

CEMAFROID L'expertise de la chaîne du froid

EFFICACITE ENERGETIQUE et FLUIDES FRIGORIGENES



Situation mondiale

la performance énergétique : un défi d'avenir

Consommation mondiale d'électricité

Froid et Conditionnement d'Air :

2 850TWh

Soit : 15% du total mondial consommé

- Cette consommation électrique génère 80% des émissions globales liées à ces marchés
 - 1.6 Gt. Eq.CO2 – (base : 0.55 kg CO2 / kWh)
- Emissions totales de Gaz à Effet : 49 GT
- Le froid représente 4.5% soit : 2 250Mt



La performance énergétique : un défi d'avenir

Situation mondiale

la performance énergétique : un défi d'avenir

Objectifs

- Rapport IIF/UNEP de 2007 mentionne potentiel de gain de 35%
- Une réglementation(EPA) américaine impose au 1/01/2010 pour les nouveaux MFV une amélioration énergétique de 33%

EUROPE

- L' objectif : « paquet climat » voté en décembre 2008 par le parlement Européen impose d'ici à 2020 :
 - 20 % de réduction d'émissions de GES (base 1990) +
 - 20% de production d'énergie par ENR +
 - 20% d'accroissement de l'efficacité énergétique



Situation EUROPE

la performance énergétique : un défi d'avenir

Europe:

- accord du 31.03.09 pour mise sur le marché en janv. 2011 de réfrigérateurs et congélateur domestiques classe A- 20% et A -40%
- Arrêt de production des classe B à G en 2010
- Arrêt de l'actuelle classe A en 2012
- Objectif: gain de 6 TWh en 2020

Allemagne :

- objectif gouvernemental de réduction des émissions de 40% en 2020



Situation EUROPE

la performance énergétique : un défi d'avenir

Angleterre:

- objectif professionnel d'amélioration de 30% des performances des refroidisseurs de liquide en agissant sur les performances à charge partielle.
- La fédération anglaise des entreposeurs(BFFF) a publié les résultats d'une étude dans la newsletter IIF de juillet 2009 sur le thème des économies d'énergie en froid qui a débouché sur 37 recommandations dont :
 - - remonter de 4°C env. le point de consigne >> gain de 11%
 - - réduire le dT sur les refroidisseurs d'air à 6/8°C max.>> gain de 8% env.
 - - effectuer un réglage saisonnier du point de consigne
 - - assurer un maintien constant de la température
 - - séparer stockage et tunnels
 - - mettre variation de vitesse sur ventilateurs
 - - optimiser le dégivrage
- Le gain a été évalué à 4800t. éq. CO2 par an soit 12000 MWh



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

- Le Froid et la climatisation comptent pour 15 à 20% de la consommation Électrique nationale
- Consommation électrique Froid selon Cemagref : 45 TWh dont 30 à 35TWh en agro et 2% GES
- Consommation électrique Froid selon AFCE (IAA + chaîne du froid) : 32 TWh

4 000 sites en Agro et 1 600 entrepôts > 2000 m³

- Émissions totales de GES en France: 555 Mteq.CO₂ en 2005
- En France le kWh électrique génère 0.108 kg. équivalent de CO₂/kWh
- En Europe le coefficient moyen est de 0.54 kg équ.CO₂/kWh



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

- Loi « POPE » de : 2006 exigeait des « obligés » de réaliser des C.E.E. pour un total sur 3 ans de 54 TWh. cumac
- Le résultat a été de 65 TWh. Cumac
- Le prochain objectif (Grenelle 2) sera de 345 TWh. Cumac du 1/09/2010 au 31/08/2013
- Pour le froid une liste de 14 opérations standardisées éligibles aux C.E.E. date de mars 2010



Situation en France

1	Recupération de chaleur sur groupe production de froid pour le préchauffage d' ECS	Etendre la fiche BAT-TH-30 pour les DOM au territoire métropolitain, Démarche avancée avec le projet de fiche B- 235, Application au tertiaire et à industrie	X		
2	Système combiné de production de froid commercial et de chauffage des locaux	Récupération de la chaleur au condenseur et utilisation de la puissance frigorifique disponible en saison froide	X		
3	Produit de traitement de surface des circuits frigorifiques de froid commercial et de climatisation	Elimination des dépôts carbonés dans les circuits et prévention de leur reformation, Amélioration des coefficients d'échange			X
4	VEV pour: compresseur frigorifique - ventilateur de condenseur - ventilateur de chambres froide et ateliers	Adaptation de la fiche BAT-TH-12	X		
6	Gestion prédictive des installations de production frigorifique	Optimisation des cycles de fonctionnement		X	
7	Basse pression flottante	Adapter la température d'évaporation des MFV aux conditions d'ambiance		X	
8	Détente électrique: Contrôle de la surchauffe à l'aspiration sur une installation frigorifique	Maintien d'un COP performant	X		
10	Moteur basse consommation sur les ventilateurs de MFV	Diminution des consommations DEC et REC		X	
11	MFV positifs verticaux: fermeture par portes	Diminution des apports thermiques au niveau des meubles froids à application positive		X	
12	MFV négatifs horizontaux et bacs + placards: fermeture par couvercles		X		
14	MFV éclairage par LED				X

Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

ETUDE ADEME / AF CONSULTING 2008/2009

RECOMMANDATIONS (classement décroissant)

- 1. HP flottante
- 2. BP flottante
- 3. Variation de vitesse sur compresseurs, ventilateurs, pompes
- 4. Moteurs à commutation électronique pour ventilateurs
- 5. Compresseurs performants
- 6. Moteurs à haut rendement
- 7. Fonctionnement en Économiseur pour compresseurs rotatifs
- 8. Groupes de refroidissement et systèmes performants
- 9. Gestion de la marche à charge partielle
- 10. Récupération de chaleur



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

ADEME / AF CONSULTING

RECOMMANDATIONS (classement décroissant)

- **11. Sous refroidissement du liquide HP**
- **12. Systèmes de gestion centralisée avec diagnostic et aide à la maintenance**
- **13. Accumulation de froid**
- **14. Echangeurs surdimensionnés**
- **15. Maîtrise des pertes de charge**
- **16. Rideaux d'air et déshumidificateurs**
- **17. Choix du « bon » fluide et du « bon » système**
- **18. Free-cooling**
- **19. Pompes à chaleur**



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

1. HP Flottante

- ○ Adapter la pression de condensation en fonction de l'évolution des températures du médium de refroidissement (en général de l'air)
- ○ Évolution dans le même sens mais si possible non linéaire
- ○ L'énergie de ventilation doit varier en fonction de l'écart $dt / T^{\circ}\text{Air}$ et en sens inverse
- ○ ATTENTION aux Limites basses de refoulement des compresseurs
 - Stabilisation de la HP (selon préconisations compressoristes)
 - Accessoires: une sonde de pression, une sonde de température
- extérieure et de température de liquide HP, un régulateur avec lois de régulation
- ○ A partir de la sonde extérieure on calcule la température de condensation et on compare à la valeur de la sonde de pression
- ○ Contrôler le débit du détendeur (débit volumique varie avec $dp^{1/2}$)
- ○ Voir nécessité d'isoler le liquide HP



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

1. HP Flottante (suite)

- **Gains:** (estimations)
- ○ Une diminution de 1°C de la température de condensation permet un gain de 2.5% en kWh
- ○ Le gain varie de 15% à 35% selon amplitude variation de température d'air
 - 30% sur compresseur >>>> 20% sur installation

**LA REDUCTION DU TAUX DE COMPRESSION ENTRAINE UNE REDUCTION
TRES SENSIBLE DE LA PUISSANCE ABSORBEE :
ENTRE + 45°C ET + 20°C , LE COP DOUBLE**

- ○ Le temps d'amortissement peut être inférieur à 2 ans
- **Remarques**
- ○ Le système peut être non intrusif et dédié à la seule HP flottante
- ○ Le système intègre souvent la régulation des compresseurs
- ○ Il est plus systématiquement installé dans du neuf
- ○ Il est toujours compris dans les systèmes avancés de contrôle/commande



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

2. BP Flottante

- O La remontée de la température d'évaporation, réduit le taux de compression et améliorer le COP
- o 1°C d'augmentation de l'évaporation permet :
2.5 à 4% de gain de consommation
- o Doit prendre en compte les postes les plus sensibles sur un système centralisé
- o Nécessite des remontées d'informations depuis les postes de froid
- o L'amplitude de variation de température est limité (2 à 4°C max.) sauf certaines applications
- O Une BP stabilisée permet moins de démarrages compresseurs donc moins de Dp entre enclenchement et déclenchement.



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

3. Variation de vitesse

- ○ Pour de nombreuses machines, la variation de vitesse par variation de fréquence permet d'améliorer les performances à charge thermique partielle, ce qui est le cas de toutes les installations
- ○ Le gain énergétique varie de 10 à 25%. (D. Clodic annonce 10 à 18% dans RGF oct 2007 et CEREN * (25%))
- ○ Dans le cas de machines à vis, avec tiroir interne de régulation, le COP à charge partielle est divisé par 2 à 4 selon le taux de compression. Dans ce cas, l'installation d'au moins une machine avec variation de vitesse s'impose.
- ○ De plus le variateur de vitesse sert de démarrage progressif (intensité de démarrage réduite)
- ○ Les régimes transitoires et vibratoires sont éliminés au maximum
- ○ D'après une étude du CEREN, 60% des pompes et ventilateurs nouveaux sont équipés de variateur de vitesse, alors que cela est marginal pour les compresseurs hors clim. domestique
- * CEREN Centre d'Etudes et de recherches d'Economies sur l'Energie



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

- **3. Variation de vitesse**
- **La variation de vitesse sur les compresseurs et au minimum sur le compresseur de base est une nécessité, elle apporte :**
- **a) Une stabilité de la basse pression qui diminue la plage de régulation, souvent excessive donc a aussi un impact sur la puissance absorbée du système**
- **b) La suppression des séquences de marche /arrêt et les régimes transitoires fréquents.**
- **c) Une réduction importante de la consommation électrique directe liée aux démarrages fréquents , mais aussi indirecte : maîtrise du givrage.**
- **d) Une meilleure performance de l'ensemble moto- compresseur avec un cos phi élevé, donc une réduction de l'énergie réactive.**
- **e) Une puissance supplémentaire d'au moins 20% sur compresseur, ce qui réduit le nombre de démarrages des autres compresseurs.**



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

5. Compresseurs performants

- ○ Dans les compresseurs standards semi-hermétiques ou ouverts, des écarts de performances existent y compris pour un même constructeur
- ○ Les compresseurs à refroidissement externe permettent des gains de q.qs. % par rapport au refroidissement par les gaz aspirés
- ○ Des compresseurs à paliers magnétiques (rotatifs), supprimant les frictions et l'huile , associés à un variateur de vitesse conduisent à des performances très élevées et en particulier à charge partielle.
- ○ Développement de petits compresseurs secs sans huile.



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

6. Moteurs performants

- o En plus des moteurs EC pour les ventilateurs, l'utilisation de moteurs à haute performance pour pompes et surtout compresseurs est souhaitable
- o Pour les petits moteurs 2 et 4 pôles, de 1.1 à 11 kW le gain va de 70% à 25%
- o Le gain est de 20% à 10 % environ pour les moteurs de 15 à 90kW
- o voir site www.motor.challenge.fr organisé par Europe et relayé par l'ADEME.



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

8. Groupes de refroidissement performants

- Les compresseurs performants vus en 5 et les moteurs performants vus en 6 sont nécessaires mais pas suffisants;
- il faut simultanément :
 - o Des échangeurs adaptés et si besoin surdimensionnés
 - o Une prise en compte de la plage d'utilisation et surtout du fonctionnement à charge partielle .
 - o Des systèmes de détente flexibles selon la charge thermique et les conditions de température extérieure.
 - o Une régulation prenant en compte les performances à charge partielle, les variations de HP et du point de consigne BP et assurant un diagnostic minimum



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

17 choix du « bon fluide » et du « bon système »

- A la conception, mais aussi lors des rétro fit, l'application des fluides n'est pas universelle.
- Les compresseurs pistons et vis ne sont pas également performants selon :
 - Le fluide, les températures de condensation et d'évaporation, la régulation,...
- Pour une même applications, plusieurs « simulations » sont nécessaires pour aboutir au meilleur compromis (voir exemples sur logiciels compressoristes)
- Evaluer dans certains cas le système à deux étages ou booster
- Étudier l'intérêt d'une cascade CO₂* surtout par rapport à un système en détente directe HFC R404A en basse température (l'effet de serre direct est réduit de 75%)
- [DESP !](#)



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

17 choix du « bon fluide » et du « bon système »

- Évaluer l'intérêt du R410A au lieu du R404A :
- La charge de frigorigène est réduite de 40% environ et le GWP est pratiquement de la moitié.
- Les performances énergétiques sont améliorées de 10% environ
- Ne convient pas pour un rétro fit à cause de pressions plus élevées : 24 bars à 40°C (à 40°C le R 404 A = 18 bars, le R 134 a = 10 bars)
- Voir les limites de température de refoulement,
- POINTS critiques : R 410 A : + 72°C/47.7bar- R 404A : +72°C/37.3 bar- R 134a : +101°C/40.6 bar- R 744 (CO₂) : +31°C/74 bar.



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir



Version 4.2

comp.3pdf

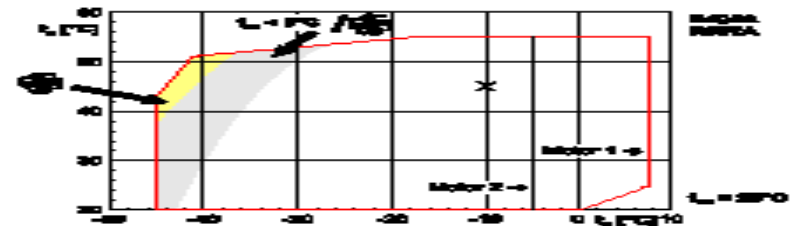
27/04/2010 / All data subject to change.

Compressor Selection: Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Input Values

Cooling capacity	16kW
Refrigerant	R404A
Reference temperature	Dew point temp.
Evaporating SST	-10°C
Condensing SDT	45°C
Liquid subcooling	0K
Suction gas temperature	20°C
Power supply	400V-3-50Hz
Useful superheat	100%
Capacity regulation	100%

Application Limits (100%)



Output

Compressor model	4CC-6.2Y-40S	4VCS-6.2Y-40P
Cooling capacity	15.83 kW	16.82 kW
Cooling capacity *	15.83 kW	16.82 kW
Evaporator capacity	15.83 kW	16.82 kW
Power input	7.58 kW	7.75 kW
Current (400V)	13.78 A	12.57 A
Voltage range	380-420V	380-420V
Condensing cap. (with HR)	23.0 kW	24.2 kW
COP/EER	2.09	2.17
COP/EER *	2.09	2.17
Mass flow	474 kg/h	504 kg/h
Operating mode	Standard	Standard

*according to EN12900 (20°C suction gas temp., 0K liquid subcooling)



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir



Version 4.2

comp.4pdf

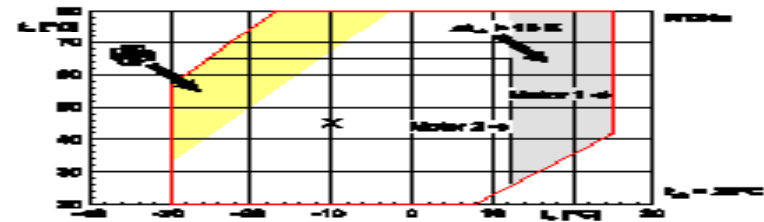
27/04/2010 / All data subject to change.

Compressor Selection: Semi-hermetic Reciprocating Compressors

Input Values

Cooling capacity	16kW
Refrigerant	R134a
Reference temperature	Dew point temp.
Evaporating SST	-10°C
Condensing SDT	45°C
Liquid subcooling	0K
Suction gas temperature	20°C
Power supply	400V-3-50Hz
Useful superheat	100%
Capacity regulation	100%

Application Limits (100%)



Output

Compressor model	4PCS-10.2Y-40P	4NCS-12.2Y-40P
Cooling capacity	14.13 kW	16.35 kW
Cooling capacity *	14.13 kW	16.35 kW
Evaporator capacity	14.13 kW	16.35 kW
Power input	5.93 kW	6.88 kW
Current (400V)	10.93 A	13.28 A
Voltage range	380-420V	380-420V
Condensing cap. (with HR)	19.76 kW	22.9 kW
COP/EER	2.38	2.38
COP/EER *	2.38	2.38
Mass flow	331 kg/h	383 kg/h
Operating mode	Standard	Standard

*from 4J-13.2(Y) to 6F-50.2(Y) and respective Tandems: accord. to ISO-DIS 9309/DIN 8928 (25°C suction gas temp., 0K liquid subcooling)
 all other compressors: accord. to EN12900 (20°C suction gas temp., 0K liquid subcooling)



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

Copeland
EazyLoof

50Hz

OLQ-24V-NLO-TWD

R404A

Température des gaz aspirés 20,0°C

Température d'évaporation °C

AMB °C	P. Frigo. kW											
	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	
27	5,84	7,32	8,93	10,70	12,60	14,70	16,90	19,30	21,80	24,50	25,60	
32	5,73	7,21	8,79	10,50	12,30	14,30	16,35	18,60	20,90	23,30	24,30	
38		7,06	8,58	10,20	11,90	13,70	15,60	17,60				
43												
46												
49												
	Total P. Absorbée kW											
	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	
27	4,85	5,18	5,53	5,90	6,29	6,73	7,22	7,77	8,41	9,14	9,47	
32	5,25	5,62	6,00	6,42	6,87	7,36	7,92	8,55	9,27	10,10	10,50	
38		6,21	6,67	7,17	7,70	8,30	8,96	9,71				
43												
46												
49												
	Compresseur Intensité 400V, A											
	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	
27	8,62	8,89	9,21	9,60	10,05	10,56	11,15	11,83	12,61	13,50	13,90	
32	9,07	9,37	9,73	10,17	10,68	11,28	11,97	12,76	13,66	14,71	15,17	
38		10,13	10,57	11,10	11,72	12,45	13,28	14,23				
43												
46												
49												
	Débit masse g/s											
	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	
27	27,60	35,80	45,30	56,30	69,10	84,00	101,00	119,50	140,00	161,00	170,00	
32	27,50	35,80	45,40	56,40	69,00	83,50	99,50	117,00	136,00	155,00	163,00	
38		35,80	45,40	56,20	68,40	82,00	97,00	113,00				
43												
46												
49												

EER (brut)

2.06



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir



50Hz

MC-V6-ZB114KE-TFD

R134a

Surchauffe aspiration 10,0K

Température d'évaporation °C

AMB °C	P. Frigo. kW									
	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10	12,5	15
27	10,10	13,15	16,60	20,50	24,90	29,80	31,90	35,20	38,00	41,00
32	9,30	12,20	15,55	19,30	23,50	28,20	30,20	33,30	36,10	38,90
38		11,05	14,20	17,75	21,70	26,10	28,00	31,00	33,60	36,30
43		9,98	13,00	16,40	20,20	24,30	26,10	28,90	31,40	33,90
46			12,25	15,50	19,15	23,20	24,90	27,70	30,00	32,50
49			11,45	14,60	18,15	22,10	23,70	26,30	28,60	31,00
	Total P. Absorbée kW									
	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10	12,5	15
27	6,50	6,70	6,95	7,25	7,61	8,02	8,21	8,51	8,78	9,07
32	7,13	7,35	7,61	7,92	8,28	8,71	8,90	9,21	9,49	9,79
38		8,25	8,52	8,84	9,21	9,66	9,86	10,20	10,45	10,80
43		9,11	9,39	9,72	10,10	10,55	10,75	11,10	11,40	11,70
46			9,97	10,30	10,70	11,15	11,35	11,70	12,00	12,35
49			10,60	10,95	11,35	11,80	12,00	12,35	12,65	13,00
	Compresseur Intensité 400V. A									
	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10	12,5	15
27	15,97	15,94	16,07	16,32	16,68	17,12	17,31	17,60	17,86	18,11
32	16,48	16,49	16,65	16,95	17,35	17,82	18,03	18,35	18,63	18,91
38		17,31	17,52	17,87	18,32	18,85	19,08	19,44	19,74	20,05
43		18,17	18,42	18,80	19,30	19,88	20,13	20,51	20,84	21,18
46			19,04	19,45	19,97	20,58	20,84	21,24	21,59	21,94
49			19,72	20,16	20,71	21,34	21,61	22,03	22,39	22,76
	Débit masse g/s									
	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10	12,5	15
27	68,70	88,50	110,50	136,00	165,00	198,00	212,00	234,00	254,00	275,00
32	66,40	86,50	109,00	134,50	164,00	196,00	210,00	233,00	252,00	273,00
38		83,50	105,00	132,00	161,00	194,00	208,00	230,00	250,00	271,00
43		80,00	103,00	129,00	158,00	191,00	205,00	227,00	247,00	268,00
46			100,50	126,50	156,00	188,00	202,00	225,00	245,00	265,00
49			98,00	124,00	153,00	186,00	200,00	222,00	242,00	263,00

Données préliminaires

EER (brut)

2.04



Situation mondiale / europe

la performance énergétique : un défi d'avenir

Sustainable Refrigeration and Heat Pump Technology

and to the

2nd IIR Workshop on Refrigerant Charge Reduction IN Refrigerating Systems

to be held in Stockholm, June 13 – 18, 2010.

It is high time to register for the conference!

Make sure you are not missing this occasion to participate in a guaranteed lively and rewarding event at the time of the year when Stockholm is the most beautiful!

Please note that there is a Royal wedding in Stockholm on June 19. For this reason there may be a shortage of hotel rooms in the city at this time. Please make sure that you make your reservations in time!

Organized by:

KTH, The Royal Institute of Technology, Stockholm

Sponsored by:

Eurotherm

International Institute of Refrigeration

Program:

The full provisional program is now available at www.sustainablerefrigeration.org

Venue:

The conference will be held at KTH, the Royal Institute of Technology, Stockholm, www.kth.se



Situation mondiale / europe

la performance énergétique : un défi d'avenir

- **Conference topics:**
- Natural refrigerants
- Low GWP synthetic refrigerants
- The refrigerants of tomorrow?
- Refrigeration and climate change
- Indirect systems
- Secondary refrigerants
- Low-charge systems
- Compact heat exchangers
- New heat exchanger designs
- Alternative or novel cycles and systems
- Breakthroughs in energy efficiency



Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

- L'absence de compteurs électriques divisionnaires, de centrale de mesure, d'enregistreurs de séquences :
est considérée comme la principale difficulté de départ d'un audit énergétique.

Cette remarque est applicable à la plupart des systèmes existants.

Mais impossible n'est pas Français !

Merci pour votre énergique attention

Sources et biblio. en diapo. suivante. (p. 30)



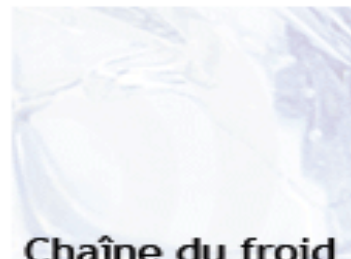
Situation en France

la performance énergétique : un défi d'avenir

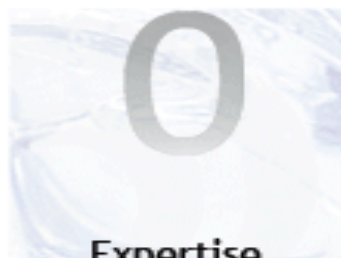
- **ADEME** : www.ademe.fr
- **A.F.C.E.** : www.afce.asso.fr
- **A.F.Consulting** : paul.rivet@free.fr
- **A.F.F./ R.G.F.** : www.aff.asso.fr revues N° :
– 1073/82/83/92/94/97/99/1102.
- **A.S.F.** : www.asf-froid.ch (04/2010)
- **I.I.F.** : www.iifiir.org (bulletins numériques)
- **OXFORD INSTITUTE** : www.ior.org.uk guide for energy efficiency in refrigeration 280/2000
- **PERIFEM / ADEME** : www.perifem.asso.fr études énergétiques 2007/2008
- **R.P.F.** : www.pyc.fr revues N° :
– 950/51/64/65/69/70/72/73/80/81/83.
- **RIGOT / Simonnet (Kryotec)** : logiciel de simulation fluide : Logic 134a « énergie ».



2010



2009



2008

2007



2006

2005

2004



2003

2002

2001

2000

