



Synthèse du retour d'expérience (REX) terrain sur la consommation énergétique et la maîtrise de la demande en énergie (MDE) en salles propres

Jean-Paul Rignac (EDF R&D)

17 novembre 2016 Newark (USA) : réunion ISO TC209 WG 13 (ISO 14 644 – 16)

1er décembre 2016 Paris : colloque ASPEC – ADEME - EDF

Le point de départ : 7 retours d'expérience (avec des mesures précises)

Secteurs d'activité	BLANCHISSERIE	IAA	PLASTURGIE		ELECTRONIQUE	PHARMACIE (ERTEC)	
	Décontamination tenues	Lait pasteurisé	Médical	Automobile Pharmacie	Militaire	Avant MDE	Après MDE
Régulation Température	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Régulation humidité relative				✓	✓	✓	✓
Classe ISO	ISO 7	ISO 6 et 7 Flux ISO5	ISO 7	ISO 7	ISO 6 et 7 Flux ISO5	ISO 7	ISO 7
Process		ⓅⓅⓅ	ⓅⓅⓅ	ⓅⓅ	Ⓟ	ⓅⓅ	ⓅⓅ
Précision des mesures	++	+	+	+	+++	++	++
Surfaces	90 m ²	200 m ²	220 m ²	800 m ²	100 m ²	240 m ²	240 m ²
Hauteurs	2.75 m	4 m	3.3 m	5 m	2.55 m	2.5 m	2.5 m
Traitement d'air [kWh/m ² /an de salle propre]	556	2 510	2 350	1 594	6 410	1 629	821
Débits d'air brassé	6 140 m ³ /h	45 650 m ³ /h	22 000 m ³ /h	120 000 m ³ /h	45 668 m ³ /h	18 000 m ³ /h	18 000 m ³ /h
Traitement d'air [kWh/m ³ /an d'air brassé]	8.1	11.0	23.5	10.6	14.0	21.7	10.9

➤ Un ratio significatif ?

○ 8 à 25 kWh/m³ horaire d'air brassé/an : proportion de 1 à 3

○ kWh/m²/an : proportion de 1 à 12

1^{er} retour d'expérience OBJECTIF : obtenir des mesures précises

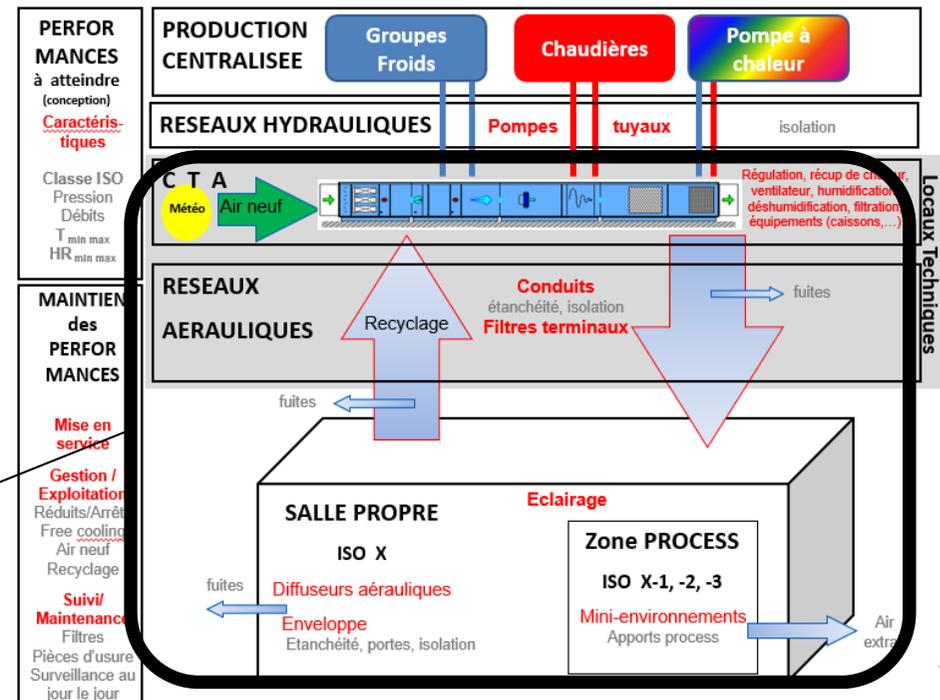
⇒ Remplir :

	Salle propre 1	Salle propre 2
Chauffage	?	?		
Climatisation	?	?		
Ventilation	?	?		

Résultat : 

≈ aucun REX !

Conso Elec ventilation : parfois OK
mais Chauffage ? Climatisation ?



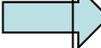
Questionnaire trop détaillé ⇒ pas de réponses
Démarche trop optimiste et trop ambitieuse !

2^{ème} retour d'expérience

OBJECTIF : obtenir des mesures moins précises... mais plus nombreuses !

● Principe de la méthode du guide ASPEC

- Décrire précisément (filtration, T, HR...) **une ou deux SP** caractéristiques du site (SP types)
 - + **tous les m² de SP par classe ISO**
- Récupérer les **conso globales d'énergie du site** :
élec_{site} et gaz_{site}
et un maximum d'informations sur les autres locaux du site

- 
- **Extrapoler** les ratios de ventilation des SP types à toutes les SP
 - **Retirer** des conso du site **tout ce qui ne concerne pas les SP** :
$$\text{Conso}_{\text{site}} - \sum \text{Conso}_{\text{autres que SP}} = \text{Conso SP}$$



Méthode applicable uniquement
sur des sites où la **part énergétique des
SP est significative**
dans les consommations globales du site



Méthode guide ASPEC : Conso Ventilation SP

1 Consommation de Ventilation des salles propres

Principe :

- (A) Estimer la consommation d'une salle propre représentative du site → ratio
- (B) Extrapoler au site

(A) salle propre caractéristique :

débit de soufflage

CTA + ΔP filtres + réseau (1300 à 1700 Pa)

Fonctionnement (nombre d'heures)

} Consommation
Ventilation → ratio/m²

(B) salles propres du site : $\sum m^2 \cdot SP \times \text{ratio/m}^2 \rightarrow$

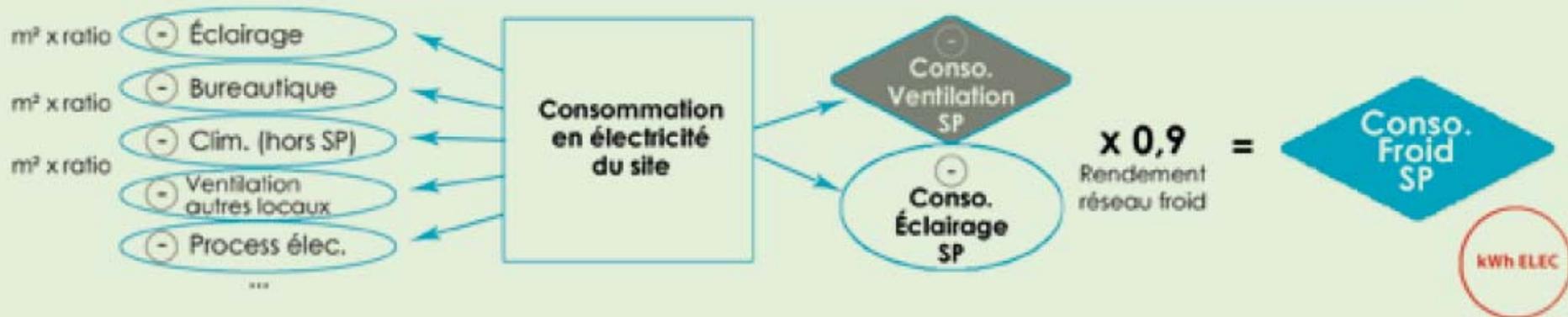
Conso.
Ventilation
SP

kWh ELEC

Méthode guide ASPEC : Conso Froid SP

2 Consommation de Froid des salles propres

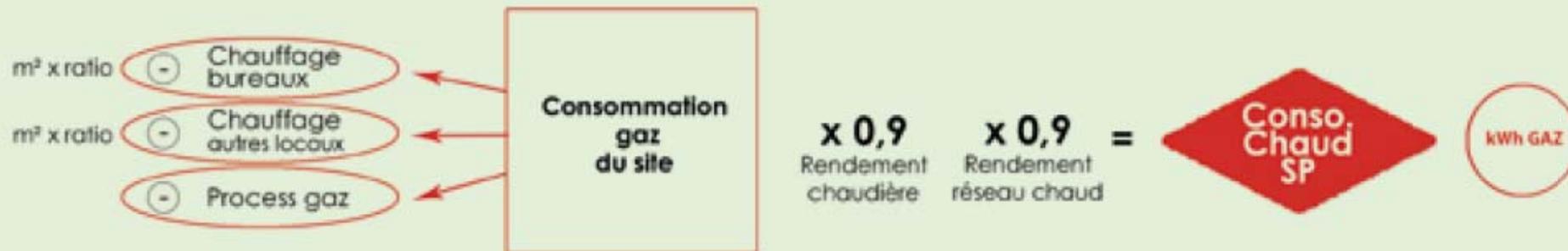
Principe : consommation électricité du site
 - consommation de Ventilation des salles propres
 - autres consommations électriques (hors salles propres)
 = consommation de Froid des salles propres



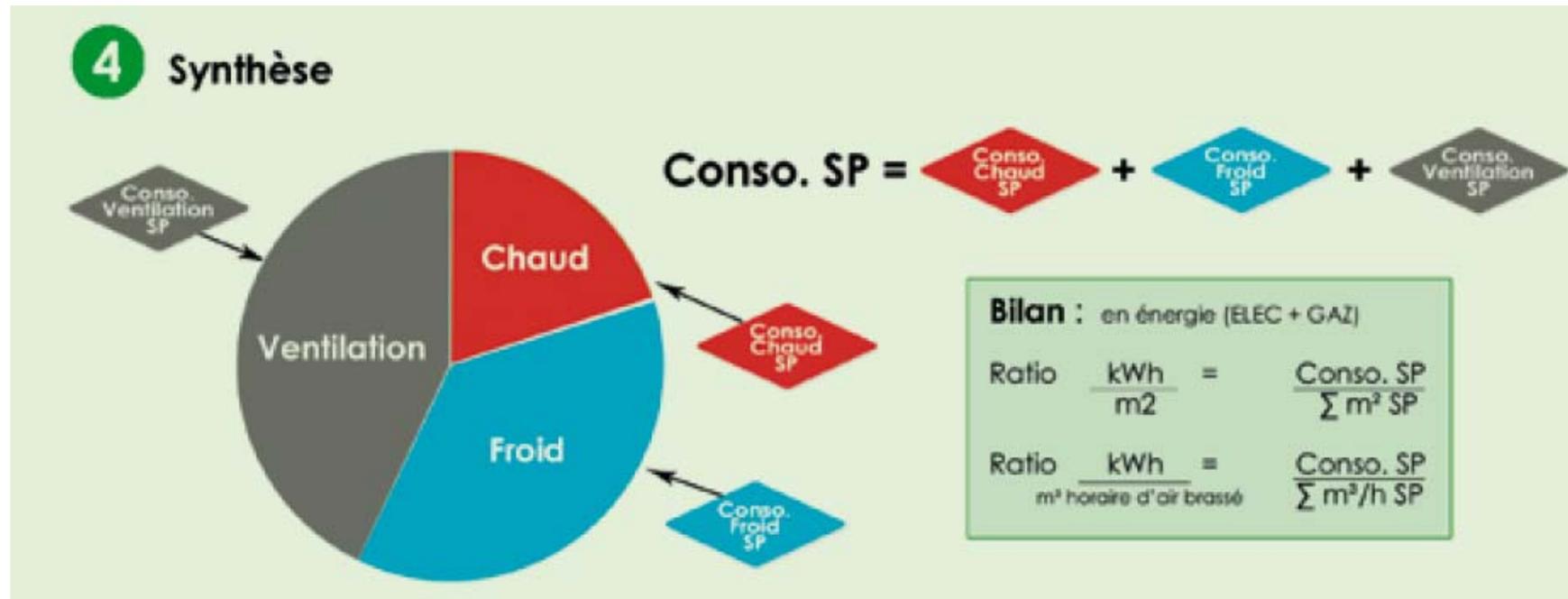
Méthode guide ASPEC : Conso Chaud SP

3 Consommation de Chaud des salles propres

Principe : consommation gaz du site
- autres consommations en gaz (hors salles propres)
= consommation de Chaud des salles propres



Méthode guide ASPEC : Conso globale des SP



3 types de retours de REX :

- **Infos complètes** (Ventilation/Chaud/Froid) \Rightarrow **Résultats OK** (méthodologie inutile)
- **Méthodologie + infos OK** \Rightarrow **Résultats OK**
- **Méthodologie + infos pas OK** \Rightarrow résultats non exploitables



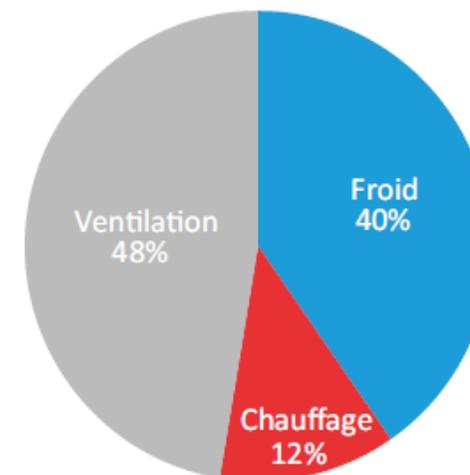
≈ une dizaine
de nouveaux REX !

Un exemple de résultat en micro électronique

SYNTHESE

Conso (MWh)	Froid	36 800 MWh	40%
	Chauffage	11 200 MWh	12%
	Ventilation	43 200 MWh	47%
	TOTAL	91 200 MWh	

Répartition des consommations
Froid/Chaud/Ventilation



Commentaire : Consommations élec et gaz donnée pour la salle propre.
La consommation froid est faible en regard du calcul théorique => autre conso Process non pris en compte ?

Fiabilité sur les données	80%
Fiabilité sur l'analyse	
Calcul à partir d'estimation réelle	Non



Bilan en énergie finale (kWhElec + kWh gaz)	
Ratio : kWh/m ²	6423
Ratio : kWh/m ³ horaire d'air brassé	11

Le ratio de 10 à 30 kWh/m³ horaire d'air brassé/an est confirmé !

DOMAINE	SECTEUR	ACTIVITÉS	SURFACE SALLES PROPRES (en m ²)	CLASSE ISO	CONSOMMATION GLOBALE MWh/an	RATIO EN kWh/m ² /an	RATIO EN kWh/m ³ d'air brassé/an
Industrie	Micro-électronique	Semi-conducteurs	14 200	ISO 7	91 200	6 423	11
Industrie	Electronique	Militaire (caméras...)	100	ISO 6 – ISO 7 (sous flux : ISO 5)	619	6 190	14
Industrie	Spatial et aéronautique	Sous-traitance de pièces	300	ISO 6	560	1 867	17,5
Industrie	Automobile et pharma	Plasturgie	800	ISO 7	982	1 228	8
Industrie	Pharmacie	Formes sèches	19 442	ISO 8	12 729	655	29
Industrie	Pharmacie		2 440		4 233	1 735	25
Industrie	Pharmacie	Injectables	23 211	ISO 8 (environnement des isolateurs)	37 090	1 598	19
Industrie	Pharmacie	Vaccins lyophilisés	8 800	ISO 7 (2 500) ISO 8 (6 300)	26 671	3 031	47
Industrie	Pharmacie	Formes sèches (cas ERTEC)	240	Classe C (ISO 7 au repos, ISO 8 en activité)	348	1 450	19
Industrie	Dispositifs Médicaux	Injection plastique	220	ISO 7	432	1 964	20
Industrie	Dermo-cosmétique	Crèmes	63	ISO 5	165	2 619	16
Industrie	IAA	Bouteilles plastiques (lait)	200	ISO 6 – ISO 7 (sous flux, ISO 5)	502	2 510	11
Industrie	Sous-traitance	Décontamination de tenues « Salles propres »	90	ISO 7	49	544	8
Établissements de santé	Blocs opératoires	Salles d'opérations	50	ISO 5	146,5	2 929	19,5

Ratio toujours dans une proportion de 1 à 3

Une exception à 47 kWh/m³ horaire d'air brassé/an
Spécificité du process de lyophilisation (énergivore) par rapport à d'autres process pharmaceutiques pour des formes injectables ou des comprimés ?

⇒ travaux à poursuivre !

Estimation de la conso en France des SP



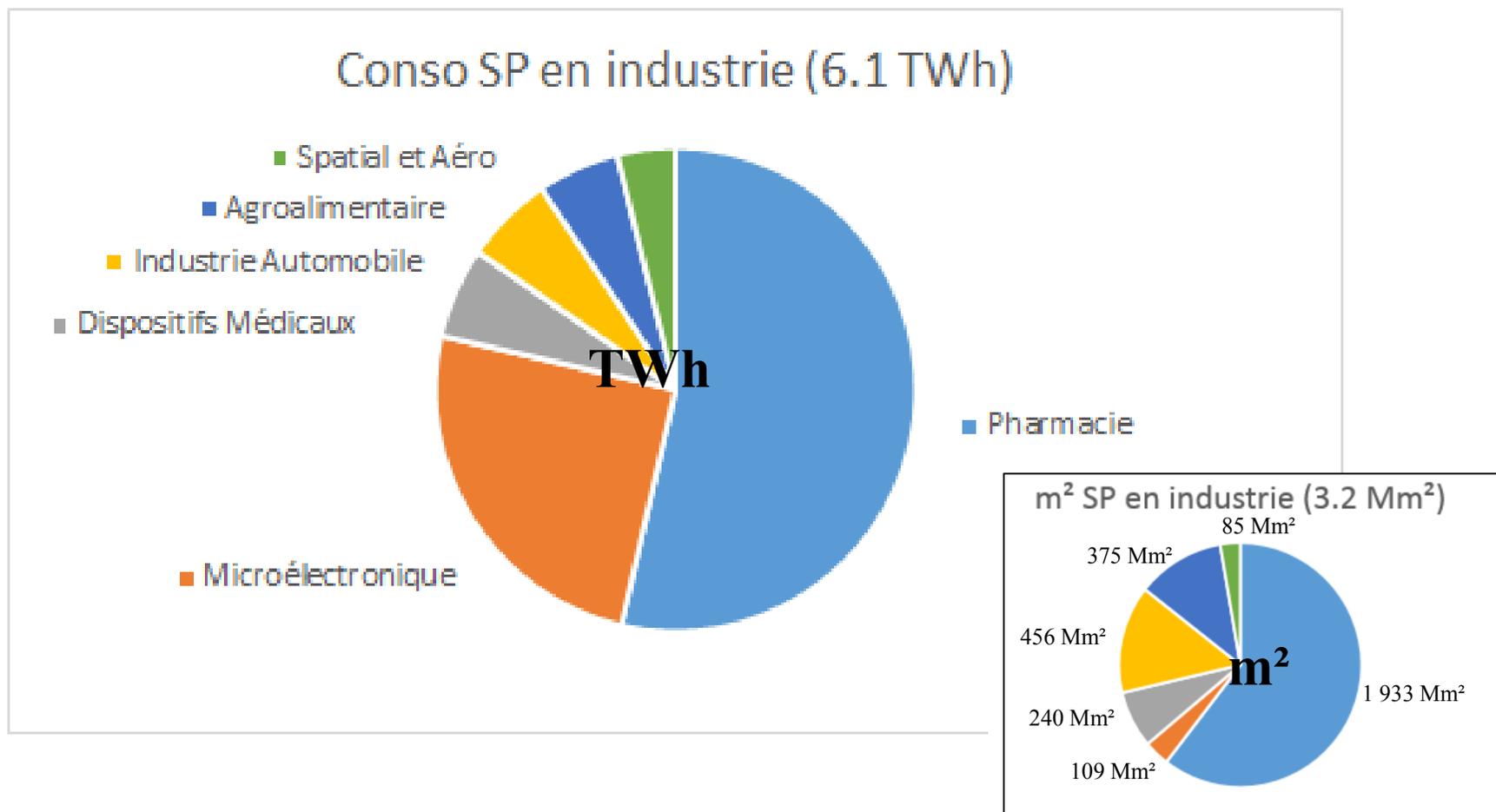
$m^2 \times \text{hauteur} \times \text{taux de brassage} \times \text{ratio}_{\text{moyen}} = \text{conso}$

Etude ALCIMED

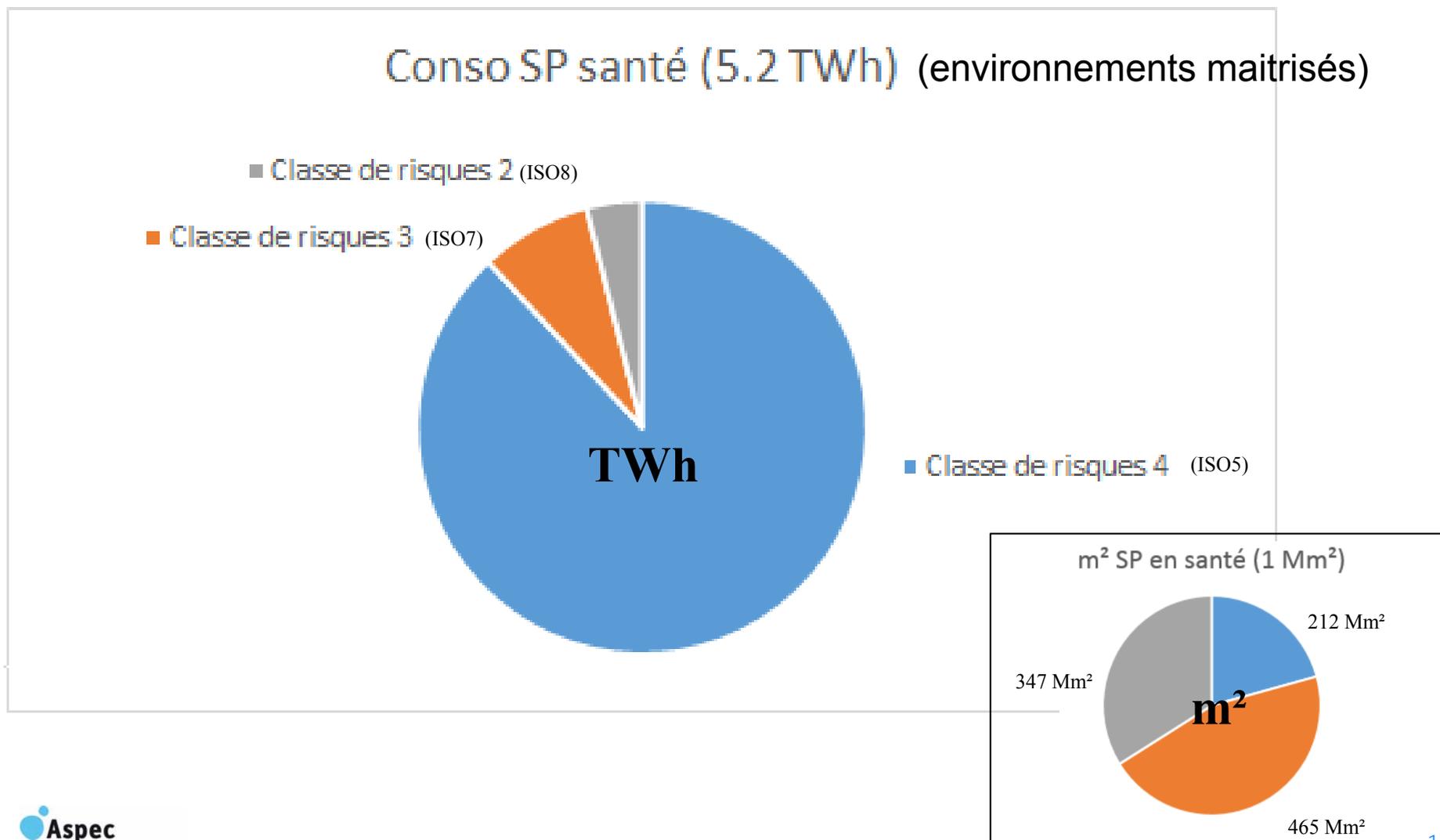
INDUSTRIE	m ²	Hauteur (m)	Volume (m ³)	Classe ISO	Taux de brassage (Vol/h)	Débit soufflé	kWh/m ³ h d'air brassé	Conso (GWh/an)	Conso (TWh/an)
Microélectronique	77 000	3	231 000	ISO 3	500	115 500 000	12,5	1 444	
	3 000	3	9 000	ISO 4	300	2 700 000	12,5	34	
	3 300	3	9 900	ISO 5	100	990 000	12,5	12	
	25 000	3	75 000	ISO 6	40	3 000 000	12,5	38	
	700	3	2 100	ISO 7	30	63 000	12,5	1	1,53
Pharmacie	6 000	3	18 000	ISO 5	100	1 800 000	27,8	50	
	27 000	3	81 000	ISO 7	30	2 430 000	27,8	68	
	1 900 000	3	5 700 000	ISO 8	20	114 000 000	27,8	3 169	3,29
Dispositifs Médicaux	10 000	3	30 000	ISO 5	100	3 000 000	20	60	
	60 000	3	180 000	ISO 7	30	5 400 000	20	108	
	170 000	3	510 000	ISO 8	20	10 200 000	20	204	0,37
Spatial et Aéro	12 000	5	60 000	ISO 5	100	6 000 000	18	108	
	73 000	5	365 000	ISO 8	20	7 300 000	18	131	0,24
Agroalimentaire	375 000	3	1 125 000	ISO 8	20	22 500 000	15	338	0,34
Industrie Automobile	456 000	5	2 280 000	ISO 8	20	45 600 000	8	365	0,36
3,2 millions m²									6,1 TWh
SANTE									
Classe de risques 2	347 420	3	1 042 260	ISO 8	10	10 422 600	20	208	
Classe de risques 3	464 620	3	1 393 860	ISO 7	15	20 907 900	20	418	
Classe de risques 4	212 435	3	637 305	ISO 5	360	229 429 800	20	4 589	5,2
1,0 millions m²									
4,2 millions m²									
TOTAL									11,3 TWh

$\Sigma m^2 \approx 4 \text{ millions } m^2 \text{ et } \Sigma \text{ conso} \approx 11 \text{ TWh/an}$

INDUSTRIE : Répartition des 6.1 TWh de consommations et des 3.2 millions m²



SANTE : Répartition des 5.2 TWh de consommations et des 1 million m²



Un ratio plus « classique » : kWh/m²

INDUSTRIE

SECTEUR	NOMBRE DE m ² ESTIMÉ EN GLOBAL*	HAUTEUR (en m)	VOLUME DE SALLE (en m ³)	CLASSE ISO	Taux de brassage (V/h)	DÉBIT SOUFFLÉ (en m ³ /h)	FACTEUR MOYEN : kWh/m ³ horaire d'air brassé par an (à partir des cas pratiques)	CONSOMMATION DU SECTEUR (kWh/an)	ARRONDI (en TWh/an)
Micro-électronique	77 000	3	231 000	ISO 3	500	115 500 000	12,5	1 443 750 000	
	3 000	3	9 000	ISO 4	300	2 700 000	12,5	33 750 000	
	3 300	3	9 900	ISO 5	100	990 000	12,5	12 375 000	
	25 000	3	75 000	ISO 6	40	3 000 000	12,5	37 500 000	
	700	3	2 100	ISO 7	30	63 000	12,5	787 500	
Pharmacie	6 000	3	18 000	ISO 5	100	1 800 000	27,8	50 040 000	
	27 000	3	81 000	ISO 7	30	2 430 000	27,8	67 554 000	
	1 900 000	3	5 700 000	ISO 8	20	114 000 000	27,8	3 169 200 000	3,29
Dispositifs médicaux	10 000	3	30 000	ISO 5	100	3 000 000	20	60 000 000	
	60 000	3	180 000	ISO 7	30	5 400 000	20	108 000 000	
	170 000	3	510 000	ISO 8	20	10 200 000	20	204 000 000	0,37
Spatial et Aéro	12 000	5	60 000	ISO 5	100	6 000 000	18	108 000 000	
	73 000	5	365 000	ISO 8	20	7 300 000	18	131 400 000	
Agro-alimentaire	375 000	3	1 125 000	ISO 8	20	22 500 000	15	337 500 000	0,24
	Industrie automobile	456 000	5	2 280 000	ISO 8	20	45 600 000	8	364 800 000
Global en (m ²)	3 198 000						Global Salles propres industrielles (hors cosmétique - ootomécanique)	6 128 656 500	6,13
	Σ m ² industrie							Σ TWh industrie	

SP en France
11.3 TWh/an et 4.2 millions m²
soit un ratio moyen SP de
2 700 kWh/m²

SANTÉ

CLASSES DE RISQUE	NOMBRE DE m ² ESTIMÉ EN GLOBAL	HAUTEUR (en m)	VOLUME DE SALLE (en m ³)	CLASSE ISO	Taux de brassage (V/h)	DÉBIT SOUFFLÉ (en m ³ /h)	FACTEUR MOYEN : kWh/m ³ HORAIRE D'AIR BRASSÉ PAR AN (à partir des cas pratiques)	CONSOMMATION DU SECTEUR (kWh/an)	ARRONDI (en TWh/an)
2	347 420	3	1 042 260	ISO 8	10	10 422 600	20	208 452 000	
3	464 620	3	1 393 860	ISO 7	15	20 907 900	20	418 158 000	
4	212 435	3	637 305	ISO 5		229 429 800	20	4 588 596 000	
Global en (m ²)	1 024 475						Global Environnements maîtrisés	5 215 206 000	5,21
	Σ m ² santé							Σ TWh santé	

SP industrielles
6 TWh/an et 3.2 millions m²
1 900 kWh/m²

SP santé
5 TWh/an et 1 million m²
5 100 kWh/m²
mais 21 600 kWh/m² en ISO 5 !



Conclusion : les Salles Propres sont un enjeu énergétique majeur !

Estimation guide ASPEC

11 TWh pour 4 millions m² de SP

+ **≈ 2 TWh** de traitement d'air **data centers** pour 1 million m²

+ laboratoires R&D

+ EPIC (ex : 60 000 m² de SP CEA CESTA + Minatec CEA LETI + ...)

+ zones de confinements à risques BIO

⇒ **un enjeu énergétique des salles propres**

≅ chauffage des locaux industriels ≈ 15 TWh/an

pour 120 millions de m² chauffés en France (CEREN)

⇒ **Des économies qui vont jusqu'à 50%** (REX MDE) !

Quelles perspectives pour la MDE en Salles Propres ?

- **Mesurer les ratios (kWh/m³ horaire d'air brassé, kWh/m²)** pour se positionner (à t) et évaluer les progrès en MDE (à t + 1 an)
- **Traduire le guide ASPEC en anglais** pour le transmettre à l'ISO TC209 WG13 (ISO 14 644 – 16) (guide GB très attendu par l'ISO !)
- Confirmer les ratios par de **nouveaux REX** et par des **simulations numériques**
- **Aboutir à des CEE** (Certificats d'Economies d'Energie) en salles propres
- **Mieux recenser toutes les salles propres en France** (m², ISO, taux de brassage, consommations...)
⇒ des données plus précises (CEREN)