

25% de gains simulés avec OpTHum Pro ©EDF sur 5 salles propres caractéristiques des établissements de santé

Frédéric SALANSON EDF Commerce (membre de l'ASPEC)

Jean-Paul RIGNAC EDF Recherche & Développement (représentant français à l'ISO TC 209 / pr ISO 14 644-16 et membre du conseil scientifique de l'ASPEC)

Résumé

OpTHum Pro © EDF appliqué à 5 salles propres (SP) caractéristiques des établissements de santé (ETS) conduit à une intensité énergétique en régime permanent :

$IE_{\text{Permanent}} \text{ (kWh/ m}^3\text{/h d'air brassé)} = \frac{51}{\sqrt{\text{Taux de brassage (vol/h)}}}$. En appliquant cette valeur IE aux différentes classes

ISO avec la formule : Conso SP = IE (kWh/ m³/h d'air brassé) * Débits brassés en France en SP ETS (m³/h d'air brassé), la consommation française des SP ETS atteindrait 0.8 TWh, une valeur proche des 1.1 TWh déterminés par le CEREN en 2018 par enquêtes sur plusieurs dizaines de sites puis extrapolation.

Une action MDE hors occupation consistant à augmenter les plages de T (± 4°C) et à diminuer les taux de brassage de 50% amènerait 25% de gains MDE avec une $IE = \frac{39}{\sqrt{\text{Taux de brassage}}}$.

Cette étude sera présentée mi-mai à l'ATEE pour évaluer l'opportunité de succès d'une première fiche CEE en SP ciblée sur les ETS.

Les 80 experts techniques de la direction Commerce d'EDF, présents dans toutes les régions françaises, proposent un **nouveau service de diagnostic des consommations énergétiques d'une salle propre afin d'évaluer ensuite des actions MDE** (MDE : Maitrise de la Demande en Energie). Ce service s'appuie sur un logiciel interne OpTHum Pro © EDF qui a vu le jour fin 2018 à EDF Recherche & Développement. Son but est d'**Optimiser** les centrales de traitement d'air gérées en **Température et Humidité** des **Professionnels** (industriels, hôpitaux...) détenteurs de salles propres.



Pour illustrer concrètement les résultats d'OpTHum Pro (OPro), nous l'appliquons à cinq salles propres (SP) caractéristiques du secteur de la santé à activités de soins (salles d'opérations en ETS : Etablissements de Santé), en nous basant sur des hypothèses qui ont été validées par l'ASPEC.

Des hypothèses communes aux 5 salles propres

Toutes les SP de **40 m²** (8 m x 5 m) et **120 m³** (3 m de hauteur) sont concernées par la norme **NFS 90-351**. Cette norme a la particularité d'imposer un **taux d'air neuf** de **6 volumes/heure**, très pénalisant pour les consommations énergétiques. En effet, tout cet air neuf doit être conditionné en température (chauffage/climatisation), y compris lorsque la SP n'est pas utilisée (en périodes d'inoccupation).

Ces SP sont régulées en température (mais pas en hygrométrie) dans une fourchette **[19°C ; 26°C]**.

Dans le **scénario de référence**, elles fonctionnent **en continu** (régime permanent) avec **3 kW d'apports thermiques** émis uniquement en **occupation de 7 h à 18 h du lundi au vendredi**. Ce dégagement de chaleur correspond aux différents appareils électriques et personnes qui réchauffent l'air de la SP lorsqu'elle est en activité (0 kW d'apports en inoccupation).

Les pertes de charges totales (filtres + réseau aéraulique) sont estimées à $\Delta P = 1\ 000\ Pa$ avec $G = 0.3\ (W/K.m^3)$ de déperditions thermiques, une valeur plutôt élevée pour une SP, afin de tenir compte des entrées/sorties du personnel qui dégradent les performances thermiques et l'étanchéité des SP en ETS.

Les températures entrée/sortie des réseaux d'eau qui alimentent les CTA sont : [70°C, 60°C] pour l'eau chaude et [7°C, 12°C] pour l'eau froide.

Trois fichiers **météo 2018** (T, HR) serviront à évaluer la sensibilité au climat : Nantes sera prise comme référence.

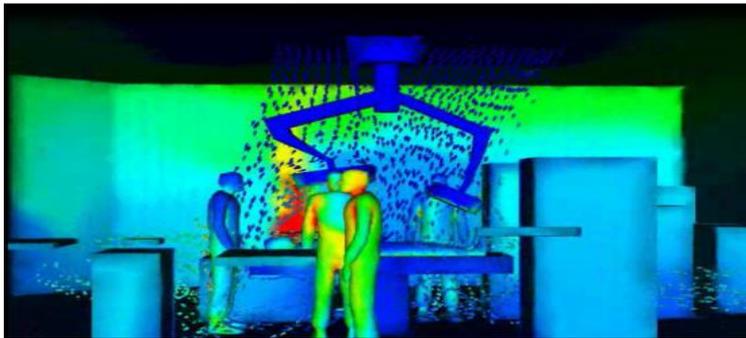


	T : Température (°C)		HR : Humidité relative (%)	
	médiane	moyenne	médiane	moyenne
Nantes (référence)	12.6	13.3	85	79
Lille	11.4	11.9	80	75
Marseille Marignane	16.6	16.7	66	66

Tableau 1 : Caractéristiques des 3 météos

Un taux de brassage de 100 volume/h en salle d'opérations de risque 4 soit ISO 5

Les salles d'opérations se décomposent en deux volumes : une zone sous le plafond soufflant en flux laminaire unidirectionnel (le champ opératoire) et une zone périphérique. Pour le flux laminaire (0.25 m/s à 0.35 m/s)



nous retenons la fourchette basse de soufflage à 0.25 m/s et 18 filtres de 1 200 mm * 600 mm = 18 * 0.72 m² = 13 m². D'où un débit de soufflage de 0.25 m/s * 13 m² * 3600 s = 11 700 m³/h, qui ramené aux 120 m³ de la SP conduit à un taux de brassage de 97 vol/h que nous arrondirons à 100 vol/h.

Figure 1 : Simulation numérique EDF Hôpital Saint Louis, Grands Brûlés (revue Vivre EDF l'hebdo N°286 11 2017)

Des taux de brassage de 10 à 30 vol/h pour les autres SP

5 SP caractéristiques du secteur hospitalier	Brassage d'air (vol/h)	Air soufflé (m ³ /h)	Air neuf (vol/h)	Air repris (m ³)
Salle d'opérations classe de risque 4 ISO 5	100	12 000	6	11 280
Salle d'opérations classe de risque 3 ISO 7	15	1 800	6	1 080
Autres types* de SP classe de risque 2 ISO 8	10	1 200	6	480
Préparation pharmaceutique ISO 7	30	3 600	6	2 880
Stérilisation ISO 8	20	2 400	6	1680

*: naissance, réveil, soins...

Tableau 2 : Débits d'air des différentes Centrales de Traitement d'Air

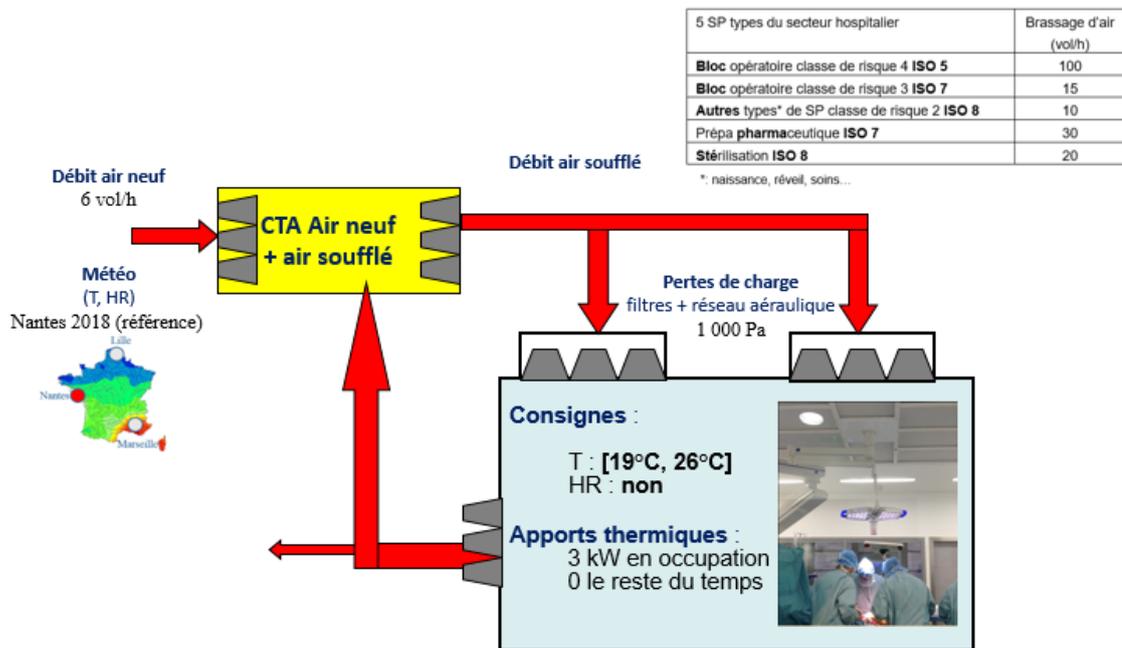


Figure 2 : Récapitulatif des différentes hypothèses retenues pour l'étude ETS

L'intensité énergétique (IE) d'une SP



L'ISO 14 644-16 : « Efficacité énergétique dans les salles propres et environnements maîtrisés apparentés », qui sera publiée courant 2019, propose, à son annexe D (Benchmarking : Energy performance indicators for cleanrooms) de se reporter à la méthodologie du guide ASPEC ADEME EDF au sujet de l'intensité énergétique dans les salles propres :

« Refer to ASPEC methodology for a suggested approach to estimation of EI for cleanroom facilities. » qui pourrait se traduire par : « **Reportez-vous à la méthodologie ASPEC pour une suggestion d'approche de l'estimation de l'Efficacité Énergétique en salles propres** ».

Nous utilisons donc les ratios IE utilisés dans ce guide exprimés en **kWh/ m³/h d'air brassé et kWh/m²**. Les **gains économiques liés aux actions MDE** seront calculés sur la base de la facture énergétique (en **€/m²**) avec des coûts des énergies fixés à 60 €/MWh HT en électricité et 40 €/MWh HT en gaz (chauffage).

Résultats OPro **Salle d'opérations** classe de risque 4 ISO 5

SP	Météos	Nantes
Salle d'opérations classe de risque 4 ISO 5 Permanent	kWh/ m ³ /h d'air brassé	5.5
	kWh/m ²	1 654
		Référence : 97 € HT/m ² /an

L'essentiel de la consommation provient de la ventilation. C'est donc prioritairement sur ce poste qu'il faut agir en MDE par exemple en diminuant le taux de brassage en inoccupation, tout en s'assurant qu'aucune personne ne puisse s'introduire dans la salle d'opérations.

Ce coût d'exploitation intègre :
Ventilation + Froid + Chaud.

Nous définissons une stratégie MDE quand la salle est inoccupée :

Stratégie MDE, hors occupation :

- diminuer les débits de soufflage de 50 %
- élargir les plages de consignes de $\pm 4^{\circ}\text{C}$

En inoccupation avec MDE les consignes passent donc à [15°C ; 30°C].

SP	Météo	Nantes
Salle d'opérations classe de risque 4 ISO 5 MDE	kWh/ m ³ /h d'air brassé	3.9
	kWh/m ²	1 183
		- 29% 69 € HT/m ² /an

Avec la stratégie MDE l'économie (€) est de l'ordre de 30%, sans bouleverser les proportions ventilation, chaud, froid.

**Stratégie MDE,
hors occupation**

Résultats OPro **Salle d'opérations** classe de risque 3 ISO 7

Météos SP	Lille	Nantes (référence)	Marseille
Salle d'opérations classe de risque 3 ISO 7 Permanent	<p>14.7 660</p> <p style="text-align: center;">+7%</p>	<p>kWh/ m³/h d'air brassé kWh/m²</p> <p>13.2 594</p> <p style="text-align: center;">Référence : 30 € HT/an/m²</p>	<p>11.7 527</p> <p style="text-align: center;">-10%</p>

Du fait d'un taux de brassage (15 vol/h) bien moindre qu'en ISO 5 (100 vol/h), le ratio kWh/ m³/h augmente de 5 à 13 pour Nantes, mais par contre le ratio kWh/m² diminue de 1 650 à 600 kWh/m². La sensibilité à la météo est de l'ordre de ±10% avec plus de chauffage à Lille et moins à Marseille, plus de climatisation à Marseille et moins à Lille.

En appliquant la stratégie MDE 24 à 27% d'économies sont atteignables :

Météos SP	Lille	Nantes	Marseille
Salle d'opérations classe de risque 3 ISO 7 MDE	<p>11 494</p> <p style="text-align: center;">-25% (ref : Lille permanent)</p> <p style="text-align: center;">Stratégie MDE, hors occupation</p>	<p>kWh/ m³/h d'air brassé kWh/m²</p> <p>9.6 434</p> <p style="text-align: center;">-27% 22 € HT/an/m²</p> <p style="text-align: center;">Stratégie MDE, hors occupation</p>	<p>8.9 400</p> <p style="text-align: center;">-24% (ref : Marseille permanent)</p> <p style="text-align: center;">Stratégie MDE, hors occupation</p>

Des gains de l'ordre de 25% en ETS !

Pour Nantes, les gains en € évoluent entre 23 et 29% soit environ ¼ d'économies sur la facture.

Intensité énergétique (IE) et coûts Secteur hospitalier Nantes	Régime Permanent (référence)		Régime intermittent		Gains €
	IE (kWh/ m³/h d'air brassé) et Coûts (€/an/m²)		Hors occupation ± 4°C et débit soufflage/2		
Salle d'opérations classe de risque 4 ISO 5	5.5	97 €/m²	3.9	69 €/m²	- 29%
Salle d'opérations classe de risque 3 ISO 7	13.2	30 €/m²	9.6	22 €/m²	-27%
Autres types* de SP classe de risque 2 ISO 8	17.8	26 €/m²	13.1	20 €/m²	-23%
Prépa pharmaceutique ISO 7	8.5	41 €/m²	6.2	30 €/m²	-27%
Stérilisation ISO 8	10.8	33 €/m²	7.9	25 €/m²	-24%

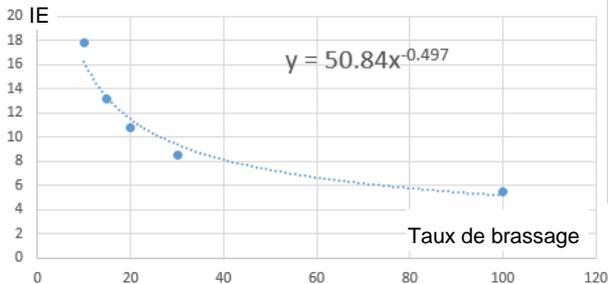
Stratégie MDE,
hors occupation

Tableau 3 : Récapitulatif des résultats ETS pour Nantes

Une formule simple pour l'intensité énergétique en ETS

Pour Nantes et ces 5 salles propres caractéristiques des ETS, il est possible de représenter sous forme de graphe l'Intensité Energétique (IE) en fonction du taux de brassage (exprimé en vol/h) en régime permanent. Une courbe de tendance de la forme $y = \frac{A}{\sqrt{\text{Taux de brassage}}}$ traduit assez bien l'évolution de IE :

Intensité énergétique pour les 5 cas traités
Nantes en régime permanent



Pour les 5 cas traités, une formule arrondie de l'Intensité Energétique en régime permanent IE ETS pourrait être la suivante :

$$IE_{\text{Permanent ETS}} \text{ (kWh/ m}^3\text{/h d'air brassé)} = \frac{51}{\sqrt{\text{Taux de brassage (vol/h)}}$$

Intensité énergétique pour les 5 cas traités
Nantes Stratégie MDE



En appliquant la même démarche à la stratégie MDE nous aboutissons pour IE ETS MDE à la formule arrondie suivante :

$$IE_{\text{MDE ETS}} \text{ (kWh/ m}^3\text{/h d'air brassé)} = \frac{39}{\sqrt{\text{Taux de brassage (vol/h)}}$$

Des consommations françaises ETS réactualisées et cohérentes avec le CEREN

En appliquant la formule Consommation (TWh/an) = Débit de brassage (m³/h) * IE_{Permanent} ETS (kWh/ m³/h d'air brassé/10⁹) aux données SP ETS du guide ASPEC ADEME EDF (surfaces, débits), nous obtenons l'estimation suivante de la consommation française des SP en secteur hospitalier :

ETS Régime permanent	m ² estimés	Hauteur (m)	Volume (m ³)	Classe ISO	Taux de brassage (Vol/h)	Débit soufflé (m ³ /h d'air brassé)	IE = 51 (kWh/m ³ horaire d'air brassé) (formule)	Conso (TWh/an)
Classe de risques 2	347 420	3	1 042 260	ISO 8	10	10 422 600	16	0.17
Classe de risques 3	464 620	3	1 393 860	ISO 7	15	20 907 900	13	0.28
Classe de risques 4	212 435	3	637 305	ISO 5	100	63 730 500	5	0.33

Tableau 4 : Estimation de la consommation française des SP en ETS

Total = 0.77 TWh

Remarque : Le taux de brassage initialement prévu à 360 vol/h dans le guide ASPEC ADEME EDF en ISO 5 a été revu à 100 vol/h pour tenir compte du fait que seule la zone d'environnement patient de 13 m² (dont la table d'opération) est sous flux laminaire ISO 5 et non pas toute la salle propre de 40 m².

La consommation totale du secteur de la santé avec les données de surfaces ASPEC serait alors de **0.77 TWh**, une valeur proche de celle déterminée début 2019 par le CEREN (1.13 TWh) par une approche très différente : des enquêtes par correspondance avec une quarantaine de réponses pour des sites ayant des salles propres en secteur hospitalier, puis une extrapolation à partir des données ASPEC des surfaces des SP.

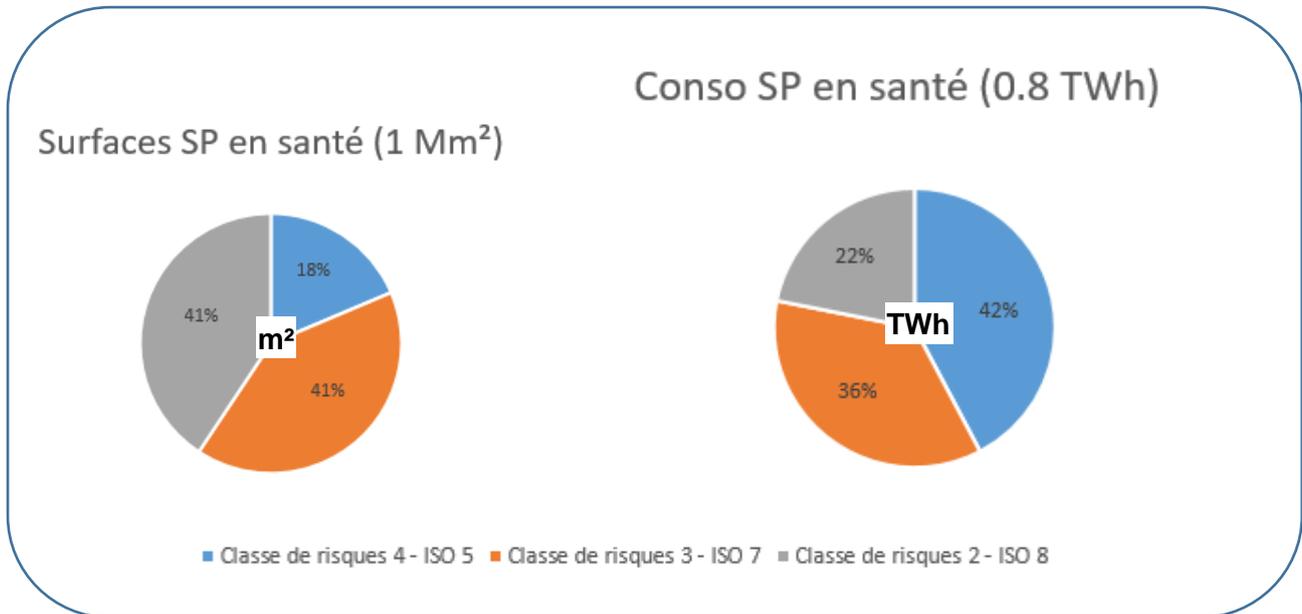


Figure 3 : Surfaces et consommations des SP en ETS

Un gisement de 0.2 TWh avec cette action MDE

En supposant que toutes les SP en ETS appliquent la stratégie MDE d'élargissement des consignes $\pm 4^\circ\text{C}$ et de réduction par 2 des débits de soufflage hors occupation, la consommation française des SP en ETS avec MDE deviendrait alors :

Tableau 5 : Estimation de la consommation française des SP en ETS avec MDE ($\pm 4^\circ\text{C}$ sur T et \downarrow débits de soufflage 50% hors occupation)

ETS	Débit soufflé (m ³ /h)	IE = 39 (kWh/m ³ horaire d'air brassé) (formule)	Conso (TWh/an)
Régime intermittent MDE			
Classe de risques 2	10 422 600	12	0.13
Classe de risques 3	20 907 900	10	0.21
Classe de risques 4	63 730 500	4	0.25

Total = 0.59 TWh

Le gisement MDE est la différence du total des consommations soit $0.77 - 0.59 = 0.18$ TWh, une valeur qui est aussi dans l'ordre de grandeur du gisement technique évalué par le CEREN pour les SP du secteur hospitalier : 0.58 TWh en intégrant une série d'actions MDE (froid, ventilation, moteurs, chauffage, chaufferies, réseaux).

Ces résultats voisins, obtenus avec deux approches différentes, ouvrent des perspectives en matière de certificats d'économies d'énergies. Il serait en effet imaginable de les appliquer dans une fiche CEE dédiée aux salles propres dans les établissements de santé. Pour cela, il faudrait partir du principe que :

❶ L'intensité énergétique moyenne (IE) des salles propres en ETS et en régime permanent vaut :

$$IE_{\text{Permanent}} \text{ (kWh/ m}^3\text{/h d'air brassé)} = \frac{51}{\sqrt{\text{Taux de brassage}}}$$

❷ L'IE moyenne des SP en ETS et en régime intermittent vaut : $IE = \frac{39}{\sqrt{\text{Taux de brassage}}}$ en régime MDE ($\pm 4^\circ\text{C}$ sur T et \downarrow débits de soufflage 50% hors occupation).

❸ Qu'une estimation de la consommation est le produit : Volume (m³) * Taux de brassage (vol/h) * IE (kWh/m³ horaire d'air brassé)

❹ Que le gain énergétique est la différence de ces consommations et qu'il est supposé être peu influencé par les zones géographiques. En effet, la variation énergétique calculée avec OPro n'est que de l'ordre de $\pm 10\%$ pour les consommations énergétiques (plus de chauffage au nord et plus de climatisation au sud), mais aucune influence sur la ventilation qui représente environ le 1/3 des consommations.

Une fiche CEE en ETS à venir ?

Sur la base de tous ces résultats, EDF proposera mi-mai à l'ATEE (Association Technique Energie Environnement) l'idée de construire une fiche CEE en SP ciblée sur les ETS avec des calculs de la forme suivante :

$$CEE \text{ (MWhcumac)} = \text{Débit d'air brassé (m}^3\text{ horaire d'air brassé)} * (IE \text{ en permanent} - IE \text{ en intermittent MDE}) \text{ (kWh/m}^3\text{ horaire d'air brassé)} * 11.563$$

Ce dernier terme 11.563, tient compte d'une durée de vie moyenne de l'action MDE de 15 ans et d'un taux d'actualisation de 4% pour obtenir des montants CEE en MWhcumac (MWh cumulés actualisés).

Application numérique de cette proposition de fiche CEE à des SP de **40 m²** et ISO 8,7 et 5 en ETS :

ETABLISSEMENTS DE SANTE Fiche CEE	Surface (m ²)	Hauteur (m)	Taux de brassage (Vol/h)	IE – IE MDE (kWh/m ³ horaire d'air brassé) Stratégie MDE hors occupation	Facteur pour MWhcumac	CEE MWh Cumac
Salle ISO 8	40	3	10	16 – 12 = 4	11.563	56
Salle ISO 7	40	3	15	13 – 10 = 3	11.563	62
Salle ISO 5	40	3	100	5 – 4 = 1	11.563	139
Commentaires				Régime intermittent (hors occupation ↓ débits de soufflage 50% T [19°C ; 26°C] ± 4°C)	Durée de vie 15 ans Taux d'actualisation 4%.	

Appliqué à l'ensemble des surfaces de SP en ETS le gisement estimé serait de 1.9 TWhcumac.

L'opportunité d'une **fiche CEE**, couplée à la publication en 2019 de la norme **ISO 14 644-16** : « Efficacité énergétique dans les salles propres et environnements maîtrisés apparentés » seraient de nature à **impulser une très bonne dynamique pour l'efficacité énergétique en salles propres**. Les services commerciaux d'EDF Commerce sont préparés pour répondre aux besoins MDE de leurs clients en établissements de santé et en industrie, sachant que d'autres fiches CEE pour les SP en industrie pourraient ensuite s'inscrire dans cette première démarche en ETS.