

SOMMAIRE

INTRODUCTION	13
CHAPITRE 1 PRÉSENTATION DES TROIS DOMAINES : SALLES PROPRES, ENVIRONNEMENTS MAÎTRISÉS, ZONES DE CONFINEMENT	16
1 Introduction aux trois domaines	17
2 Salles propres en industrie	22
2.1 Secteur microélectronique.....	22
2.1.1 Enjeux.....	22
2.1.2 Contaminants pris en compte.....	22
2.1.3 Classes de propreté de l'air typiques en microélectronique.....	25
2.1.4 Solutions techniques et spécificités du secteur.....	25
2.2 Secteur de l'industrie spatiale.....	27
2.2.1 Enjeux.....	27
2.2.2 Contaminants pris en compte.....	28
2.2.3 Classes de propreté particulaire typiques en spatial.....	28
2.2.4 Solutions techniques et spécificités du domaine spatial.....	28
2.3 Secteur automobile (cabines de peinture).....	29
2.3.1 Enjeux.....	29
2.3.2 Contaminants pris en compte.....	30
2.3.3 Classes de propreté particulaire de l'air typiques en automobile.....	30
2.3.4 Solutions techniques et spécificités de la filière automobile.....	30
2.4 Secteur de l'industrie pharmaceutique.....	31
2.4.1 Enjeux.....	31
2.4.2 Contaminants pris en compte.....	31
2.4.3 Classes de propreté typiques en industrie pharmaceutique.....	32
2.4.4 Solutions techniques et spécificités en industrie pharmaceutique.....	32
2.5 Secteur industriel des Dispositifs Médicaux (DM).....	33
2.5.1 Enjeux.....	33
2.5.2 Contaminants pris en compte.....	35
2.5.3 Classes de propreté particulaire typiques en dispositifs médicaux.....	35
2.5.4 Solutions techniques et spécificités de la filière Dispositifs Médicaux.....	36
2.6 Secteur de l'industrie cosmétique.....	37
2.6.1 Enjeux.....	37
2.6.2 Contaminants pris en compte.....	37
2.6.3 Applications en environnement maîtrisé.....	37
2.6.4 Solutions techniques et spécificités de la filière cosmétique.....	37
2.7 Secteur de l'industrie agroalimentaire (IAA).....	38
2.7.1 Enjeux.....	38
2.7.2 Contaminants pris en compte.....	39
2.7.3 Applications en industrie agroalimentaire.....	41
2.7.4 Solutions techniques et spécificités de la filière IAA.....	42
3 Environnements maîtrisés en établissements de santé	45
3.1 Enjeux.....	45
3.2 Contaminants pris en compte.....	46
3.3 Classes de risques et classes de propreté particulaire en établissements de santé.....	47
3.4 Solutions techniques et spécificités des établissements de santé.....	47
4 Zones de confinement (soumises à dépression)	50
4.1 Zones de confinement à risques biologiques versus zones de bioexclusion.....	51
4.1.1 Zones de bioexclusion.....	51
4.1.2 Zones de bioconfinement.....	54
4.2 Zones de confinement à risques chimiques	56
4.2.1 Enjeux.....	56
4.2.2 Contaminant pris en compte.....	57
4.2.3 Classe de propreté particulaire.....	57
4.2.4 Solutions techniques et spécificités.....	58

**CHAPITRE 2 REGLEMENTATION
ET TEXTES DE RÉFÉRENCE**..... 60

1 Performances particulières, microbiologiques et aérauliques attendues	61
1.1 Classe de propreté particulaire de l'air selon la norme NF EN ISO 14644.....	61
1.2 BPF applicables aux salles propres en industrie pharmaceutique.....	62
1.3 Norme NF EN ISO 14644-4 applicable aux salles propres.....	62
1.4 Norme NF S 90351 applicable aux environnements maîtrisés en établissements de santé.....	64
2 Éléments généraux sur la consommation d'énergie	65
2.1 Un audit énergétique obligatoire en industrie.....	65
2.2 BREF.....	65
2.3 Mesures incitatives.....	65
2.3.1 <i>Les aides de l'ADEME</i>	65
2.3.2 <i>Les certificats d'économie d'énergie (CEE)</i>	65
2.3.3 <i>Autres mesures incitatives</i>	66
2.4 Référent Energie.....	66
2.5 Management et gestion de l'énergie selon ISO 50001.....	66
2.6 Audits énergétiques selon la norme EN 16247.....	67
3 L'état actuel réglementaire et normatif concernant les économies d'énergie dans les trois domaines	68
3.1 Règlement européen n°1253/2014 (Unités de Ventilation Double Flux ou UVDF).....	68
3.2 Économies d'énergie, selon NF EN ISO 14644-4, applicable à toute salle propre.....	69
3.3 Économies d'énergie, selon NF S 90351, pour les établissements de santé.....	69
3.4 Autres références internationales.....	71

CHAPITRE 3 L'ENERGIE EN AMBIANCES PROPRES..... 72

1 Tendances et enjeux en ambiances propres	73
1.1 Leviers principaux pour réaliser des économies d'énergie dans les trois domaines.....	73
1.2 Points de vigilance/ freins.....	73
1.3 Importance de la spécification des besoins en ambiances propres.....	74
1.4 Axes d'amélioration de la performance énergétique.....	75
2 Les consommations d'énergie dans les trois domaines	76
2.1 Méthodologie pour estimer les consommations énergétiques.....	76
2.2 Exemple de fiche de collecte des données.....	78
2.3 Résultats des enquêtes site : cas pratiques.....	79
2.3.1 <i>Industrie micro-électronique</i>	79
2.3.2 <i>Industrie spatiale et aéronautique</i>	80
2.3.3 <i>Industrie automobile et plasturgie</i>	81
2.3.4 <i>Industrie pharmaceutique</i>	82
2.3.5 <i>Dispositifs Médicaux (DM)</i>	84
2.3.6 <i>Industrie cosmétique (dermo-cosmétique)</i>	85
2.3.7 <i>Industrie agroalimentaire (IAA)</i>	85
2.3.8 <i>Sous-traitance pour l'ensemble des filières « Salles propres »</i>	86
2.3.9 <i>Établissements de santé</i>	86
2.3.10 <i>Synthèse des cas pratiques</i>	88
3 Estimations portant sur la consommation énergétique des salles propres et des environnements maîtrisés	89

CHAPITRE 4 PRÉCONISATIONS

POUR UNE MEILLEURE PERFORMANCE

ENERGETIQUE

1	Schémas de principe d'une installation	91	4.3.2	À roue libre (simple ouïe)	110
2	Production centralisée	92	4.4	Humidificateur	110
2.1	Groupes froids (GF)	93	4.5	Déshumidificateur	112
2.1.1	Composition des GF	93	4.6	Filtration	113
2.1.2	Coefficients d'efficacité énergétique EER et ESEER	93	4.6.1	Impact des filtres sur la performance énergétique de l'installation	114
2.1.3	Définition des besoins pour les études de dimensionnement	93	4.6.2	Classement énergétique des filtres à air	116
2.1.4	Différents types de groupes froids	94	4.6.3	Optimisation énergétique de la filtration préparatoire (CTA)	116
2.1.5	Synthèse sur les choix de compresseur	97	4.6.4	Optimisation énergétique de la filtration EPA, HEPA, ULPA	118
2.1.6	Préconisations d'efficacité énergétique sur les GF	97	4.6.5	Caissons-filtres	119
2.1.7	Synthèse des préconisations de l'ADEME sur les groupes froids	98	4.7	Récupération d'énergie	120
2.2	Chaudières et chaufferie	98	4.7.1	Échangeurs à plaques	120
2.2.1	Chaudière à tubes d'eau ou de fumée (à gaz ou au fuel)	100	4.7.2	Échangeurs batterie à eau glycolée	122
2.2.2	Chaudière à condensation (à gaz ou au fuel)	100	4.7.3	Échangeur à roue thermique (non utilisé en salles propres)	124
2.2.3	Chaudière vapeur utilisée pour le process	101	4.8	Régulation	124
2.2.4	Préconisations sur les chaudières	101	4.8.1	Analyse fonctionnelle	124
2.2.5	Synthèse des préconisations de l'ADEME sur le chauffage	102	4.8.2	Capteurs	125
2.3	Pompe à chaleur pour production de chaud ou de froid	102	4.8.3	Actionneurs	125
2.4	Thermofrigopompes (production simultanée de chaud et de froid)	102	4.8.4	Régulateur	126
3	Réseaux hydrauliques	104	4.9	Simulation de performances énergétiques pour une CTA	127
3.1.1	Pompes	105	5	Réseaux aérauliques	130
3.1.2	Isolation	105	5.1	Conduits	131
3.1.3	Tuyaux (matériaux, forme, etc.)	105	5.2	Étanchéité des réseaux aérauliques	131
3.1.4	Synthèse des préconisations ADEME sur le pompage	106	5.3	Isolation	131
4	Centrales de traitement d'air (CTA)	106	5.4	Filtration	131
4.1	Descriptif des différents systèmes	106	5.5	Diffuseurs de soufflage	131
4.2	Air neuf entrant dans la CTA	108	5.6	Locaux techniques	131
4.3	Ventilateurs	109	6	Enceinte de la salle propre (enveloppe)	132
4.3.1	Centrifuge double ouïe	110	6.1	Plafond, cloisons, sol	132
			6.2	Portes	132
			6.3	Isolation	132
			6.4	Étanchéité	132
			6.5	Ouvertures spécifiques	132
			6.6	Eclairage	133
			7	Zone process de la salle propre	134
			7.1	Mini-environnements (zone protégée autour du process)	134
			7.2	Extractions thermiques du process	135
			7.3	Extractions des polluants (cas des sorbonnes)	135

8	Exploitation, maintenance et maintien des performances en salle propre vis-à-vis de l'engagement énergétique	136
8.1	Outils de mesure de la performance énergétique (logiciels de gestion énergétique).....	136
8.2	Mise en service.....	137
8.3	Gestion/Exploitation.....	138
8.4	Suivi des performances.....	138
8.5	Maintenance.....	139
CHAPITRE 5 RETOURS D'EXPÉRIENCE D'ACTION MDE		
1	MDE en établissements de santé	143
2	MDE en industrie pharmaceutique	148
3	MDE en industrie dermo-cosmétique	149
4	MDE en spatial	149
5	Pistes MDE en simulation	149
5.1	Simulation numérique CFD.....	149
5.2	Simulation numérique des consommations énergétiques.....	150
CHAPITRE 6 SYNTHÈSE		
1	Préconisations en production chaud/froid et distribution hydraulique	153
2	Préconisations pour la CTA	154
2.1	Préconisations génériques à toute CTA.....	154
2.2	Préconisations spécifiques aux CTA des salles propres.....	155
3	Préconisations en distribution aéraulique	156
3.1	Préconisations génériques à tout réseau aéraulique.....	156
3.2	Préconisations spécifiques aux réseaux aérauliques de salles propres.....	156
4	Préconisations en conception/ utilisation/contrôle et maintenance	156
4.1	Préconisations génériques à toute installation.....	156
4.2	Préconisations spécifiques aux salles propres.....	157
5	Conclusion	159
CHAPITRE 7 ANNEXES		
1	Performances mécaniques des caissons de traitement d'air (selon NF EN 1886)	161
2	Puissance spécifique du ventilateur (selon NF EN 13779)	161
3	Classes de récupération de chaleur	163
4	Classification des filtres	163
5	Étanchéité des conduits aérauliques	164
6	Étanchéité des registres	165
7	Contrat de performance énergétique	165
CHAPITRE 8 ABREVIATIONS ET ORGANISMES INSTITUTIONNELS		
1	Abréviations	167
2	Organismes institutionnels	169
CHAPITRE 9 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		
1	Textes réglementaires	171
2	Normes	173
3	Ouvrages, guides et recommandations	175
4	Revue et publications scientifiques	177