

PRÉFACE

L'industrie est le troisième secteur consommateur d'énergie en France avec environ 20 % de l'énergie finale consommée sur le territoire. Dans le cadre de ses missions, l'ADEME apporte un soutien au développement et à la diffusion de technologies ou de bonnes pratiques permettant de réduire les consommations énergétiques dans l'industrie.

Les secteurs économiques qui utilisent des salles propres, des environnements maîtrisés ou des zones de confinement sont multiples et hétérogènes : microélectronique, spatial, automobile, pharmaceutique, dispositifs médicaux, cosmétiques, industrie agro-alimentaire, établissements de santé.

Tous ces secteurs ont en commun **une problématique transverse de maîtrise de leur conditionnement d'ambiance** avec des spécifications à respecter liées à des réglementations et à des normes permettant de garantir la sécurité, l'hygiène, la qualité des produits, des activités et des services. Par ailleurs, le profil énergétique des organisations ayant recours à des ambiances propres a la particularité de présenter un talon énergétique important, c'est-à-dire une consommation énergétique ne dépendant pas d'un indicateur d'activité.

Cependant même si les ambiances propres sont exploitées dans ce contexte contraint, il existe de nombreuses pistes d'économie d'énergie accessibles en agissant sur la conception, l'exploitation et la maintenance des systèmes.

Pour l'ADEME il était donc tout à fait pertinent de soutenir la réalisation de ce guide par les experts de l'ASPEC, en partenariat avec EDF R&D.

Le référent énergie y trouvera un rappel des contraintes sur les paramètres de fonctionnement liés à son secteur, une méthode pour évaluer la performance de son système, un catalogue de pistes d'actions d'économie d'énergie et des études de cas qui constituent des exemples à suivre. **Dans ce catalogue, de nombreuses pistes sont à coût d'investissement réduit.**

Cette première édition sera également un outil de dialogue entre différents secteurs sur une problématique transverse.

Sylvie Padilla

Responsable du Service Entreprises et Éco-Technologies

ADEME- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie



Pour la prévention et l'étude
de la contamination

ASPEC © novembre 2016

64 rue nationale

75013 PARIS

ISBN 978-2-910218-20-1

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 depression)	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 particulière 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'ÉNERGIE 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 90

1	Schémas de principe d'une installation	91
2	Production centralisée	92
2.1	Groupes froids (GF)	93
2.1.1	Composition des GF	93
2.1.2	Coefficients d'efficacité énergétique EER et ESEER	93
2.1.3	Définition des besoins pour les études de dimensionnement	93
2.1.4	Différents types de groupes froids	94
2.1.5	Synthèse sur les choix de compresseur	97
2.1.6	Préconisations d'efficacité énergétique sur les GF	97
2.1.7	Synthèse des préconisations de l'ADEME sur les groupes froids	98
2.2	Chaudières et chaufferie	98
2.2.1	Chaudière à tubes d'eau ou de fumée (à gaz ou au fuel)	100
2.2.2	Chaudière à condensation (à gaz ou au fuel)	100
2.2.3	Chaudière vapeur utilisée pour le process	101
2.2.4	Préconisations sur les chaudières	101
2.2.5	Synthèse des préconisations de l'ADEME sur le chauffage	102
2.3	Pompe à chaleur pour production de chaud ou de froid	102
2.4	Thermofrigopompes (production simultanée de chaud et de froid)	102
3	Réseaux hydrauliques	104
3.1.1	Pompes	105
3.1.2	Isolation	105
3.1.3	Tuyaux (matériaux, forme, etc.)	105
3.1.4	Synthèse des préconisations ADEME sur le pompage	106
4	Centrales de traitement d'air (CTA)	106
4.1	Descriptif des différents systèmes	106
4.2	Air neuf entrant dans la CTA	108
4.3	Ventilateurs	109
4.3.1	Centrifuge double ouïe	110

4.3.2	À roue libre (simple ouïe)	110
4.4	Humidificateur	110
4.5	Déshumidificateur	112
4.6	Filtration	113
4.6.1	Impact des filtres sur la performance énergétique de l'installation	114
4.6.2	Classement énergétique des filtres à air	116
4.6.3	Optimisation énergétique de la filtration préparatoire (CTA)	116
4.6.4	Optimisation énergétique de la filtration EPA, HEPA, ULPA	118
4.6.5	Caissons-filtres	119
4.7	Récupération d'énergie	120
4.7.1	Échangeurs à plaques	120
4.7.2	Échangeurs batterie à eau glycolée	122
4.7.3	Échangeur à roue thermique (non utilisé en salles propres)	124
4.8	Régulation	124
4.8.1	Analyse fonctionnelle	124
4.8.2	Capteurs	125
4.8.3	Actionneurs	125
4.8.4	Régulateur	126
4.9	Simulation de performances énergétiques pour une CTA	127
5	Réseaux aérauliques	130
5.1	Conduits	131
5.2	Étanchéité des réseaux aérauliques	131
5.3	Isolation	131
5.4	Filtration	131
5.5	Diffuseurs de soufflage	131
5.6	Locaux techniques	131
6	Enceinte de la salle propre (enveloppe)	132
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 énergétique136	4	Préconisations en conception/ utilisation/contrôle et maintenance 156
8.1	Outils de mesure de la performance énergétique (logiciels de gestion énergétique)..... 136	4.1	Préconisations génériques à toute installation..... 156
8.2	Mise en service..... 137	4.2	Préconisations spécifiques aux salles propres..... 157
8.3	Gestion/Exploitation..... 138	5	Conclusion 159
8.4	Suivi des performances..... 138		
8.5	Maintenance..... 139		
	CHAPITRE 5 RETOURS D'EXPÉRIENCE D' ACTIONS MDE 142		CHAPITRE 7 ANNEXES 160
1	MDE en établissements de santé 143	1	Performances mécaniques des caissons de traitement d'air (selon NF EN 1886) 161
2	MDE en industrie pharmaceutique 148	2	Puissance spécifique du ventilateur (selon NF EN 13779) 161
3	MDE en industrie dermo-cosmétique 149	3	Classes de récupération de chaleur 163
4	MDE en spatial 149	4	Classification des filtres 163
5	Pistes MDE en simulation 149	5	Étanchéité des conduits aérauliques 164
5.1	Simulation numérique CFD..... 149	6	Étanchéité des registres 165
5.2	Simulation numérique des consommations énergétiques..... 150	7	Contrat de performance énergétique 165
	CHAPITRE 6 SYNTHÈSE 152		CHAPITRE 8 ABREVIATIONS ET ORGANISMES INSTITUTIONNELS 166
1	Préconisations en production chaud/froid et distribution hydraulique 153	1	Abréviations 167
2	Préconisations pour la CTA 154	2	Organismes institutionnels 169
2.1	Préconisations génériques à toute CTA..... 154		
2.2	Préconisations spécifiques aux CTA des salles propres..... 155		CHAPITRE 9 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 170
3	Préconisations en distribution aéraulique 156	1	Textes réglementaires 171
3.1	Préconisations génériques à tout réseau aéraulique..... 156	2	Normes 173
3.2	Préconisations spécifiques aux réseaux aérauliques de salles propres..... 156	3	Ouvrages, guides et recommandations 175
		4	Revue et publications scientifiques 177

INTRODUCTION

Contexte :

Les salles propres industrielles ont pour objectif principal de protéger les produits des contaminants. Les environnements maîtrisés en établissements de santé visent à protéger le patient, les préparations pharmaceutiques, les dispositifs médicaux, etc. Quant aux zones de confinement, leur objectif est de protéger le personnel, l'environnement, voire dans certains cas l'activité exercée également. L'ensemble des salles propres, des environnements maîtrisés et des zones de confinement est regroupé, dans ce guide, sous le vocable « ambiances propres ». Présentes dans l'industrie, dans les établissements de santé et en laboratoires de Recherche et Développement, les ambiances propres ont une consommation énergétique est très importante du fait des volumes considérables d'air traité : refroidi, chauffé, filtré... Si par le passé, leur côté énergivore a été vu comme secondaire par rapport à l'objectif recherché (des patients à soigner, des produits à forte valeur ajoutée...), aujourd'hui, ce secteur n'échappe pas à la tendance qui vise à faire des économies ou à augmenter les marges ; ceci tout en ayant des process plus durables avec une consommation d'énergie réduite, et la même qualité des produits et services.

C'est dans cette logique que la commission ASPEC « Performances énergétiques ambiances propres » a été créée en juillet 2014, sous l'impulsion de Jean-Paul Rignac, d'EDF R&D et membre du Conseil scientifique de l'ASPEC. Ce guide est l'aboutissement de nombreux sujets abordés ponctuellement depuis plusieurs années aussi bien sur la conception que l'exploitation des salles propres :

• publication d'articles dans la revue « Salles propres » (N°64-oct/nov. 2009, N°86-juin/juillet 2013, et N°98-juillet/août 2015), revue de PYC Edition à laquelle l'ASPEC apporte son support Scientifique & Technique ;

• organisation de deux tables rondes aux congrès de l'ASPEC : ContaminExpert 2015 (Optimisation énergétique des salles propres en exploitation, le 2/04/2015) et ContaminExpert 2013 (Efficacité énergétique : Application aux salles propres, le 27/03/2013).

Objectifs :

Sous l'égide de l'ADEME, cette commission, composée d'une vingtaine d'experts pluridisciplinaires issus de l'ASPEC et spécialisés dans le domaine de l'énergie et/ou des ambiances propres, a travaillé pendant deux ans pour aboutir à cet ouvrage collectif dont les objectifs sont :

- de présenter les trois domaines : salles propres, environnements maîtrisés et zones de confinement pour mieux connaître leurs enjeux, leurs contaminants et leurs solutions spécifiques ;
- d'aborder des retours d'expérience anonymes, apportés par les industriels travaillant en ambiances propres ;
- de donner des pistes concrètes d'actions de performance énergétique dans les salles propres et les environnements maîtrisés.

Il est à noter que beaucoup des préconisations mentionnées dans ce guide pour les salles propres et les environnements maîtrisés sont aussi applicables aux locaux industriels, zones de stockage non classées, locaux tertiaires... pour lesquels des préconisations de performance énergétique doivent aussi être mises en place.

Comme pour des ateliers industriels standards et des bureaux, la performance énergétique en ambiances propres ne doit pas se faire au détriment des objectifs de maîtrise de la contamination du patient et du produit.

Contenu :

Le guide est organisé en cinq grandes parties :

- ☛ La présentation du domaine des ambiances propres : salles propres en industrie, environnements maîtrisés en établissement de santé, zones de confinement qui sont soumises à dépression,
- ☛ La réglementation et textes de référence,
- ☛ L'énergie en ambiances propres avec des retours d'expériences (REX) de performance énergétique dans des installations industrielles et dans les établissements de santé,
- ☛ Les préconisations pour une meilleure performance énergétique,
- ☛ Des retours d'expérience d'actions de maîtrise de la demande en énergie (MDE) mises en place.

Tout en garantissant la maîtrise de la contamination, les actions visant la performance énergétique en ambiances propres portent sur :

- ☛ la conception des salles propres (en particulier, le traitement et la distribution de l'air), ainsi que leur exploitation,
- ☛ le procédé, les activités,
- ☛ les équipements (production, traitement d'air, traitement d'eaux de process,...),
- ☛ les fluides liquides et gazeux.

Mais ce sont essentiellement les actions portant sur la conception, l'exploitation, les équipements associés au traitement d'air qui sont développées dans cet ouvrage, même si des propositions sur la maintenance sont aussi mentionnées.

Perspectives :

Ce guide qui se veut pragmatique est traduit en anglais « *Energy performance in clean zones (cleanrooms, controlled environments, safety areas)* », ASPEC- ADEME-EDF France, december 2016. Au travers de l'organisme de normalisation AFNOR, il constituera la contribution de la France à la norme ISO 14644-16 sur l'efficacité énergétique en salle propre, en cours d'élaboration par le groupe WG13/ISO TC 209.

Pour mémoire, l'expression « salle propre » est normalisée selon l'ISO 14644 (Travaux du TC 209, Technologie des salles propres) et assimilée à « salle blanche » encore d'usage très courant.

Le guide utilise les terminologies suivantes :

- ☛ Salles propres pour l'industrie
- ☛ Environnements maîtrisés pour les établissements de santé
- ☛ Zones de confinement pour les laboratoires de sécurité à risques biologiques ou chimiques