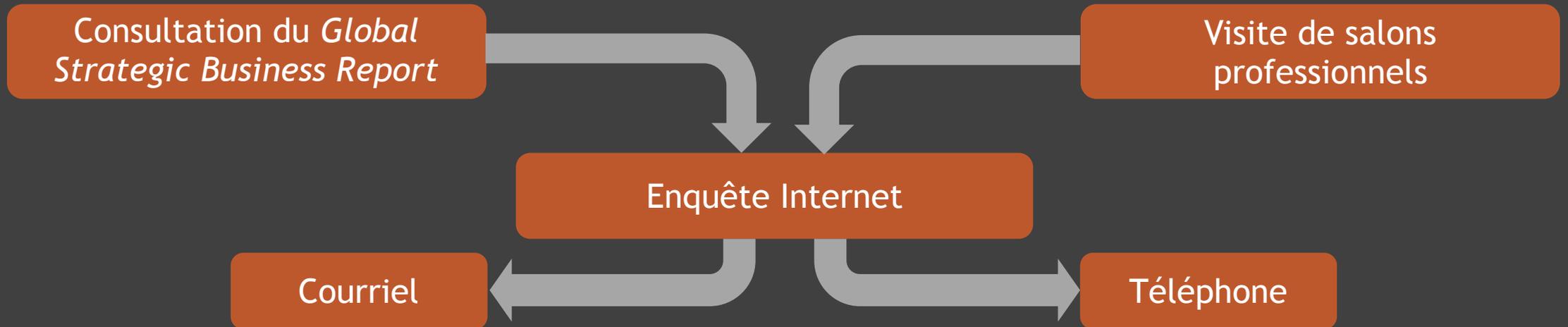
Comment choisir son VPC de type 5 ?

- Essais succès/échec : pas de niveaux de performance pour les VPC de type 5
- Méconnaissance de la voie d'entrée des particules : matériaux, coutures, interface VPC/porteur
- Confort thermique?

“Évaluer et comprendre la pénétration des aérosols solides à travers les matériaux non-tissés des VPC de type 5”

- Sélectionner un échantillon d'une vingtaine de matériaux de VPC vendus au Québec pour protéger contre les aérosols solides
- Caractériser les matériaux finis de VPC à l'aide de propriétés physiques/physicochimiques et d'indicateurs de confort physiologique potentiels
- Concevoir et valider un banc d'essai permettant de mettre à l'épreuve les matériaux choisis
- Mesurer la résistance à la pénétration de la vingtaine de matériaux de VPC de type 5 à l'état neuf, puis usagés
- Évaluer la résistance à la pénétration des différents types de coutures mises en œuvre lors de l'assemblage des VPC

# Sélection des matériaux



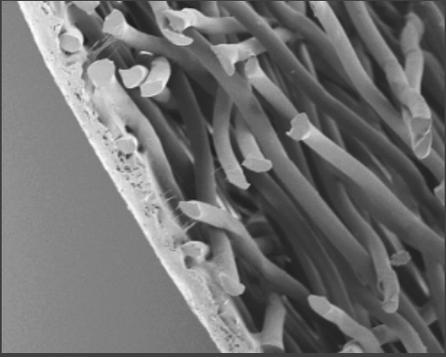
- Beaucoup de VPC accessibles au Québec (distributeurs, manufacturiers, internet)
- Un même VPC peut porter des noms différents en Europe et en Amérique du Nord
- Un VPC certifié en Europe ne porte pas nécessairement mention de la certification en Amérique du nord
- Les distributeurs distribuent...

# Sélection des matériaux

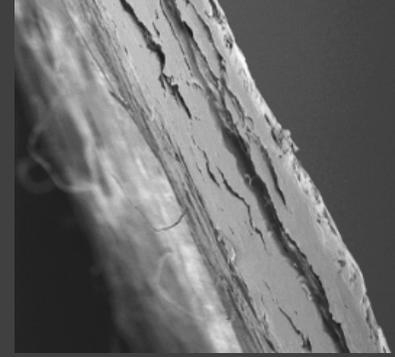
10 matériaux SMS  
Spunbond/meltblown/spunbond



9 matériaux MP  
microporeux



1 matériau FS  
Flashspun

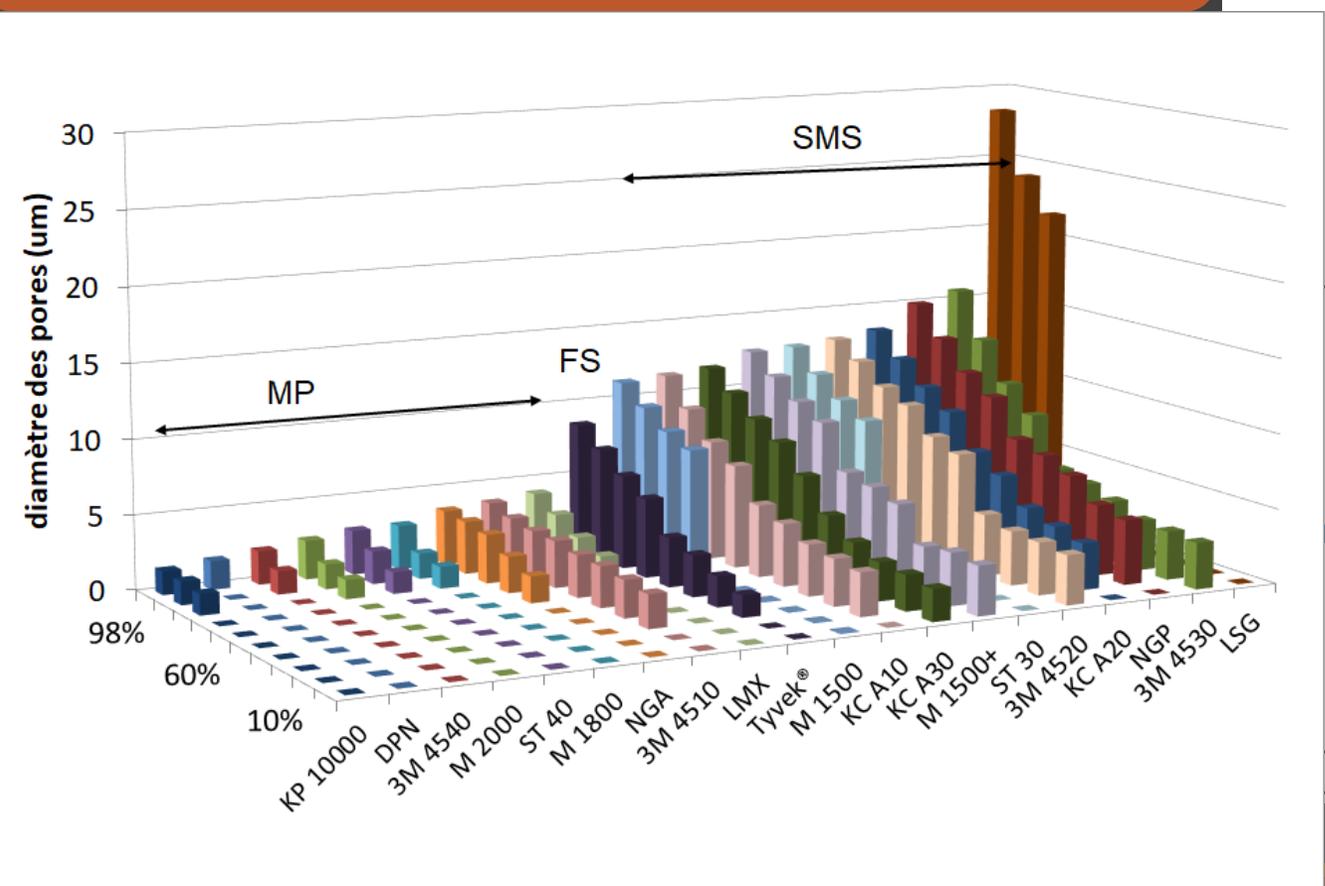


- VPC de type 5 et 6, mais pas 4 ou 3

Manufacturier	Modèle	Type de matériau	Abréviation
3M	4510	MP	3M 4510
3M	4520	SMMMS	3M 4520
3M	4530	SMMS	3M 4530
3M	4540	MP	3M 4540
Alphatec	Microchem 1500	SMS	M 1500
Alphatec	Microchem 1500+	SMS	M 1500+
Alphatec	Microchem 1800	MP	M 1800
Alphatec	Microchem 2000	MP	M 2000
Dupont	Tyvek Xpert	FS	Tyvek®
Dupont	Proshield NexGen	MP	DPN
Honeywell	North Gen Pro	SMMMS	NGP
Honeywell	North Gen Air	MP	NGA
Käppler	Provent 10 000	MP	KP 10000
Kimberly-Clark	A10	SMS	KC A10
Kimberly-Clark	A20	SMS	KC A20
Kimberly-Clark	A30	SMS	KC A30
Lakeland	Safeguard	SMS	LSG
Lakeland	Micromax NS	MP	LMX
Portwest	ST 30	SMS	ST 30
Portwest	ST 40	MP	ST 40

# Caractériser les matériaux

Masse surfacique : CAN/CGSB-4.2 No 5.1-M90  
 Épaisseur : CAN/CGSB-4.2 No. 37-2002  
 Porosité : Calculé  
 Taille de pores : ASTM D6767

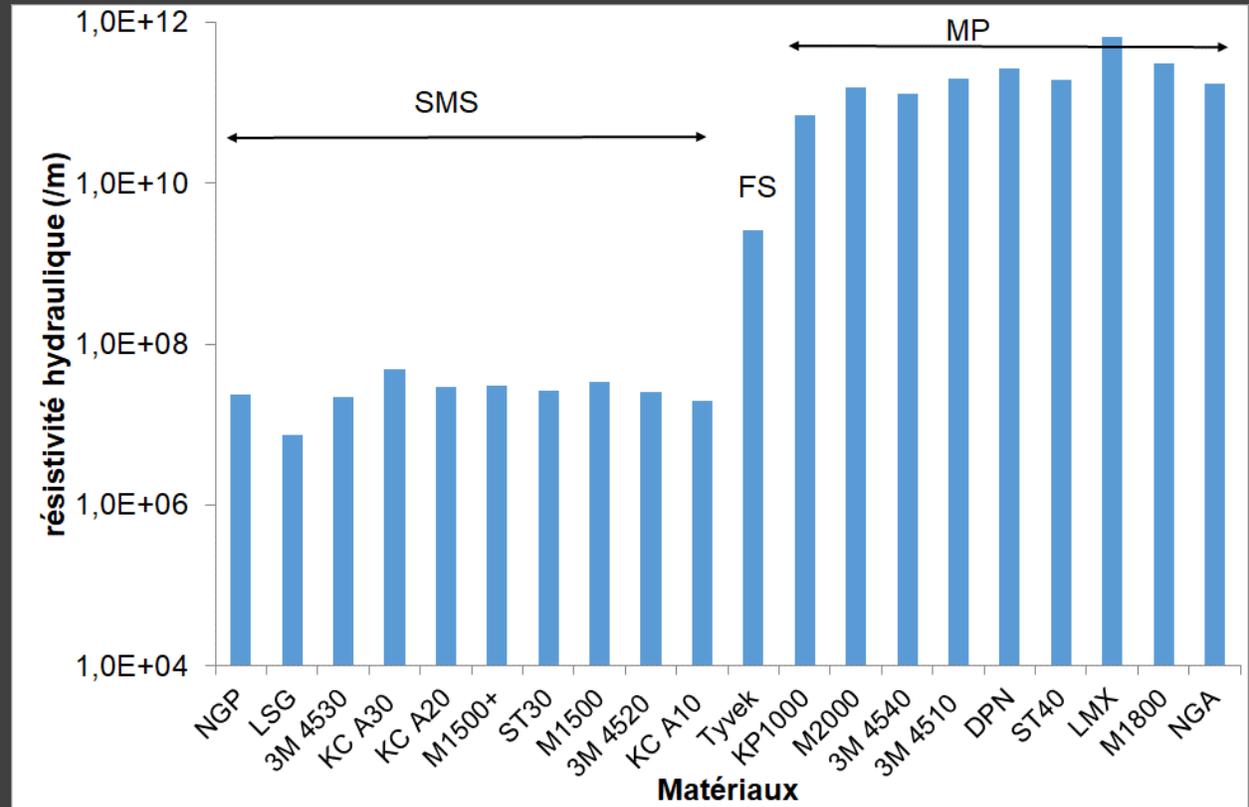
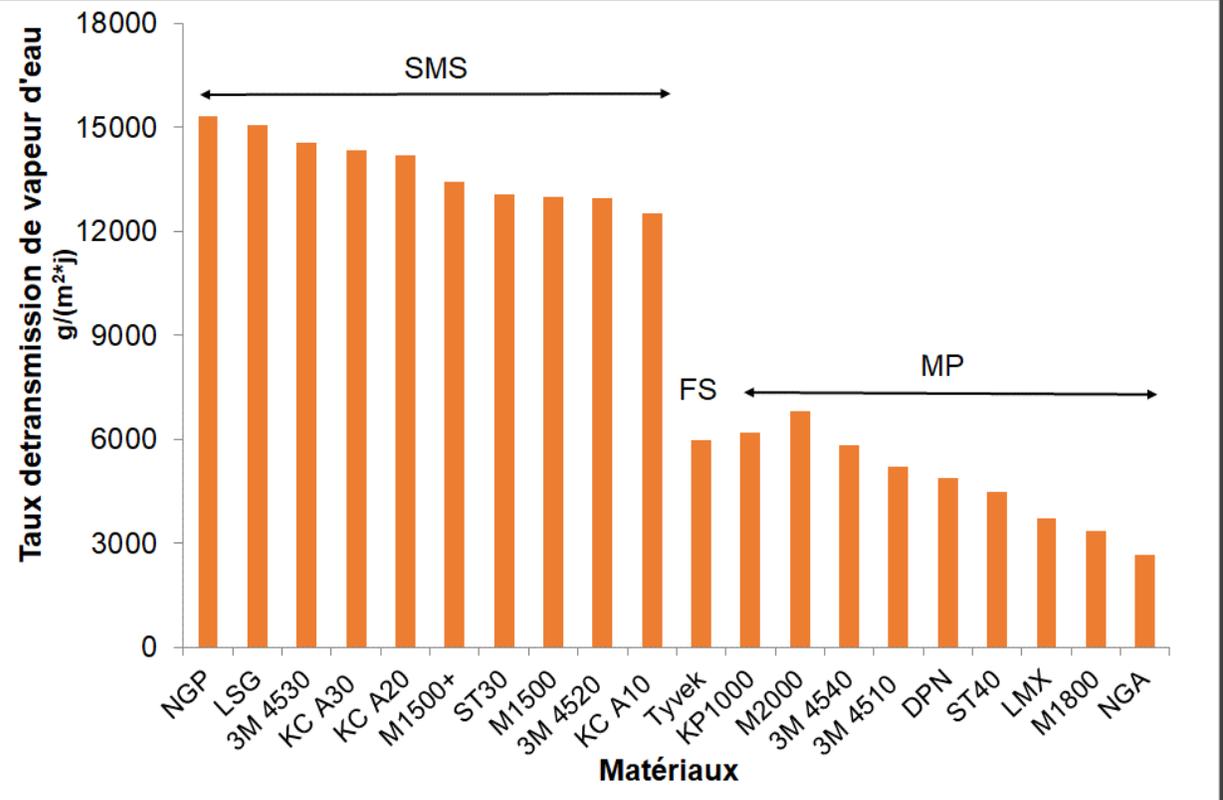


Type de matériau	Matériau	Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	Épaisseur (µm)	Porosité
	3M 4510	48,2	240	0,807
	3M 4540	49,3	180	0,772
	DPN	60,9	310	0,810
	KP 10000	80,3	480	0,799
	LMX	56,4	240	0,777
	M 1800	53,6	250	0,797
	M 2000	62,4	270	0,787
	NGA	62,8	310	0,773
	ST 40	57,1	260	0,795
	<b>Moyenne (± écart-type)</b>	<b>59 ± 10</b>	<b>282 ± 84</b>	<b>0,79 ± 0,02</b>
	3M 4520	41,6	310	0,851
	3M 4530	54,9	330	0,810
	KC A10	38,3	290	0,851
	KC A20	38,7	290	0,849
	KC A30	49,1	350	0,839
	LSG	43,4	320	0,849
	M 1500	46,3	320	0,831
	M 1500+	54,1	360	0,828
	NGP	42,8	320	0,847
	ST 30	48,2	330	0,834
	<b>Moyenne (± écart-type)</b>	<b>46 ± 6</b>	<b>322 ± 23</b>	<b>0,84 ± 0,02</b>
	Tyvek®	43,1	230	0,764

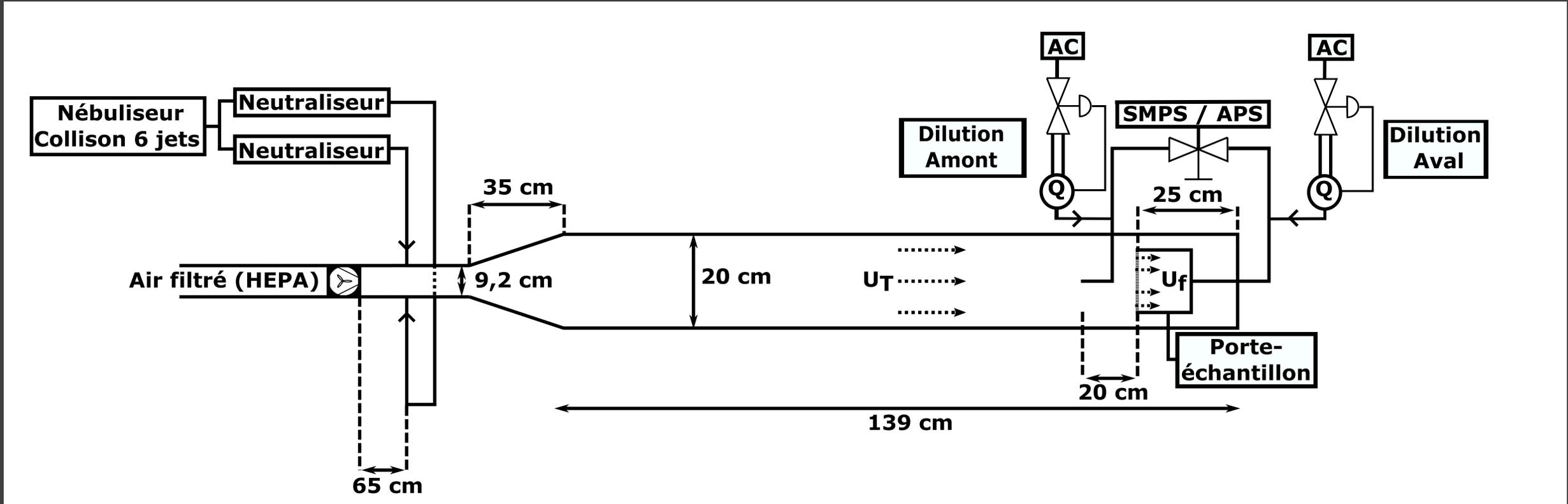
# Indicateurs de confort physiologique

Perméabilité à l'air : CAN/CGSB-4.2 No36-M80  
 Résistivité hydraulique : mesures « maison »  
 Taux de transmission de vapeur d'eau : ASTM F2298

MP < 0,3 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>.s;  
 FS < 0,3 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>.s;  
 13,8 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>.s < SMS < 79,8 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>.s



# Performances de protection : Banc d'essai

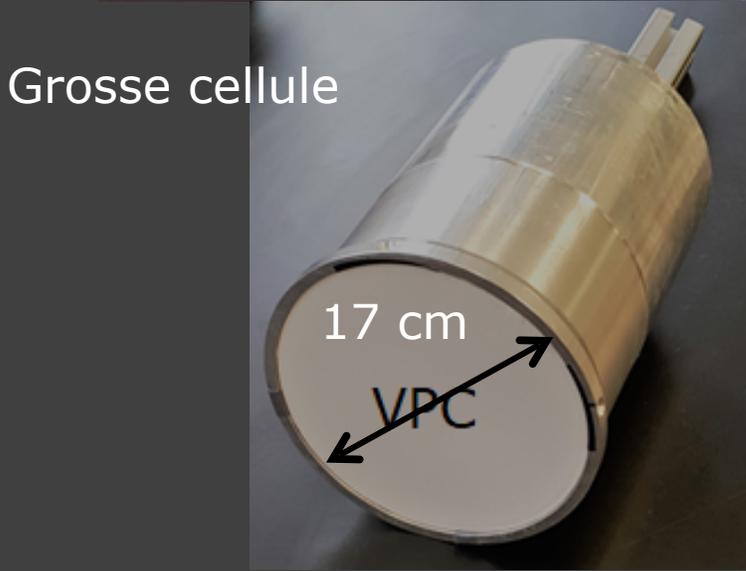
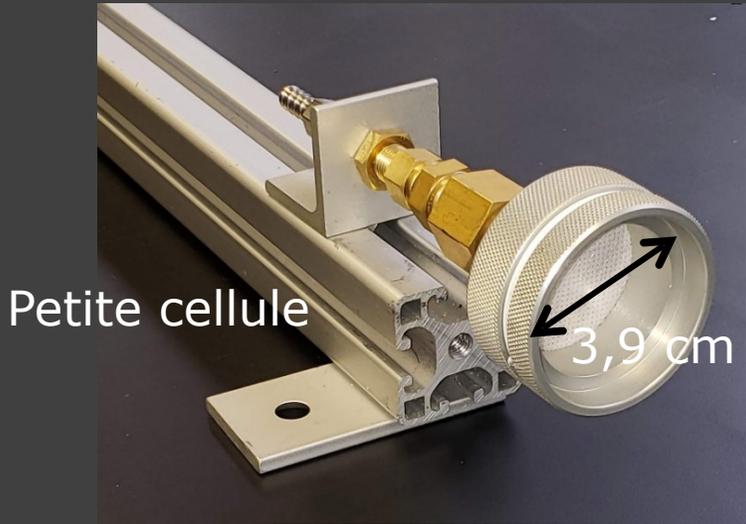
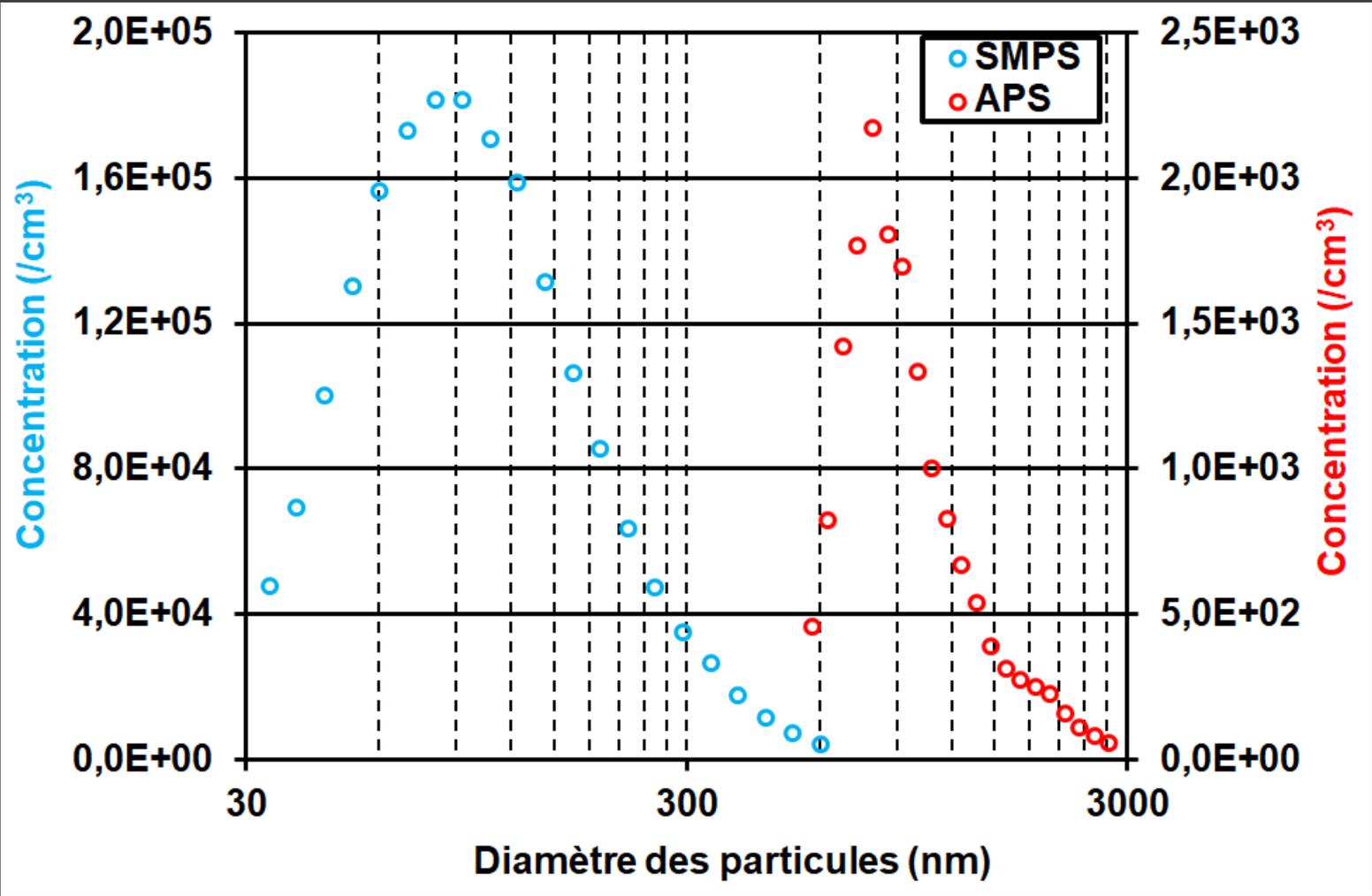


Vitesses d'air  $U_T$  comprises entre 0,1 et 1 m/s; vitesses d'air  $U_f < 1$  cm/s  
Concentrations suffisantes pour les particules entre 20 nm et 3  $\mu$ m

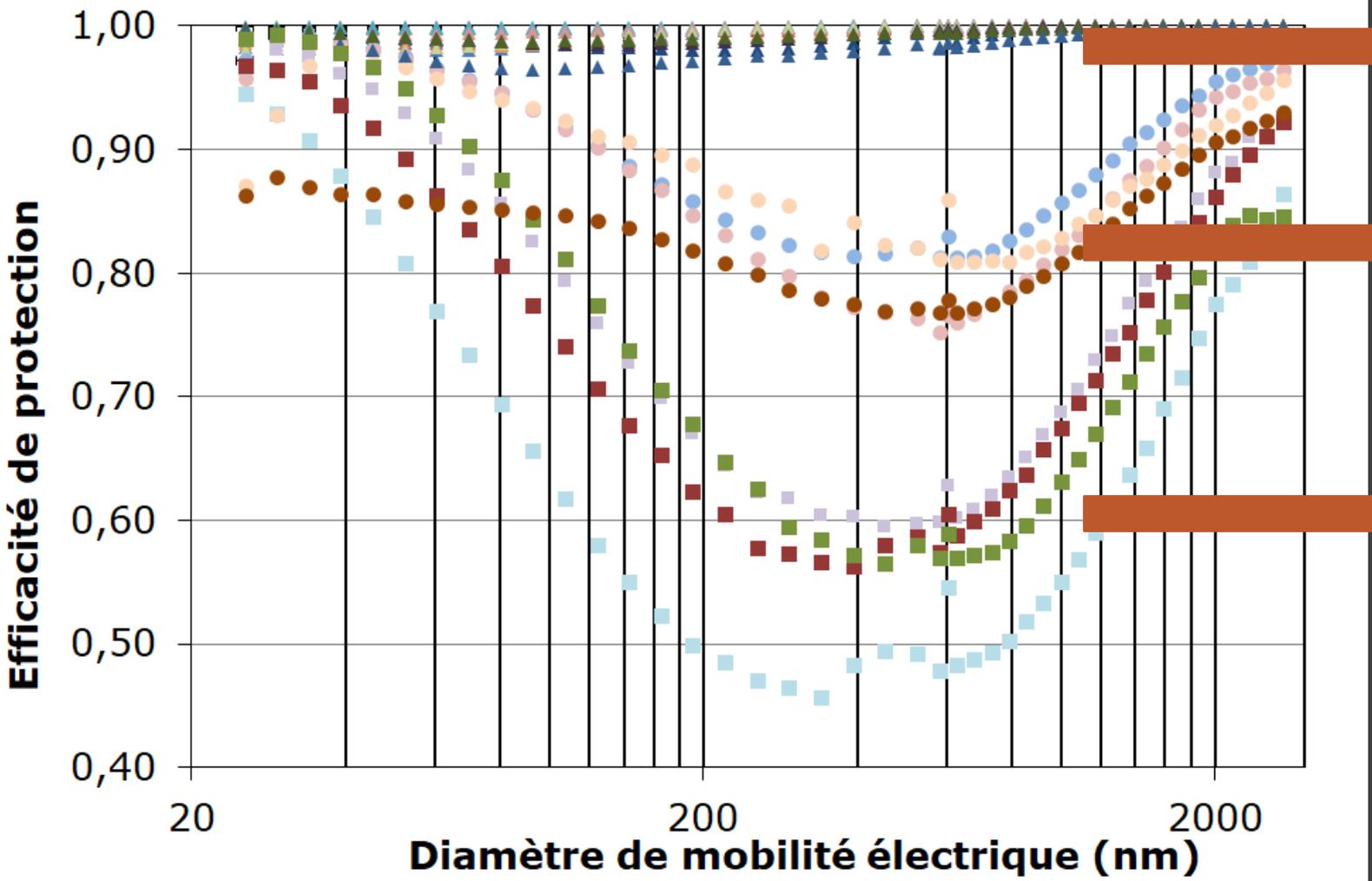
Concentrations générées et vitesses suffisamment homogènes : ASHRAE 52.2-2012

# Performances de protection : Banc d'essai

Concentrations générées et vitesses suffisamment homogènes : ASHRAE 52.2-2012



# Performances de protection : 20 matériaux neufs $U_f=0,3$ cm/s



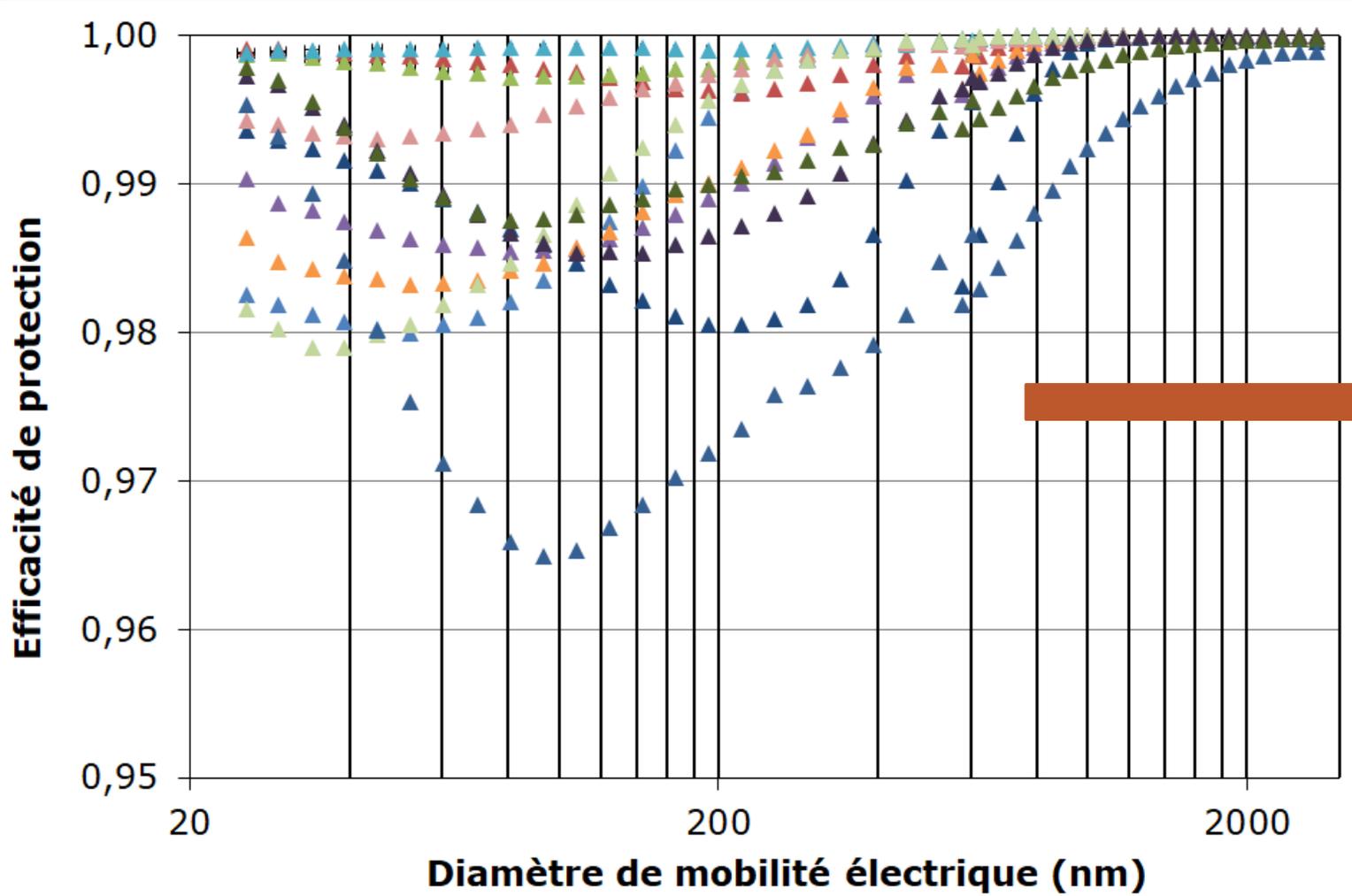
Groupe C : 2 SMS+ 1 FS + 9 MP  
MPPS 25-200 nm

Groupe B : 4 SMS  
MPPS 350-550 nm

Groupe A : 4 SMS  
MPPS 300-500 nm

- |            |          |           |           |          |
|------------|----------|-----------|-----------|----------|
| ▲ KP 10000 | ▲ DPN    | ▲ 3M 4540 | ▲ M 2000  | ▲ ST 40  |
| ▲ M 1800   | ▲ NGA    | ▲ 3M 4510 | ▲ LMX     | ▲ Tyvek® |
| ● M 1500   | ● KC A10 | ▲ KC A30  | ■ M 1500+ | ■ ST 30  |
| ● 3M 4520  | ▲ KC A20 | ■ NGP     | ■ 3M 4530 | ● LSG    |

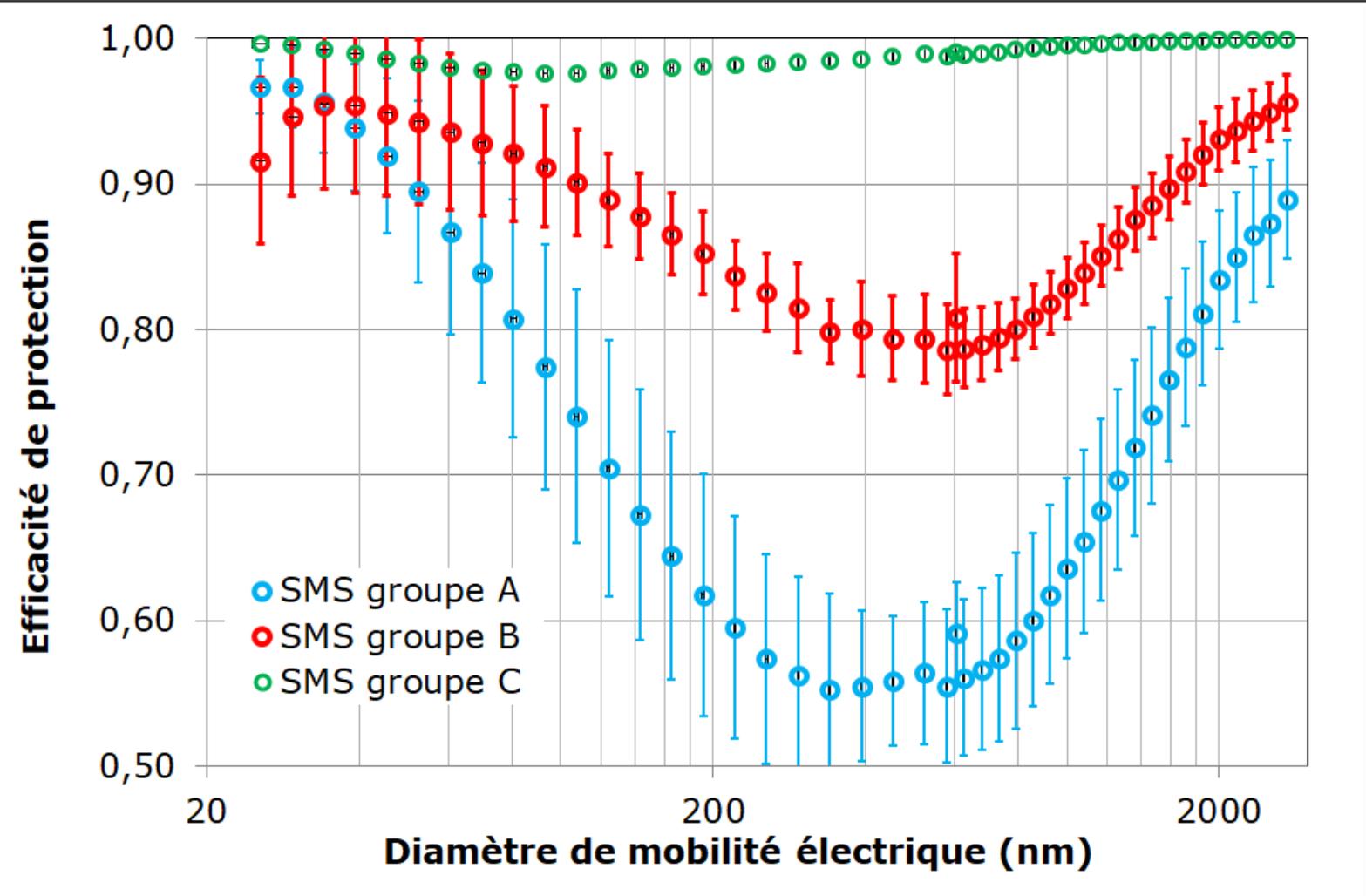
# Performances de protection : 20 matériaux neufs $U_f=0,3$ cm/s



Groupe C : 2 SMS+ 1 FS + 9 MP  
 MPPS:25-400 nm  
 MPPS (SMS) : 40-50 nm

- |            |          |           |           |          |
|------------|----------|-----------|-----------|----------|
| ▲ KP 10000 | ▲ DPN    | ▲ 3M 4540 | ▲ M 2000  | ▲ ST 40  |
| ▲ M 1800   | ▲ NGA    | ▲ 3M 4510 | ▲ LMX     | ▲ Tyvek® |
| ● M 1500   | ● KC A10 | ▲ KC A30  | ■ M 1500+ | ■ ST 30  |
| ● 3M 4520  | ▲ KC A20 | ■ NGP     | ■ 3M 4530 | ● LSG    |

# Performances de protection : 10 matériaux SMS neufs $U_f=0,3$ cm/s



Épaisseur de la couche M  
Diamètre des fibres M  
Porosité de la couche M



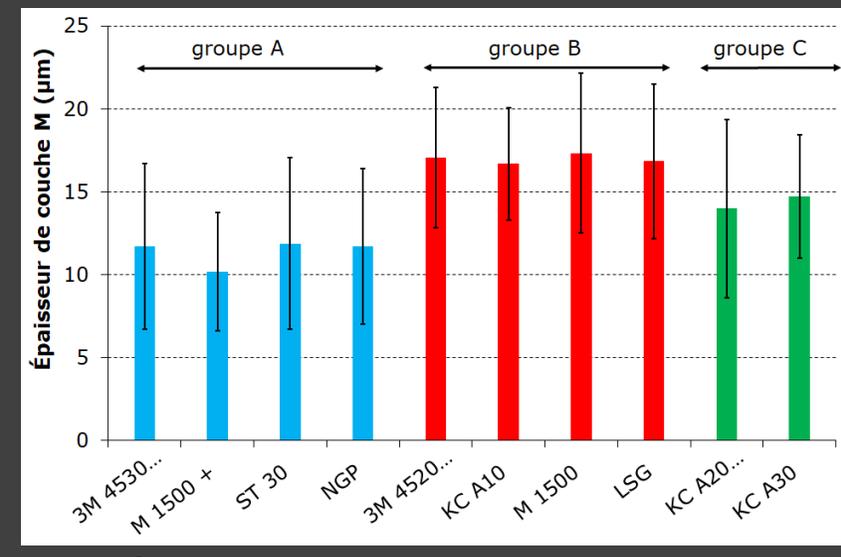
# Performances de protection : 10 matériaux SMS neufs $U_f=0,3$ cm/s



Porosité de la couche M



Diamètre des fibres M



Épaisseur de la couche M

Épaisseur : groupe B/groupe C  $\approx 1,44-1,59$

# Performances de protection : 10 matériaux SMS neufs $U_f=0,3$ cm/s

Efficacité globale de protection groupe A

$$E_A = 1 - \exp\left(-4 \cdot e_f \cdot \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \cdot \frac{Z_{M,A}}{\pi \cdot d_f}\right)$$

$e_f$  l'efficacité unitaire de collecte

$\epsilon$  la porosité du medium

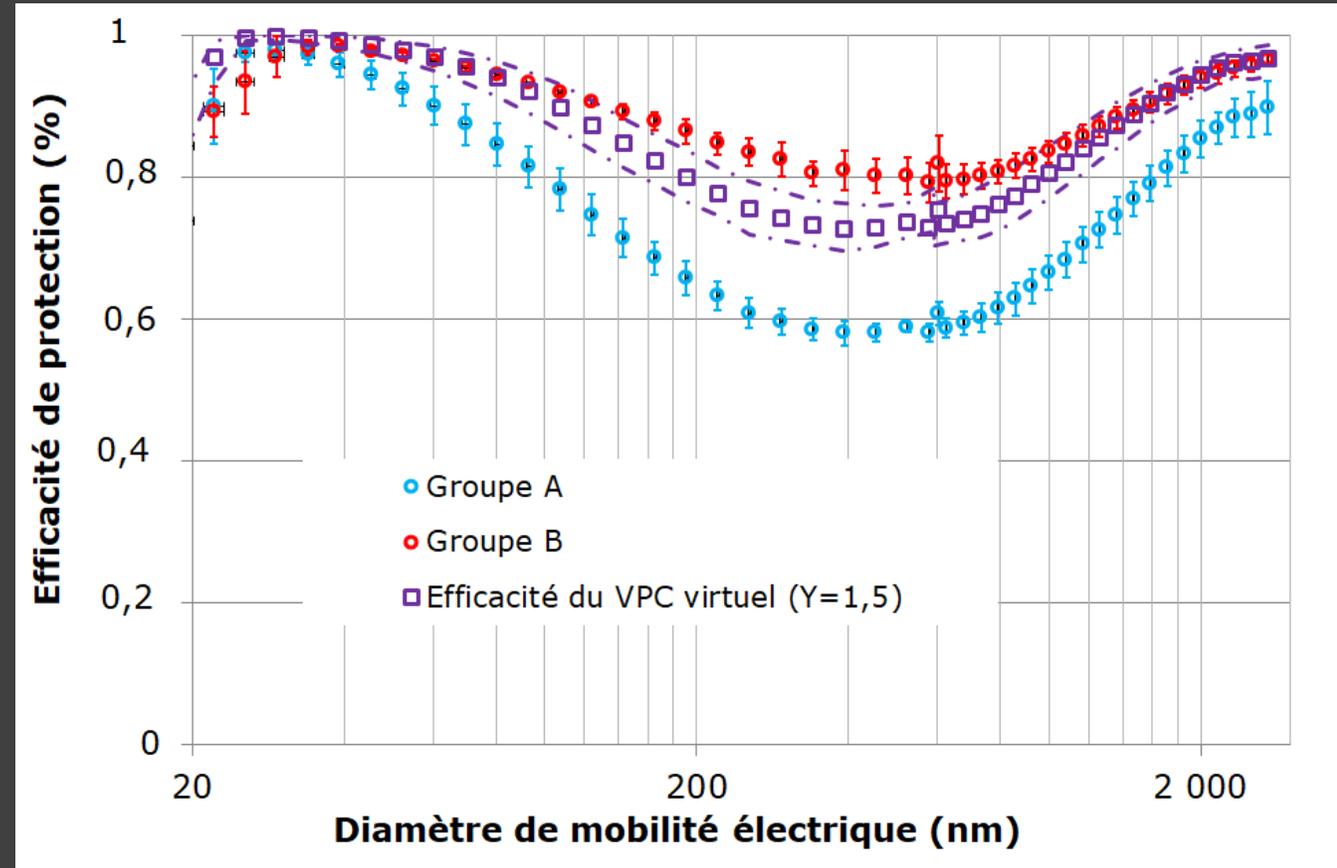
$d_f$  le diamètre des fibres

$Z_{M,A}$  l'épaisseur de la couche M gr A

Efficacité globale de protection groupe virtuel Y

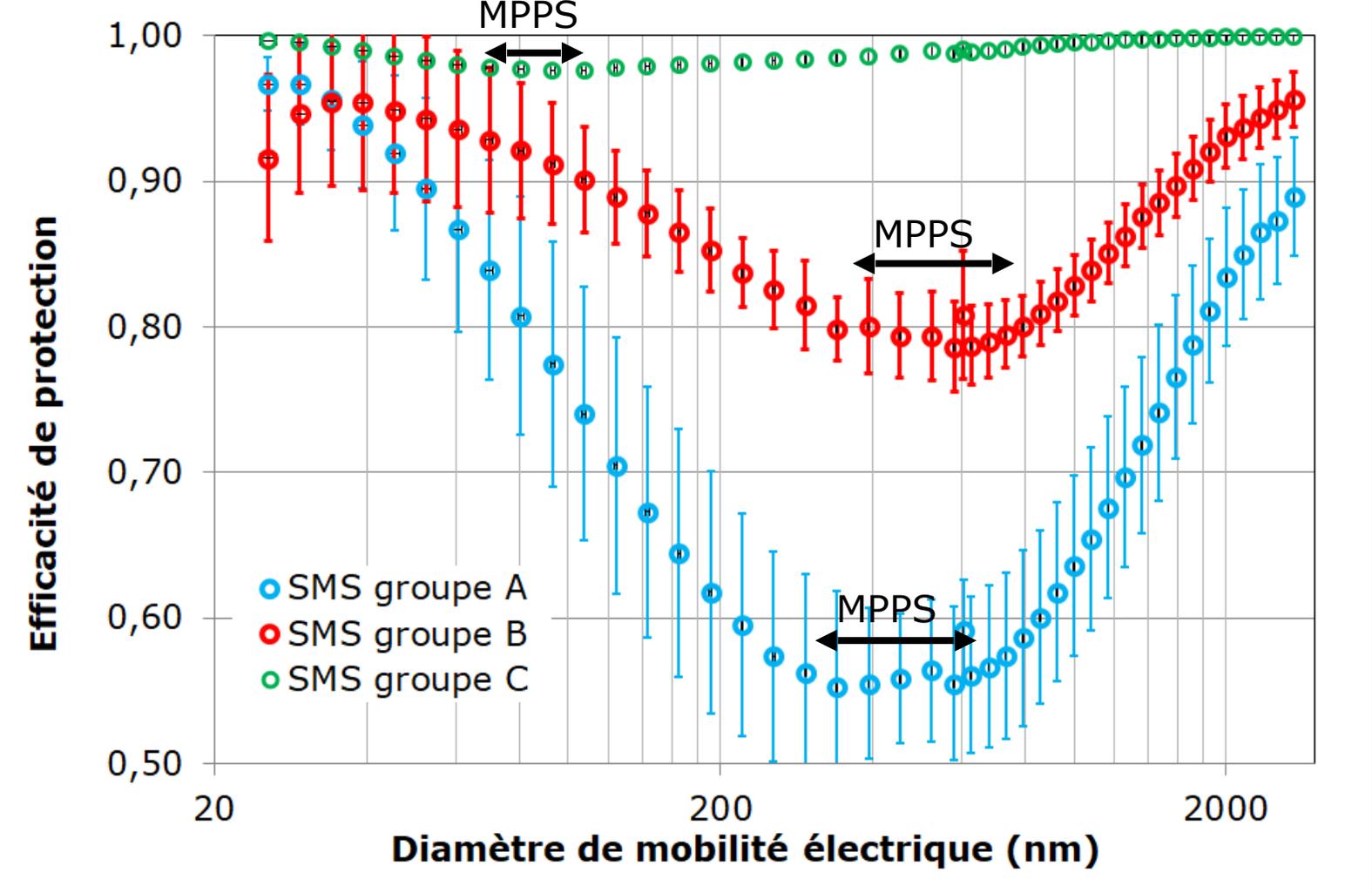
$$E_Y = 1 - \exp\left(-4 \cdot e_f \cdot \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \cdot \frac{Y * Z_{M,A}}{\pi \cdot d_f}\right)$$

$$Y=1,44-1,59$$



L'épaisseur explique certainement en grande partie l'augmentation d'efficacité du groupe B par rapport au groupe A

# Performances de protection : 10 matériaux SMS neufs $U_f=0,3$ cm/s



Décalage dans la MPPS  
+  
Meilleure efficacité



Amélioration de la collecte  
par interaction électrostatique ?

Traitement Microforce™ des  
VPC KC A20 et KCA30

# Performances de protection : Modélisation de la filtration SMS groupe A

Efficacité globale de protection

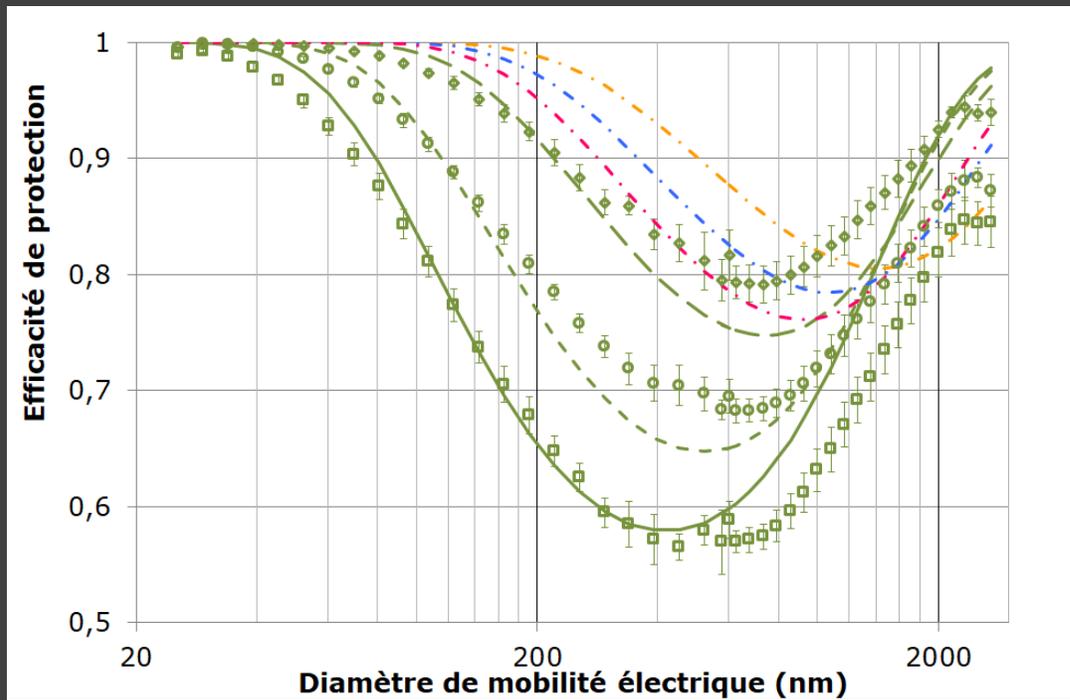
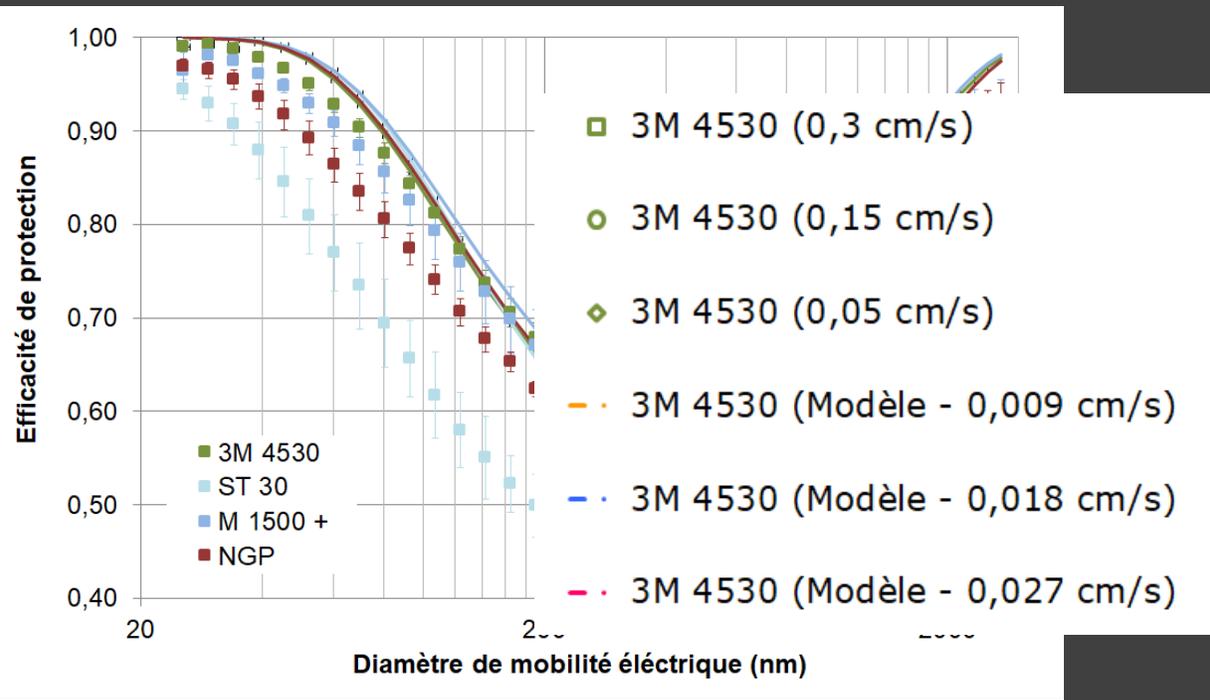
$$E_T = 1 - \exp\left(-4 \cdot e_f \cdot \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \cdot \frac{Z}{\pi \cdot d_f}\right)$$

Diffusion brownienne    Interception    Impaction    Interaction Inter/impac

$$e_f = 1 - (1 - e_{br}) * (1 - e_r) * (1 - e_i) * (1 - e_{br+r})$$

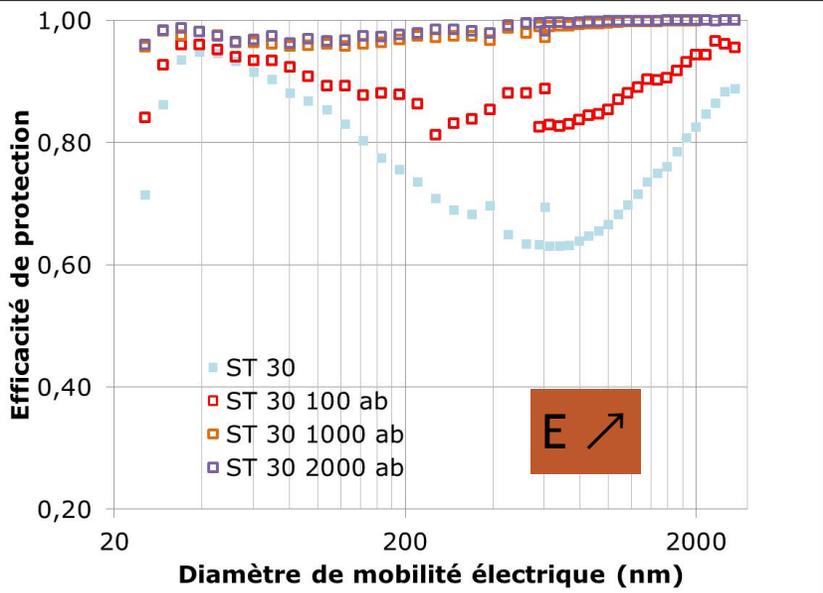
10 modèles \* 4 modèles \* 2 modèles \* 3 modèles = 240 modèles

modèle St-K-St-Lan retenu

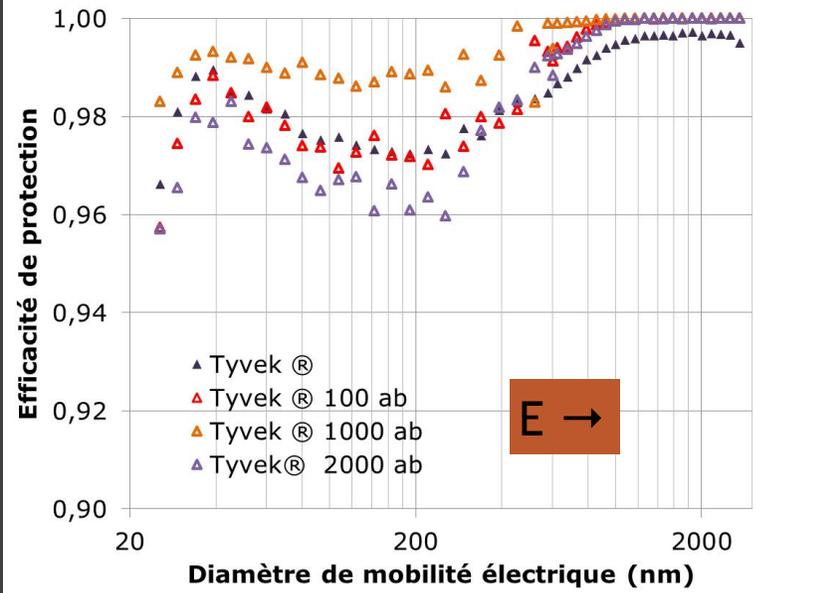


# Performances de protection : effet de l'usure des matériaux

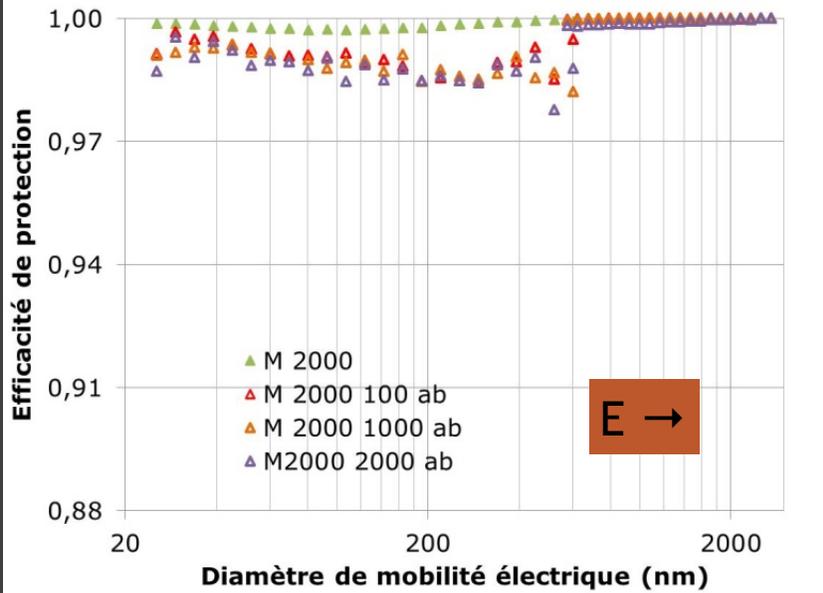
Méthode	Usure mécanique	Nombre de cycles	Classe de performances (EN 14325)
ASTM D4966-12	Abrasion	100, 1000, 2000	2 , 4, 6
ASTM F392-11	Flexion	2500, 15 000, 100 000	2 , 4, 6



SMS



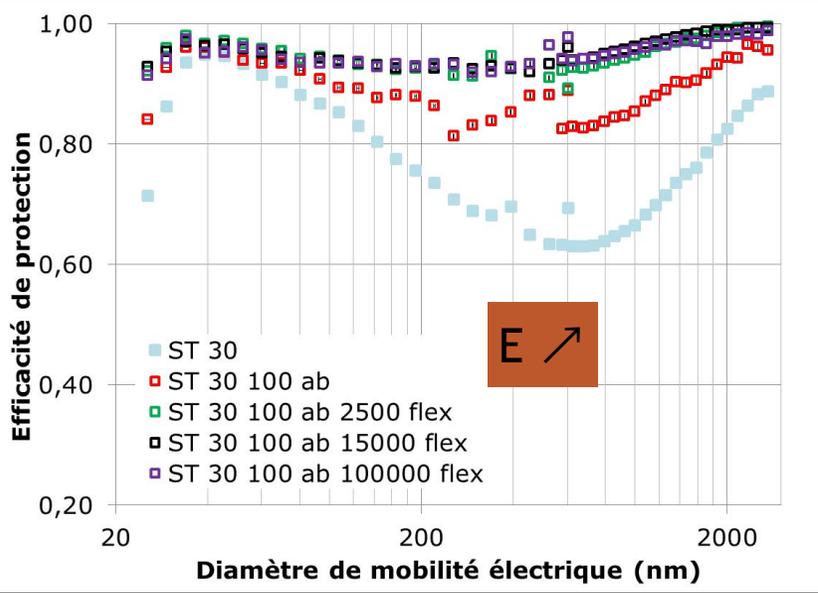
FS



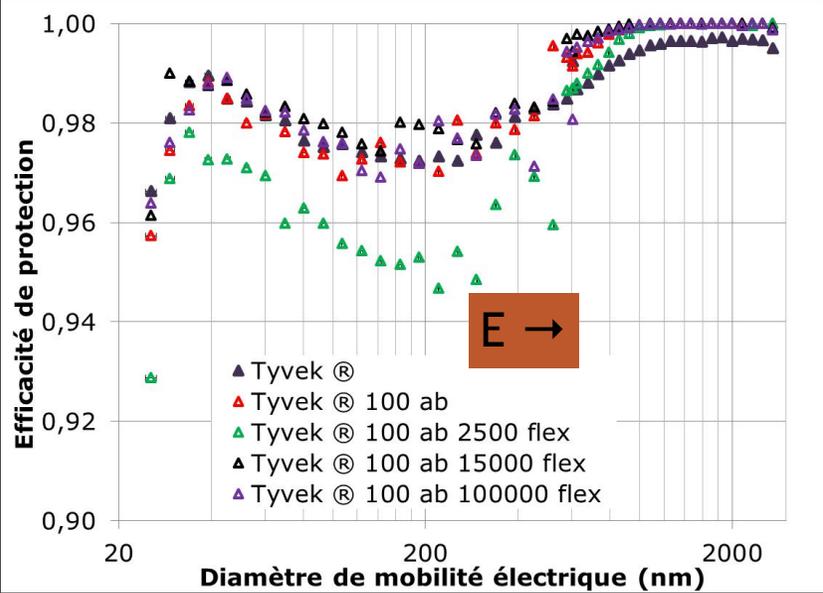
MP

# Performances de protection : effet de l'usure des matériaux

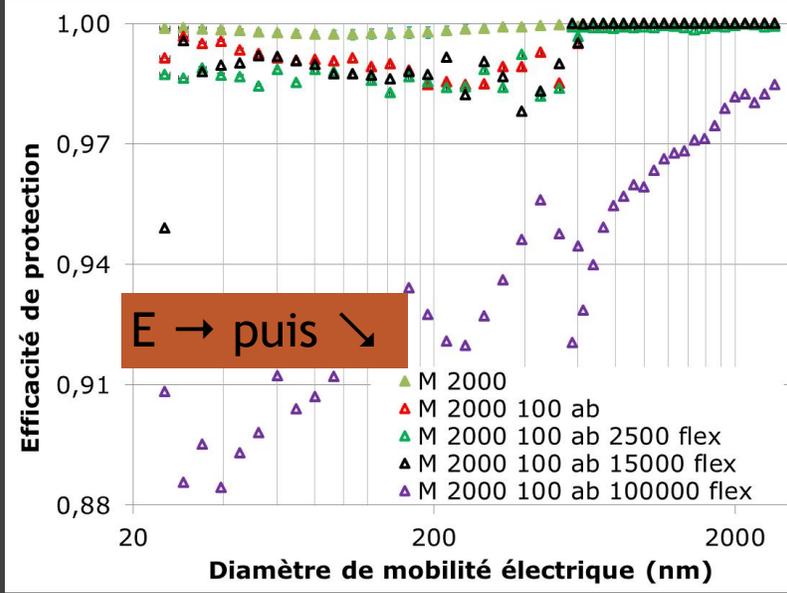
Méthode	Usure mécanique	Nombre de cycles	Classe de performances (EN 14325)
ASTM D4966-12	Abrasion	100, 1000, 2000	2 , 4, 6
ASTM F392-11	Flexion	2500, 15 000, 100 000	2 , 4, 6



SMS

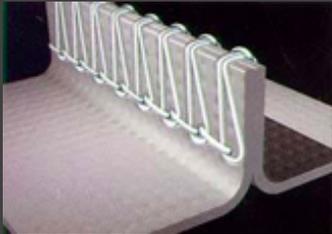


FS

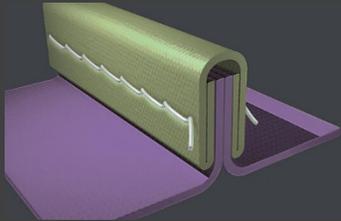


MP

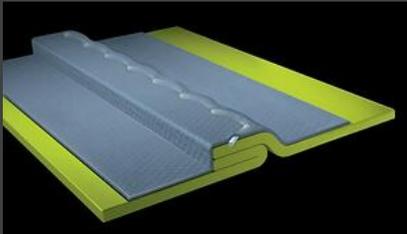
# Performances de protection : effet des coutures



Coutures surjetées

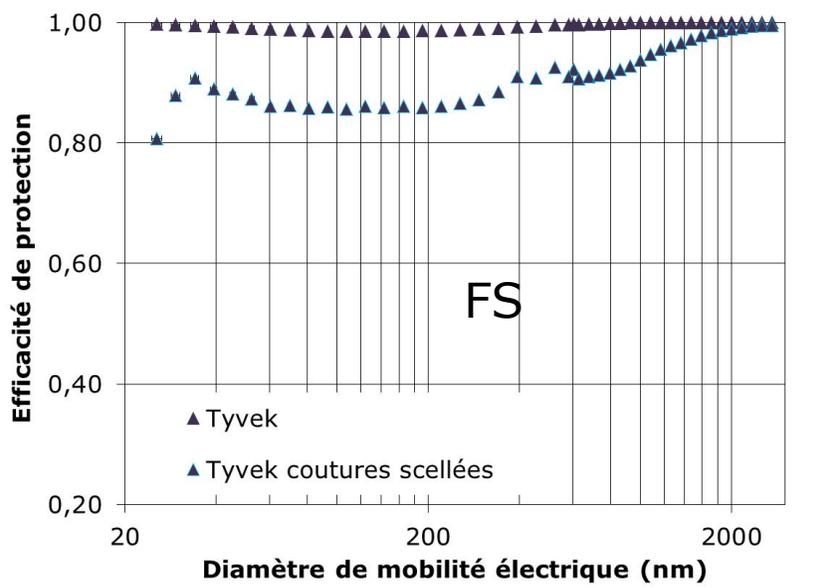
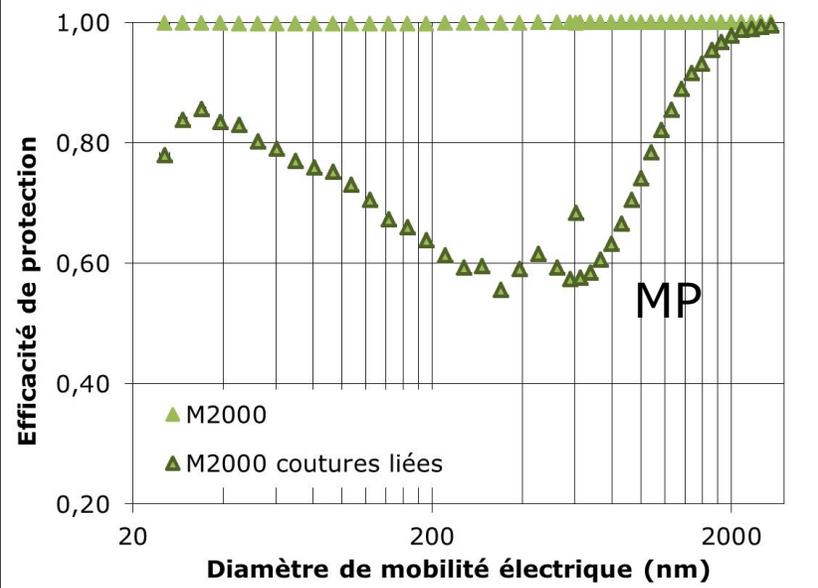
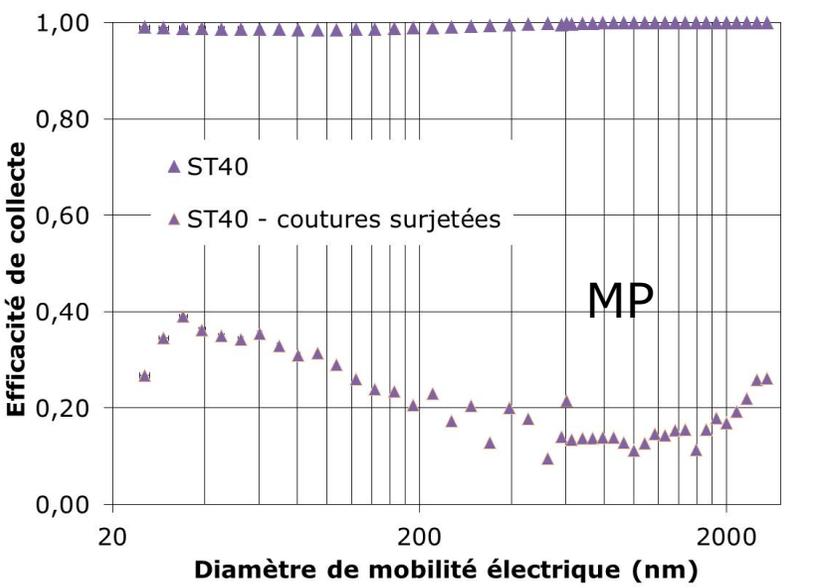


Coutures liées



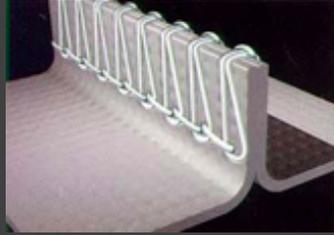
Coutures scellées

Blog Lakeland Europe

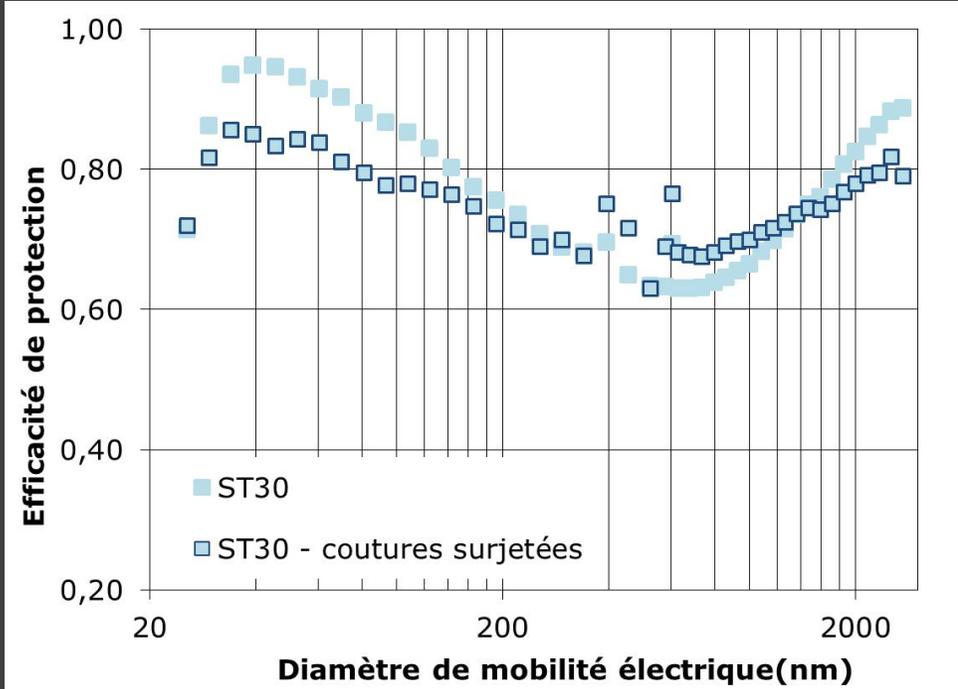
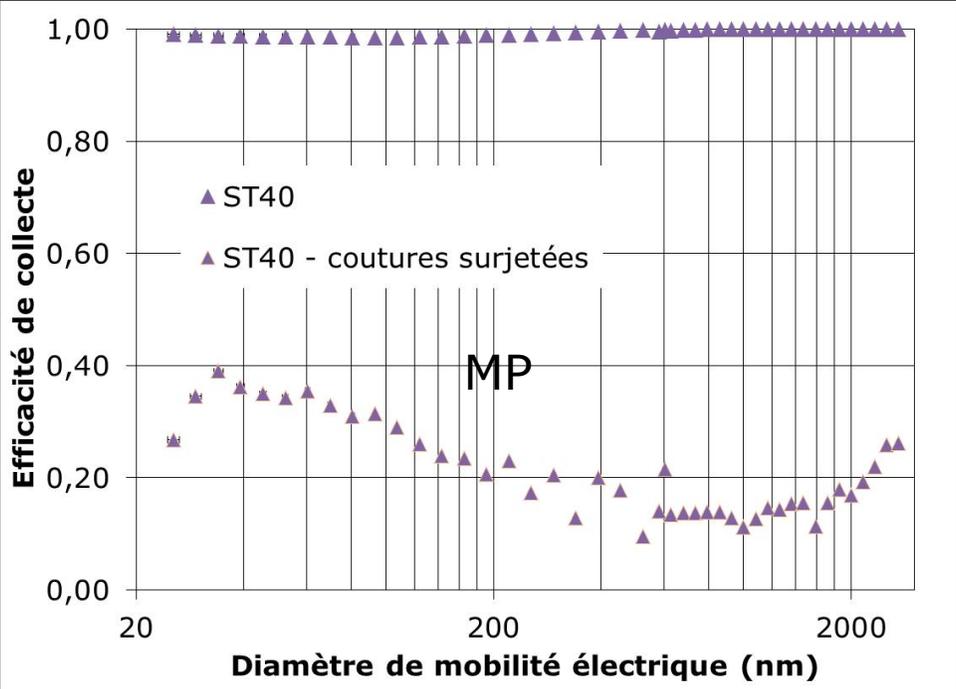


Matériaux peu perméables à l'air et très efficaces

# Performances de protection : effet des coutures



Coutures surjetées



Effets plus prononcés sur les matériaux peu perméables

# Résumé

- Sélection de 20 matériaux
- Caractérisation « macro »
  - Microporeux plus denses et moins épais que les SMS
  - Flashpun (Tyvek®) est moins dense et moins épais que les MP et SMS
  - Porosité (Tyvek®) < Porosité MP < Porosité SMS
  - Tailles de pores MP < tailles de pores SMS
- Indicateur de confort physiologique
  - Perméabilité à l'air SMS > FS > MP
  - Perméabilité vapeur d'eau SMS > FS ≈ MP
- Efficacité de protection
  - FS ≈ MP ≥ SMS
  - 3 classes de SMS à efficacité variable: épaisseur de la couche M, traitement électrostatique
  - Modélisation possible de l'efficacité des SMS: prévision possible
  - Usure : améliore l'efficacité des SMS, peut réduire celle des MP, FS insensible
  - Coutures : scellées > liées > surjetées

Pas de « corrélation » avec l'efficacité

« corrélation » partielle avec les tailles de pores

