

Partie I : Aperçu sur la technologie des salles blanches

I.1. C'est quoi une salle blanche ?

Définition simple

Une salle blanche (ou propre) est une salle qui est propre.

Définition selon la norme ISO 14644-1

Selon cette norme, la salle blanche est définie comme suit:

Une salle dans laquelle la concentration des particules en suspension dans l'air est maîtrisée et qui est construite et utilisée de façon à minimiser l'introduction, la production et la rétention des particules à l'intérieur de la pièce et dans laquelle d'autres paramètres pertinents, telles que la température, l'humidité et la pression sont maîtrisés comme il convient.

I.2. Terminologie utilisée

La terminologie utilisée est extrêmement variée pour qualifier les zones à contamination maîtrisée. Elle dépend du domaine et le type de l'application. Les appellations les plus répandues sont :

- Salles blanches ou salles propres;
- Salles ou blocs stériles ;
- Salles microbiologiquement maîtrisées (SMM);
- Salles grises;
- Doigts gris;
- Zones à contamination contrôlée (ZCC):
- Zones à atmosphère contrôlée (ZAC):
- Zones à environnement ou empoussièremment contrôlé (ZEC).

I.3. Motivation pour la technologie des salles blanches

Les premiers environnements propres et contrôlés ont été construits pour les hôpitaux.

Des médecins et biologistes, come Pasteur et Lister ont compris la nécessité de ces environnements pour lutter contre la contamination.

Lister aspergeait du phénol dans l'air autour du patient pour réduire le risque d'avoir des infections dues aux microorganismes qui existent dans l'air.

Avec cette technique ainsi que le nettoyage des instruments, le port de blouses, de masques et de gants, Lister a créé les premières salles blanches et des environnements contrôlés pour y opérer les patients [1].

I.4. Besoins et progrès

L'amélioration de la technologie des salles blanches doit ses origines à la course entre les États-Unis et l'URSS pour la position de leader des voyages dans l'espace. À une époque où les fusées américaines avaient une poussée limitée, le poids était un facteur important dans la conception et par conséquent la miniaturisation des composants mécaniques, hydrauliques et électroniques était un élément essentiel des stratégies de développement [2].

Afin de produire et d'assembler les composants petits et minuscules, il était nécessaire d'effectuer le travail dans un environnement exempt de poussière et de particules qui est la salle blanche ou propre.

Au cours des années 1960, les fabricants de produits pharmaceutiques se sont rendu compte que la propreté utilisée lors de la production de médicaments n'était pas toujours suffisante et, en outre, ils ne pouvaient pas se fier uniquement à l'analyse d'échantillons statistiques du produit final. Des salles blanches ainsi que des zones propres ont donc été introduites et suivies plus tard par l'utilisation de bonnes pratiques de fabrication [1].

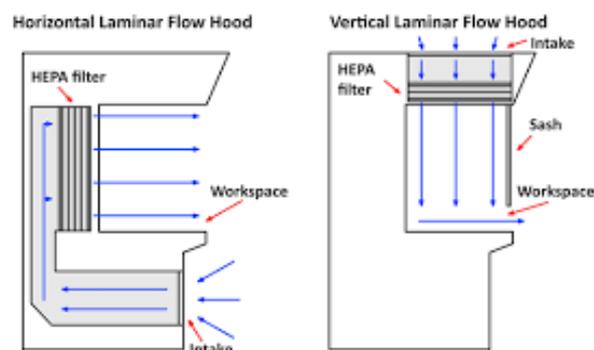
D'autres domaines tels que la microélectronique [3], l'agroalimentaire et la biotechnologie [1] ont suivi la politique de l'aérospatiale en introduisant la technologie des salles blanches.

I.5. Comment atteindre la propreté requise ?

Pour atteindre la qualité de la pureté requise pour l'air dans les salles blanches, les spécialistes dans ce domaine ont conçu la technologie d'un système à flux laminaire (Laminar flow system) et des filtres de haute efficacité (HEPA Filter) [3].

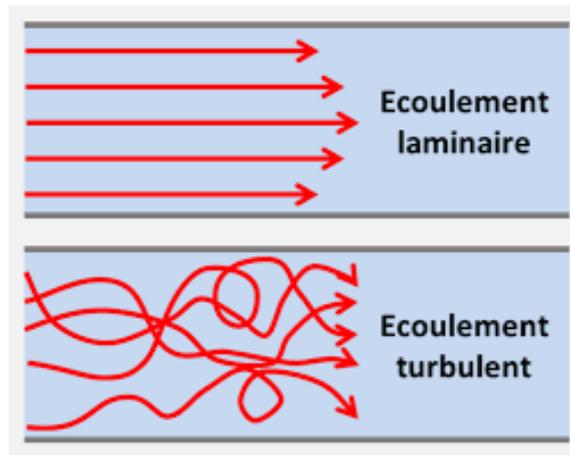
Systeme à Flux laminaire

Le flux laminaire est un courant unidirectionnel régulier d'air filtré ultra propre avec une vitesse constante de l'ordre de 0,45 m/s mesurée avec une précision de $\pm 0,1$ m/s sur toute la zone de travail propre.



Hottes à flux laminaire horizontal et vertical [4]

Il est à noter que la technique du flux unidirectionnel qui génère un flux uniforme (laminaire) est plus efficace, car elle permet l'expulsion des microparticules à l'extérieur de la zone contrôlée, alors que l'injection d'un flux aléatoire et turbulent, dilue seulement l'air existant avec de l'air propre.



Flux laminaire et turbulent [5]

Filtre de haute efficacité (HEPA Filter)

C'est un filtre capable de filtrer l'air, en un passage, au moins 99,97 % des particules de diamètre supérieur ou égal à $0,3 \mu\text{m}$.



Exemple de filtre HEPA

I.6. Normes et notion de classe

Pour pouvoir comparer la propreté des environnements contrôlés, on a introduit, selon la norme **US Federal Standard 209 E**, la notion de classe qui établit une correspondance entre la classe de propreté et les concentrations de particules de différentes tailles allant de $0,1 \mu\text{m}$ jusqu'à $10 \mu\text{m}$.

- **Définition de la classe**

La classe de propreté est caractérisée par le nombre des particules de $0,5 \mu\text{m}$ de diamètre, mesuré dans un pied cube ($28,3 \text{ dm}^3$)

- **Norme Internationale ISO 14644-1**

Cette norme a été introduite pour uniformiser les différentes normes nationales.

Dans cette norme, la définition de la classe se réfère au logarithme de la concentration des particules de $0,1 \mu\text{m}$ par m^3 .

Une classe ISO 5, correspond à une classe qui contient moins de 100.000 particules de $0,1 \mu\text{m}$ par m^3 .

Une classe ISO 5 correspond à une classe qui contient moins de 100.000 particules de 0,1 µm par m³ (3520 particules de 0,5 µm par m³, soit 100 particules de 0,5 µm par pied³).

- **Conséquence**

ISO 5 correspond à la classe de propreté 100 suivant le **US Fderal Standard 209** .

- **Correspondance entre la US Federal Standard 209 et la norme ISO 1464-1**

Le tableau ci-dessous illustre bien la correspondance en matière de classe entre la **norme US 209** et la norme **ISO 14644-1**.

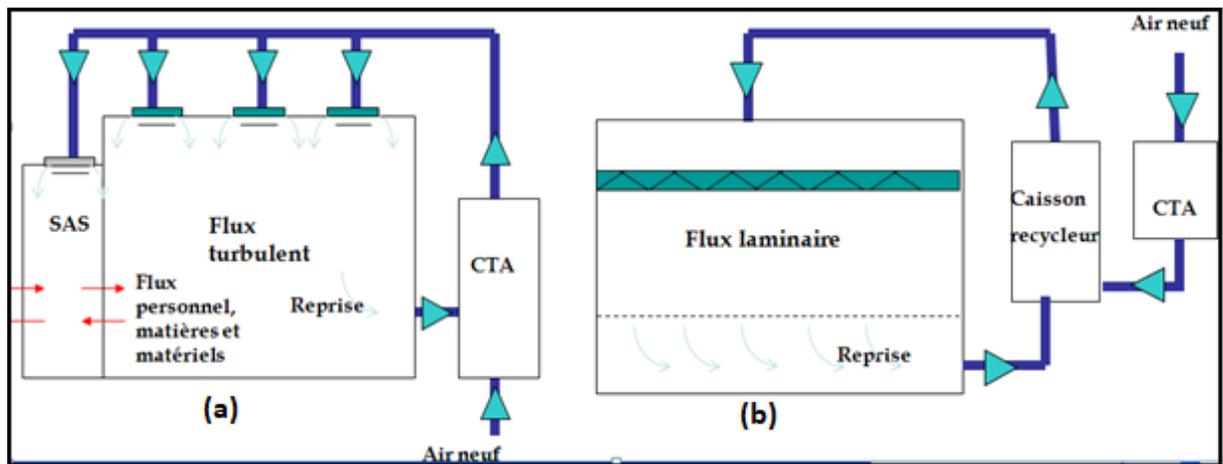
Type de Classement		Concentration maximale admissible (nombre de particules par unité de volume)											
ISO	US 209	0.1 µm		0.2 µm		0.3µm		0.5µm		1µm		5µm	
		m ³	pied ³	m ³	pied ³	m ³	pied ³	m ³	pied ³	m ³	pied ³	m ³	pied ³
ISO1		10	-	2	-					-	-	-	-
ISO2		100	-	24	-	10		4		-	-	-	-
ISO3	1	1 000	35	237	7.5	102	3	35	1	8	-	-	-
ISO4	10	10 000	350	2370	75	1 020	30	352	10	83	-	-	-
ISO5	100	100 000	-	32 700	750	10 200	300	3 520	100	832	-	29	-
ISO6	1 000	1 000 000	-	237 000	-	102 000	-	35 200	1 000	8320	270	293	7
ISO7	10 000	-	-	-	-	-	-	352 000	10 000	83200	2750	2 930	70
ISO8	100 000	-	-	-	-	-	-	3 520 000	100 000	832000	27500	29 300	700

Classement dans les deux normes IS et US 209

I.7 Types de salles propres du point de vue type de Flux

Les salles propres sont généralement :

- à flux turbulent
- à flux mixte ou flux unidirectionnel partiel (flux unidirectionnel installé au sein d'une zone à flux turbulent)
- à flux unidirectionnel total
- à flux turbulent ou unidirectionnel avec systèmes de confinement spécifiques (isolateurs, mini-environnements...).



(a) Salle à flux turbulent

(b) Salle à flux laminaire [6]

I.8. Types de salles propres du point de vue niveau de pression à l'intérieur

- **Salles en surpression par rapport à la pression atmosphérique**

Elles sont conçues pour éviter que divers polluants (poussières, bactéries...) puissent entrer, que l'on retrouve principalement dans l'industrie pharmaceutique et électronique ;

- **Salles en dépression par rapport à la pression atmosphérique**

Elles sont conçues pour éviter que divers contaminants (virus, bactéries, spores, ...) ne puissent sortir. Dans ce cas, l'air vicié extrait, passe à travers un filtre absolu avant d'être évacué vers l'extérieur

I.8. Importance de la régénération de l'air

Pour des raisons économiques, l'air injecté dans une salle blanche n'est pas évacué vers l'extérieur, mais il est plutôt recyclé. Cependant, pour empêcher le développement de la bactérie et diluer le CO₂ des expirations ainsi que les quelques gaz qui échappent aux systèmes d'évacuation des équipements, 10 à 20 % du volume de l'air est remplacé par de l'air nouveau comme il est indiqué dans la figure ci-dessus.

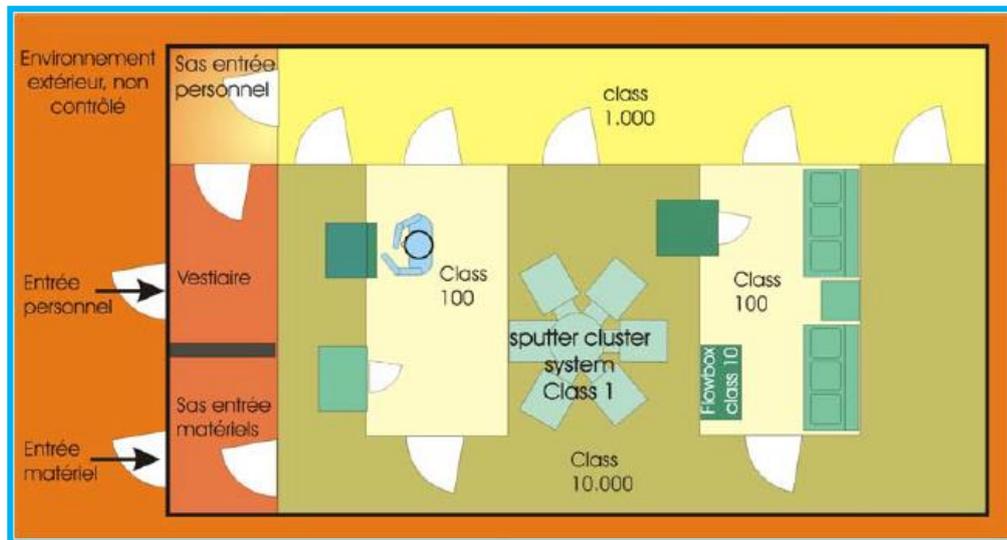
Facteurs influant sur la propreté d'une salle blanche

Les deux facteurs, qui caractérisent l'écoulement de l'air injecté dans une salle blanche et qui sont fonction de la classe de propreté recherchée, sont la vitesse de l'air et le taux de brassage (taux de renouvellement de l'air de la salle), c'est-à-dire le nombre de renouvellement du volume de l'air par heure.

Exemple, Dans une salle blanche de classe ISO 5 (classe 100 en US Federal Standard, 209E), la vitesse est située entre 0,3 et 0,6 m/s et le taux de brassage (renouvellement) entre 300 et 600

Question: Est-il nécessaire d'avoir la même classe partout dans une salle blanche?

Réponse: Non, il suffit d'établir un environnement propre uniquement autour du procédé qui a besoin d'être protégé comme il est illustré par la figure ci-dessous.



Exemple de parties propres et moins propres d'une salle blanche [7].

Bibliographie

[1] W. WHYTE, Cleanroom design, John wiley & Sons, 1990,

[2] <http://www.bleymehl.com>

[3] Peter Van Zant, Microchip Fabrication, Mc Graw Hill, 2014

[4] <https://www.jove.com/>

[5] <https://linnovationdelapeauderequin.wordpress.com/lhydrodynamisme/>

[6] www.er2i.eu

[7] Irène VERETTAS, Microfabrique: méthodologie de conception de systèmes de production miniaturisés et modulaires, disposant d'un environnement salles blanches, thèse de doctorat, EPFL, 2006.