

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 126 (2000)
Heft: 14

Artikel: Les salles blanches: des réalisations délicates où prime la maîtrise d'oeuvre
Autor: Notarianni, Michel / Murat, Jean-Robert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81509>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Les salles **blanches** : des réalisations délicates où prime la maîtrise d'œuvre

(NOUVELLES TECHNOLOGIES)

Alors que la «salle propre» ou «salle blanche» s'im-
plante dans des secteurs industriels sans cesse
diversifiés, l'utilisateur exige un ouvrage à la fiabi-
lité croissante, d'exploitation aisée et peu coûteuse.
La conception et la mise en place d'un tel ouvrage
passe par la maîtrise de diverses technologies for-
tement interactives. De même, la réalisation im-
plique des acteurs possédant toutes les compétences
requis dans leur domaine, mais également
capables d'apprécier les incidences de leurs choix
techniques sur ceux des autres corps de métier par-
ticipant à la construction.

Le présent article a pour objet de sensibiliser le lec-
teur à la complexité de la salle blanche ainsi qu'à la
nécessaire collaboration et aux échanges transdis-
ciplinaires qui en découlent.

Introduction

La notion de «salle propre» ou «salle blanche» s'est déve-
loppée au cours des années 1960, avec la nécessité de maî-
triser les ambiances pour améliorer la qualité des produits
dans la fabrication des composants électroniques. En fait,
c'est le secteur hospitalier qui a été à l'origine, il y a plus d'un
siècle, des premiers développements dans ce domaine, afin
de lutter contre les causes d'infection en salle d'opération.
Depuis, les techniques n'ont cessé d'évoluer et les besoins
se sont élargis à des industries de plus en plus diverses et exi-
geantes: secteur hospitalier, industries alimentaire, pharma-
ceutique et microélectronique, sans oublier l'industrie horlo-
gère, qui peu à peu s'équipe elle aussi de salles propres de
classe moyenne afin d'améliorer la qualité de ses produits et
de maintenir son niveau de compétitivité. L'objectif recher-
ché, lors de la conception d'une telle salle, est sa facilité d'uti-
lisation; tous les moyens existants doivent donc être mis en
œuvre pour rendre les opérations aisées et fiables pour les
utilisateurs.

Les salles propres sont définies comme un ensemble de
technologies associées entre elles pour répondre aux besoins
d'un processus exigeant et de son environnement. Cette
combinaison de technologies, dont chacune est essentielle
pour le résultat final, donne à la salle propre sa spécificité. Du

recueil des données de base à la validation, en passant par
toutes les étapes intermédiaires, chaque tâche, si minime soit
elle, doit être exécutée en visant le «zéro défaut» sous peine
d'entraver *in fine* les conditions d'exploitation. La complexi-
té d'une telle réalisation requiert la participation d'acteurs
possédant toutes les compétences requises dans leur propre
métier, tout en étant capables d'apprécier les interférences et
les interactions de leur activité sur les autres éléments de l'ou-
vrage. Ainsi, l'ingénieur traitant la climatisation ne doit pas
seulement être un spécialiste de ce domaine, mais aussi un
véritable généraliste, capable d'apprécier tous les problèmes
de coordination et de planification, susceptible d'apporter
son concours à la définition de l'ensemble du projet et pou-
vant à chaque instant juger des effets de sa propre installa-
tion sur les autres équipements. Pour illustrer notre propos,
nous aborderons sommairement les différentes phases de
développement d'un projet, en insistant sur les impératifs
techniques requis et leurs conséquences sur les conditions
d'exploitation. Au préalable, nous rappellerons quelles sont
les normes qui régissent actuellement le dimensionnement
de l'installation de ventilation et ses fonctions essentielles.

Données fondamentales

Les classes d'empoussièrement

Mesure de la qualité de l'air dans un volume donné, l'em-
poussièrement est défini par la quantité et la dimension des
particules qui s'y trouvent. Cette classification se faisait sou-
vent par référence à la norme américaine FS-US-209, jusqu'à
ce qu'une norme internationale ISO/DIS 14644-1 soit élabo-
rée en 1999 (tableau 1). Ce document définit trois états
d'occupation possibles:

- installation telle que construite et prête à fonctionner;
- installation au repos, avec équipements en fonctionne-
ment;
- installation en exploitation, avec équipements de pro-
duction et personnel en activité.

Les classes de bio-contamination

En complément aux classes d'empoussièrement définies
par de véritables normes, il existe des recommandations spé-
cifiques à certaines industries, qui permettent de quantifier

TABLEAU 1: NORME INTERNATIONALE ISO / DIS 14644-1

Quantité de particules par m ³ en fonction de la taille							
(FS - US - 209)	Classes ISO	≥ 0,1 µm	≥ 0,2 µm	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
	ISO 1	10	2				
	ISO 2	100	24	10	4		
1	ISO 3	1 000	237	102	35	8	
10	ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
100	ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
1 000	ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
10 000	ISO 7				352 000	83 200	2 930
100 000	ISO 8					832 000	29 300
	ISO 9						293 000

TABLEAU 2: INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE

Classe	Nombre maximal autorisé de particules par m ³ de taille supérieure ou égale à			
	au repos		en activité	
	0,5 µm	5 µm	0,5 µm	5 µm
A (poste de travail sous flux laminaire)	3500	0	3500	0
B	3500	0	350 000	2 000
C	350 000	2 000	3 500 000	20 000
D	3 500 000	20 000	non défini	non défini

la bio-contamination. Cela concerne tout particulièrement l'industrie pharmaceutique, où les bonnes pratiques de fabrication (BPF) s'appliquent de façon quasi impérative pour fixer les seuils maximaux de contaminants et de microorganismes par unité de volume d'air (tableau 2).

Les classes A-B-C-D sont uniquement utilisées dans l'industrie pharmaceutique. Elles se réfèrent à des concentrations maximales d'organismes vivants au m³ de 1, 10, 100 et 200 respectivement. Au niveau de l'empoussièrement, elles correspondent, pour la classe A, à une classe 100 (ISO 5) avec flux laminaire stérile; pour la classe B, à une classe 100 sans flux laminaire; pour la classe C, à une classe 10 000 (ISO 7) et pour la classe D, à une classe 100 000 (ISO 8).

Agencement de l'ouvrage

Globalement, une salle propre comprend deux ensembles très différents au niveau de l'approche technique et constructive: on a d'une part le système de ventilation et tous les équi-

pements annexes, étudiés pour maintenir l'air aux conditions exigées par le procédé - ensemble qui peut être qualifié de dynamique -, et d'autre part l'enveloppe de l'installation, soit le local (plafond, plancher, cloisons et ouvertures, auxquels on peut associer d'autres éléments, tels que les luminaires par exemple) qui correspond à un ensemble statique. A ces deux groupes d'éléments vient s'ajouter le monitoring, qui englobe tous les moyens de gestion, à l'exception du processus de fabrication lui-même. Tous ont en commun de répondre aux impératifs du même procédé et d'être en étroite interdépendance.

Les fonctions du système de ventilation

Le système aéraulique a pour fonction de maintenir l'air dans les conditions requises tant pour le bon déroulement du processus, que le bien-être du personnel et le respect de l'environnement. Dans la majorité des cas, on maintient une cascade de pression positive, de la zone propre vers l'extérieur. Cette surpression conduit à déterminer un débit d'air extérieur, filtré et injecté à l'intérieur, pour compenser les fuites et extractions directes dues aux activités industrielles (aspiration locale notamment). Comme ce dernier est en général trop faible pour maintenir les conditions de brassage d'air exigées pour assurer le contrôle des particules, on doit le mélanger à de l'air recyclé provenant de la salle blanche. La quantité et la qualité du débit d'air mélangé qui fournit le débit pulsé dans la salle sont ajustées en fonction des paramètres de température, d'hygrométrie et d'empoussièrement requis. L'installation de ventilation assure à la fois la filtration de l'air et sa diffusion, le maintien en pression et le contrôle des conditions de circulation de l'air (taux d'air extérieur, débit d'air recyclé, débit pulsé).

Filtration de l'air

La filtration a pour but de préserver la salle blanche de la contamination extérieure, d'éliminer les contaminants générés à l'intérieur (par le produit, les équipements, le personnel), d'assurer la qualité de l'air rejeté. Ces contraintes vont déterminer le nombre et la capacité des étages de filtration.

Pour en optimiser le dimensionnement, les éléments suivants doivent être pris en compte: données sur le site (vents dominants, sources de pollution externe, empoussièrement), réglementation et recommandations concernant les travailleurs, le matériel, les bonnes pratiques de fabrication et les contraintes environnementales. Les critères économiques interviennent par le biais des délais de production, de la capacité de l'équipement et de son évolutivité. S'y ajoutent encore les aspects humains: soit la formation, la motivation et la compétence du personnel, ainsi que le degré de protection qui lui est nécessaire. Enfin, il y a les éléments architecturaux (disposition des locaux, intégration dans le site) et la sécurité (classification au feu des matériaux, gaz et liquides toxiques). Une analyse du procédé clarifie les objectifs de production, le type et la quantité de produits en jeu, leur vulnérabilité à l'air, les risques et nuisances liés au processus, l'émission de polluants. Une fois ces données rassemblées, le concepteur dispose des informations nécessaires pour entreprendre la définition des différents étages de filtration, dans le cadre plus large du système de traitement d'air.

Diffusion de l'air

Le système de ventilation doit capter et évacuer les contaminants internes, soit en régime turbulent, grâce à des caissons plafonniers avec ou sans filtres (selon la classe d'empoussièrement définie) ou à un plafond diffuseur perforé, soit en régime laminaire, grâce à la diffusion par captation linéaire. Dans ce dernier cas, un flux unidirectionnel vertical ou horizontal diffuse une veine d'air en écoulement pseudo laminaire, à une vitesse comprise entre 0,3 et 0,6 m/s. L'effet piston provoqué par cette veine d'air pousse les contaminants vers la reprise, qui doit être de même section que le soufflage, le principe étant d'éliminer les poussières au plus près de leur lieu de production en provoquant le moins de turbulences possible. La circulation d'air doit cependant rester supportable pour le personnel travaillant dans la salle.

Différentiel de pression

La ventilation doit également maintenir l'écart de pression relative entre le volume contrôlé et son environnement. L'ajustement tient compte de la différence entre les débits soufflés et repris ou extraits, tout en incluant le débit de fuite

de l'enceinte. Les valeurs courantes des cascades de surpression vont de 15 à 20 Pascals et le taux de renouvellement usuel, selon l'étanchéité de l'enceinte et la surpression, oscille entre 3 et 5 volumes par heure.

Taux de brassage

Le traitement d'air des salles blanches nécessite un brassage important d'air recyclé ou extrait; le rapport entre le volume d'air soufflé et le volume de l'enceinte est appelé taux de brassage. Il dépend de la classe d'empoussièrement souhaitée, des charges internes (apports, dissipation), de la concentration en particules due aux équipements et aux occupants. Relevons quelques valeurs usuelles: une salle de la classe 1 à 100 exige 600 vol/h, une classe 1000, 40 à 60 vol/h, une classe 10 000, 30 à 40 vol/h et une classe 100 000, 15 à 30 vol/h. A noter que, dans une installation classique, le taux de brassage doit être au maximum assuré par de l'air recyclé, proche en température, hygrométrie et empoussièrement des conditions d'utilisation.

Contrôle de l'air

En complément à son rôle de décontamination, le traitement de l'air devra assurer le maintien de la température et de l'hygrométrie du milieu, quels que soient les apports ou les déperditions des parois (par conduction ou ensoleillement), les apports de chaleur (sensible et/ou latente) générés par les occupants, la fabrication, l'éclairage ou, encore, les apports ou déperditions liés aux caractéristiques physiques de l'air extérieur (température, hygrométrie).

Ces conditions réunies déterminent, en fonction de l'écart de température entre soufflage et ambiance, un débit d'air minimal de soufflage, à comparer à celui déterminé pour la classe d'empoussièrement retenue.

Détermination des débits d'air

Le calcul des flux d'air (voir schéma ci-contre) dépend à la fois des caractéristiques physiques de la salle et de la classe d'empoussièrement souhaitée.

Le débit de soufflage (ou débit de brassage) Q_S est fonction du débit d'air recyclé, Q_R et du débit d'air neuf Q_{AN} :

$$Q_S = Q_R + Q_{AN}$$

Ce dernier s'exprime par:

$$Q_{AN} = Q_{ext} + Q_{F1} + Q_{F2}$$

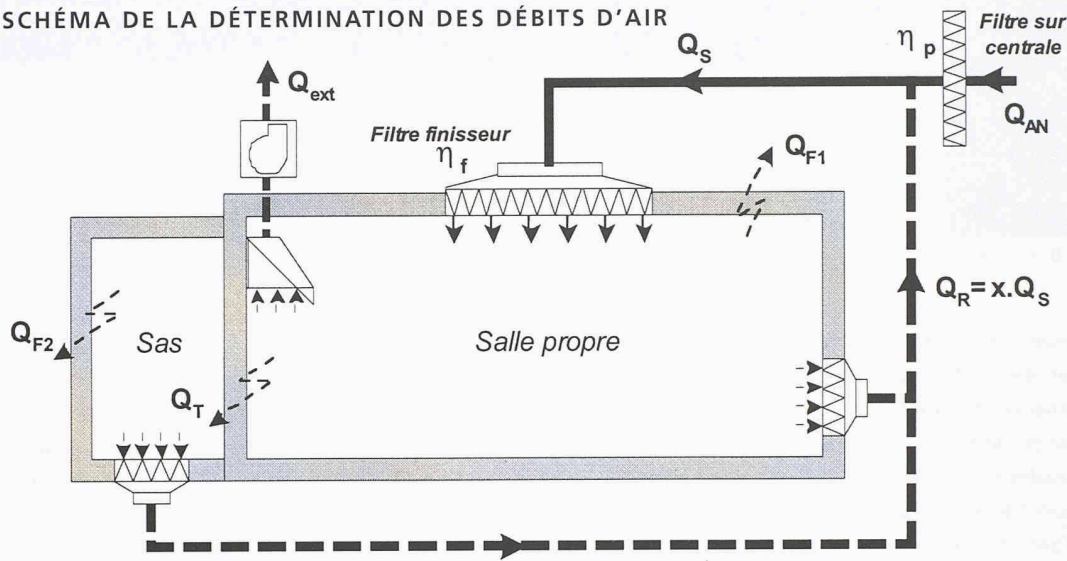
où:

Q_{ext} = débit d'extraction (rejet vers l'extérieur)

$Q_{F1} + Q_{F2}$ = débit de fuite de la salle tenant compte des orifices, portes, etc.

Le débit de transfert Q_T est calculé en fonction du diffé-

SCHÉMA DE LA DÉTERMINATION DES DÉBITS D'AIR



rentiel de pression devant être assuré entre la salle elle-même et le sas.

La prise en compte de l'objectif de contamination interne se fait par bilan de masse en flux turbulent:

$$C_{int.} = S / Q_S + (1-x) (1-\eta_p) (1-\eta_f) C_{ext.}$$

où:

$C_{int.}$ = concentration interne en particules par m^3 ,

S = génération interne en particules par secondes

Q_S = débit pulsé en m^3/s

x = taux de recyclage de l'air

η_p = rendement du filtre sur centrale

η_f = rendement du filtre finisseur

$C_{ext.}$ = concentration de l'air extérieur en particules / m^3 .

La détermination des débits d'air peut alors se faire par approximations successives, à partir des bases classiques s'appliquant au calcul d'installations traditionnelles de traitement de l'air.

Choix du monobloc de traitement d'air

L'équipement choisi dépendra en premier lieu du type d'industries à pourvoir, en distinguant celles produisant des particules inertes (micromécanique, microélectronique, aérospatiale, etc.) de celles travaillant avec des particules vivantes (pharmacie, cosmétique, agroalimentaire, secteur hospitalier notamment).

Le prescripteur doit être particulièrement vigilant sur les points suivants: utilisation du monobloc à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment, qualité des entrées et sorties d'air, dégradabilité des matériaux ou émission de particules, accessibilité des éléments pour le nettoyage ou la décontamination, entretien aisé. Les éléments du dispositif retenu et leur mode d'assemblage doivent être exempts de toute aspérité ou protubérance intérieure, qui sont autant de points d'accumulation de poussière et constituent de véritables pièges à bactéries.

Dans des locaux de classe 1000 à 10 000, une enveloppe en tôle galvanisée courante suffit à garantir la qualité de l'air lorsque seules des particules inertes sont générées. Pour des

classes 1 à 100 avec particules inertes ou pour des locaux en milieu pharmaceutique, hospitalier ou agroalimentaire, on préférera une construction en tôle pré-laquée ou plastifiée. Enfin, pour des procédés délicats en pharmacie ou dans l'agroalimentaire, il peut être opportun de prévoir des monoblocs en acier inoxydable, en aluminium ou en matière synthétique monocoque.

Choix des réseaux de distribution d'air

Les canaux de ventilation sont eux aussi choisis en fonction du processus qu'abritera la salle; ils peuvent être en tôle d'acier (galvanisée, électro-zinguée avec peinture protectrice ou pré-laquée), en tôle d'acier inoxydable, en aluminium ou en PVC. Ils doivent être étanches (tant dans leurs sections courantes qu'au niveau des assemblages), nettoyés, dégraissés et bouchonnés pendant le chantier, et équipés de trappes de visite sur les différents tronçons, élément indispensable au nettoyage et à la décontamination.

Distribution en salle

Là encore, les systèmes doivent faire l'objet d'une attention particulière en fonction de l'aménagement des locaux. Les emplacements des dispositifs de soufflage et de reprise d'air, ainsi que les matériels installés doivent être conçus pour améliorer la fonction de décontamination, tout en optimisant les conditions de confort pour les opérateurs. On utilise par exemple des bouches de soufflage murales pour les locaux de classe 1000, 10 000, 100 000 et des plénums de soufflage (plafonds grilles en surpression) avec structure à joint fluïdique pour les locaux de classe 1, 10 et 100.

Optimisation énergétique

La conception d'une salle propre requiert la mise en œuvre d'un certain nombre d'éléments dont l'assemblage doit être optimisé, sous peine d'une consommation énergétique exagérée. Cette réflexion doit avoir lieu dès l'élaboration des solutions techniques et prendre en compte divers paramètres.

TABLEAU 3: CLOISONS

Système de cloison	Montage sur chantier	Transformation Récupération		Coûts		Modifications en cours de chantier
	Facilité	Possibilité	Propreté	Transform.	Installation	Facilité
Fixe	D long	D	D très sale	D	TB	TB
Démontable	B adapté	B	B	B	B	B
Amovible	TB rapide	TB	TB	TB	D	B

D: difficile **B:** bonne solution **TB:** très satisfaisant

Ainsi, la tolérance de conditions intérieures (température et humidité) variables entre été et hiver peut être source de gains énergétiques importants. Ensuite, la puissance de l'installation étant proportionnelle au volume d'air pulsé, la classe d'empoussièremment retenue influence directement la consommation d'énergie. Quant à la qualité de la filtration requise, elle définit le nombre d'étages de filtration, l'efficacité et le nombre des filtres. Enfin, les taux d'air neuf et recyclé dépendent du procédé de fabrication: dans tous les cas, et en particulier pour les procédés «tout air neuf», il convient d'installer un échangeur de chaleur pour récupérer l'énergie contenue dans l'air extrait. Si la possibilité existe, un regroupement des monoblocs en fonction de conditions intérieures identiques est préférable.

Une fois le concept établi, les matériels sont sélectionnés en regard de leurs caractéristiques énergétiques. On notera par exemple qu'un contrôle systématique du point de rosée peut être remplacé par un couple de sondes de température et d'hygrométrie. Le rendement des moteurs de ventilateurs repose quant à lui sur le bon choix entre ventilateur à action ou à réaction, un dimensionnement adéquat (ni sous-, ni surdimensionnement) et la sélection du système de transmission. Pour les caissons filtres, l'emploi de diffuseurs à faible induction est recommandé, ainsi que l'optimisation de la relation entre les différences de température entre l'air ambiant et l'air de soufflage avec le débit brassé. On préférera également compenser le colmatage des filtres par l'installation d'un variateur de fréquence sur le moteur des ventilateurs et proscrire les régulateurs de débit. L'équilibrage des réseaux aérauliques passe par une adaptation des sections de tuyaux et une optimisation de la dynamique de circulation. L'étanchéité des gaines - tant au soufflage (car l'air traité coûte très cher) qu'à la reprise (à cause des risques de bio-contamination) - influence aussi la consommation énergétique.

L'enveloppe du local

Les cloisons

Le «cloisonnement» désigne l'ensemble des éléments permettant de délimiter le volume de la salle propre, afin de protéger l'intérieur de l'environnement externe et réciproquement.

Le cloisonnement contribue à établir et à maintenir les conditions imposées pour une activité définie: respect de la classification salle propre ou microbiologique, température, humidité relative, pression différentielle, notamment.

Une cloison «spéciale salle propre» comprend un revête-

ment intérieur, une structure interne et un revêtement extérieur. Les matériaux de revêtement peuvent être de type métallique (tôle d'acier galvanisé, pré-laqué ou émaillé, tôle d'acier inoxydable, tôle d'aluminium), en panneaux de particules (stratifié ou PVC collé), en plâtre ou maçonnerie, avec peinture. Le choix entre ces différentes possibilités peut être dicté par des considérations économiques, mais aussi par le souci d'apporter des solutions appropriées aux contraintes internes de l'espace: ni émission, ni rétention de particules, tenue à la corrosion, résistance aux variations et différences de température, pression, humidité relative, résistance aux chocs et rayures, étanchéité de la surface, compatibilité avec les produits de nettoyage ou de désinfection. L'âme de la cloison doit en outre remplir des critères de stabilité, de qualité d'isolation et conserver ses qualités physiques dans le temps.

Les cloisons de salle propre se répartissent en trois familles (tableau 3):

- Les cloisons fixes, ordinairement réalisées sur le site, selon un mode de construction traditionnel, ne faisant que rarement ou partiellement appel à la préfabrication. Peu utilisées, elles présentent quelques inconvénients majeurs, dont celui de rendre la transformation difficile (en imposant des travaux générateurs de contamination) et de ne pas être réutilisables.

- Les cloisons démontables pour lesquelles les parements sont assemblés sur le site sur une ossature partiellement préfabriquée. Leur utilisation est courante, car elles autorisent certaines évolutions du bâti sans entraîner trop d'incidences. Les éléments sont réutilisables ou facilement adaptables; un remontage s'avère possible.

- Les cloisons amovibles, préfabriquées en usine, dont les éléments arrivent totalement achevés sur le chantier. Elles se retrouvent fréquemment dans les complexes de fabrication pharmaceutique ou électronique comprenant plusieurs salles identiques. Leur installation implique une étude préalable poussée, car toute improvisation sur le chantier est à bannir. Les panneaux sont interchangeable sans dégradation et entièrement réutilisables.

Comme pour les autres éléments, le choix des cloisons ne peut résulter que d'une large concertation entre les différents intervenants, du maître d'ouvrage à l'utilisateur, en passant par les divers mandataires. Il importe en effet de rechercher les meilleurs compromis eu égard à l'aspect économique, aux contraintes d'exploitation et aux perspectives envisagées par le maître d'ouvrage quant à la durée d'exploitation et à d'éventuelles transformations ultérieures.

TABEAU 4: CHOIX DE REVÊTEMENTS DE SOL

Type de revêtement	Avantages	Inconvénients	Domaines d'utilisation
Carrelage	Excellente résistance mécanique (charges-rayures-abrasion) Bonne résistance chimique	Grand linéaire de joints, souvent en retrait sur les carreaux Difficulté de nettoyage Coût élevé	Industries agro-alimentaires
Résines	Grand éventail de solutions répondant à la plupart des problèmes Choix des aspects de surface permet des formes diverses (pentes, caniveaux, plinthes)	Nécessite un support de qualité et le respect des procédures de mise en œuvre (assistance technique du fournisseur souhaitable)	Agro-alimentaire Pharmacie Electronique Hospitalier
PVC Lés ou dalles collés sur support - soudés entre eux	Surface lisse Facile à mettre en œuvre Entretien aisé Résiste bien à l'usure Coût raisonnable	Faible résistance mécanique Traitement des angles délicat (Nécessite un opérateur expérimenté) Résistance au feu à examiner	Pharmacie Electronique Hospitalier (mais on y préfère le linoléum pour ses propriétés antibactériologiques)
Faux-planchers	Choix de solutions technologiques Facilité de démontage Modulaire Grande résistance mécanique	Coût élevé	Electronique Salles informatiques

Les plafonds

D'une façon générale, ils doivent, tout comme les cloisons, contribuer à protéger l'intérieur de la salle propre, par rapport à son environnement. On distingue deux familles distinctes: les plafonds «circulables» et ceux qui ne le sont pas. Les premiers permettent le passage d'un homme sur leur face supérieure pour les opérations courantes de maintenance et doivent faire l'objet d'études sérieuses, afin d'en définir de manière adéquate les performances mécaniques et l'accrochage. Les seconds sont moins exigeants sur le plan mécanique, mais peuvent rendre la maintenance plus difficile.

Parmi les matériaux utilisables en salle propre figurent des panneaux sandwich, avec isolation thermique et acoustique, ou des bacs métalliques avec peinture laquée. Pour des applications dans l'agroalimentaire ou en chimie fine, il peut être nécessaire de recourir à des bacs en acier inoxydable. Ils doivent être conçus pour faciliter les opérations de nettoyage (éviter surtout les recoins et les surépaisseurs), être étanches à l'air et à l'eau et il faut parfois pouvoir y intégrer des luminaires, des diffuseurs ou des filtres.

Revêtement de sol

Le revêtement de sol est un support fortement sollicité par les charges statiques et dynamiques des équipements de production, par les écoulements de liquides divers, la circulation de matériels et de personnes, les chutes d'objets. La qualité du revêtement étant fonction de la qualité du support, celui-ci doit être parfaitement traité. Le choix du revêtement lui-même (tableau 4 doit prendre en compte de multiples facteurs: résistance aux contraintes statiques et dynamiques, résistance aux agents chimiques tels que solvants ou acides

par exemple, qualité hygiénique (encrassement, continuité du support, porosité, etc.), caractéristiques électriques, confort du personnel pour les salles à basse hygrométrie, impératifs de production ou de sécurité en cas de manipulation de produits inflammables, tenue au feu, risque de glissade pour le personnel, entre autres.

Différentes solutions permettent de répondre à tous les problèmes rencontrés, mais comme pour les autres éléments, le choix ne peut résulter que d'un compromis intégrant tous les aspects d'ordre technique, économique ou de conformité aux normes ou règles en vigueur (BPF en pharmacie). Là encore, la qualité de l'équipe de maîtrise d'œuvre est déterminante.

Le monitoring

Le monitoring englobe l'ensemble des moyens (matériels, programmes et services associés) destinés à gérer l'environnement du laboratoire ou du processus, en vue d'obtenir une efficacité optimale des équipements techniques. Il s'agit en fait des équipements MCR (mesure, commande, régulation), auxquels sont associés d'autres systèmes tels que le contrôle d'accès et la détection incendie, ainsi que des prestations correspondantes.

Dans le domaine industriel, et plus précisément dans les salles propres, cet ensemble de moyens (quelquefois appelé GTB - Gestion Technique du Bâtiment) prend en charge la gestion des équipements techniques, à l'exception de ceux relatifs au procédé industriel lui-même. Ces moyens doivent répondre aux besoins de trois catégories d'utilisateurs: les chercheurs ou le personnel de production, le service technique, ainsi que le management, chacun ayant des attentes spécifiques qui ne se recouvrent pas forcément.

Pour le personnel de production, il s'agit à la fois d'éviter les contaminations, de contrôler les flux de produits et de personnes, de suivre l'évolution des paramètres techniques (température, hygrométrie, qualité de l'air, etc.), de disposer en permanence - et, le cas échéant, ultérieurement - d'informations fiables avec indication locale des paramètres (particulièrement important dans l'agroalimentaire, où la traçabilité des événements est souvent un impératif).

Le service technique est, quant à lui, tenu de maîtriser les coûts énergétiques et de gérer l'interaction entre tous les équipements, en vue d'obtenir une optimisation entre producteurs et consommateurs. Il lui incombe également de participer à la conduite des installations et aux décisions, grâce à une vision globale permanente du bâtiment. Il doit enfin être informé en temps réel des alarmes immédiates ou des dérives sur les paramètres, en vue de procéder à une maintenance préventive, et bénéficier d'une assistance qualifiée et performante pour les opérations de validation.

Pour le management, outre l'intérêt des informations utiles aux autres utilisateurs, il peut s'agir plus précisément de suivre la fiabilité de l'outil de production et sa conformité avec la législation et la réglementation, de contrôler l'évolution des coûts, en termes énergétiques et en ce qui concerne le personnel technique.

Il va de soi que la conception, la réalisation, le réglage et le suivi dans le temps d'un système de GTB pour une salle propre ne peuvent être correctement menés qu'avec la participation de tous les intervenants, du maître de l'ouvrage aux corps de métier, sans oublier l'apport des utilisateurs et des mandataires. La définition des procédures à suivre, des fonctions à respecter, de la programmation des équipements, des conditions de validation, ainsi que le traitement des informations nécessitent une large communication et une excellente coordination entre les différents membres de l'équipe de construction.

Conclusion

L'objectif de l'installation d'une salle blanche est la réalisation d'un outil performant, fiable et économique pour garantir la qualité du produit industriel manufacturé. Toute insuffisance ou faiblesse de l'outil risque d'infléchir la qualité de la production de manière irrémédiable: cela implique d'accorder une attention particulière à chaque élément de projet et d'établir un partage clair des responsabilités pour chaque étape.

Durant les phases de conception et de réalisation, le rôle de la maîtrise d'œuvre est primordial. Nombreux et complexes, les paramètres à considérer sont liés au procédé et à

la sécurité des utilisateurs et ils doivent à la fois respecter le cadre des coûts et de la longévité définis. Au moment de la conception, en fonction du cahier des charges fourni par les utilisateurs et de la faisabilité de différentes variantes, des solutions seront proposées pour, entre autres, la distribution des locaux et les schémas de principe des installations techniques. Au stade de l'avant-projet, on élaborera les schémas détaillés de ces installations, on arrêtera les choix des équipements et des matériaux, et une coordination sommaire entre intervenants sera également esquissée. Lors de la mise en soumission, il est nécessaire d'élaborer des spécifications techniques et technologiques, de produire des pièces administratives, de choisir les entreprises.

La phase de réalisation pose surtout des problèmes de sélection de la main-d'œuvre et de respect des procédures et normes. La mise en propreté doit permettre d'atteindre les performances requises. La réception de l'ouvrage se déroule comme pour tout bâtiment, puis est complétée par une validation, qui est le plus souvent effectuée par une instance de certification. Les conditions d'exploitation et de maintenance doivent être fixées clairement, à l'aide de procédures bien établies, reposant sur une bonne connaissance des installations. Le personnel recevra une formation spécifique ciblée et des consignes strictes d'exploitation et d'utilisation: il faut à la fois prévoir la formation des personnes appelées à travailler dans la salle blanche, du personnel technique chargé de la maintenance et des collaborateurs de l'entreprise spécialisée intervenant pour le nettoyage et la stérilisation durant le fonctionnement des installations. A noter que cette dernière étape, qui déborde la réalisation elle-même, a toute son importance: une installation bien conçue, bien réalisée et reçue dans les règles livrera en effet de mauvais résultats si elle est mal exploitée.

Le rôle irremplaçable de l'utilisateur.

Si chacun des intervenants doit apporter sa contribution à l'élaboration du concept, puis au cours des différentes phases de réalisation, il faut souligner que c'est souvent l'utilisateur qui est le plus apte à arrêter certains choix ou options. Au bout du compte, c'est lui, et lui seul, qui parviendra aux bons compromis, qui s'imposent nécessairement entre sécurité et efficacité dans l'exploitation, d'une part, coûts d'investissement et de maintenance, d'autre part. Il le fera d'autant plus aisément, qu'il se sera entouré d'une équipe hautement spécialisée et compétente, suffisamment soudée et animée d'un esprit de collaboration.

Au cours des quatre dernières années, six locaux de production d'équipements médicaux à environnement contrôlé ont été planifiés et réalisés pour des sociétés du groupe américain *Johnson & Johnson*. Les photos ci-dessus montrent les salles réalisées pour la société *Cordis* au Locle.

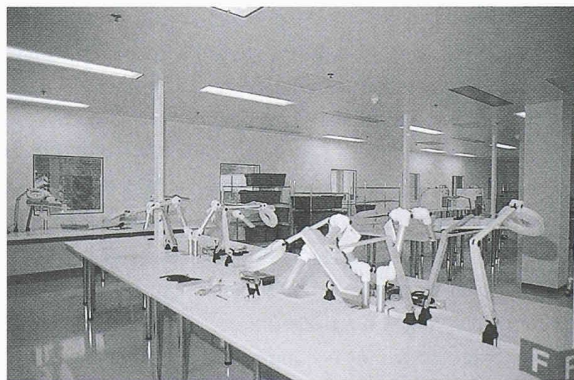


Fig. 1: Vue générale d'une salle blanche. Les parois et le plafond sont réalisés en tôle thermolaquée, le sol en époxy avec remontées arrondies. On notera l'intégration des luminaires et des grilles de soufflage dans les plafonds. Les poteaux verticaux fournissent l'ensemble des alimentations aux postes de travail, ce qui évite les percements dans les parois.

(Photo Daniel Porret, Neuchâtel)

Fig. 2: Vue d'un banc de montage. A noter la présence d'aspirateurs orientables qui permettent d'éliminer une partie de la contamination à la source. Bien que coûteuses, les surfaces vitrées améliorent sensiblement les conditions de travail et permettent de montrer les installations aux visiteurs.

(Photo Daniel Porret, Neuchâtel)



Le centre de production et de développement biotechnologique de *Ares Serono SA* à Corsier sur Vevey se présente sous la forme d'un bâtiment multifonctionnel de 35 000 m² qui regroupe plusieurs salles blanches pour les unités de production et de recherche biotechnologiques.



Fig. 3: Vue de l'ensemble des amenées d'air et de fluides au niveau du plafond d'une salle blanche. Le domaine biomédical exige des taux de renouvellement d'air particulièrement élevés et les équipements occupent souvent plus d'espace que la salle elle-même.

(Photo Maurice Schobinger, St-Légier)