

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 |