

LA DISPARITION DU HCFC-22

ET LA RECHERCHE DU RÉFRIGÉRANT IDÉAL.

UNE OCCASION À SAISIR POUR L'INDUSTRIE DE LA RÉFRIGÉRATION

L'élément déclencheur qui a motivé la préparation de cet article est que l'industrie de la réfrigération attend le réfrigérant miracle qui va remplacer le R-22.

De par ce fait, la Direction des immeubles de la ville de Montréal est dans un processus de recherche du réfrigérant optimal. Il en ressort que l'ammoniac, le CO₂, les hydrocarbures et les réfrigérants-mélanges de la série 400 sont à considérer pour la réfrigération en général et dans les arénas au cours des prochaines années. Aucun d'entre eux n'est idéal. Ceux de la série 400 ont une contribution importante à l'effet de serre et il est impossible de les utiliser dans les systèmes de type noyé.

Le parc immobilier de la Ville comprend 54 glaces, ce qui correspond au ratio 54/435, soit 12 % des glaces au Québec. Si on considère le ratio municipal, c'est 54/(435*.8), soit 15.5 % des glaces municipales. Le Protocole de Montréal prévoit qu'il y aura élimination graduelle du réfrigérant HCFC-22 à partir de 2004 et qu'il ne s'en fabriquera plus après 2020.

Dans cet article, nous traiterons des points suivants :

1. Les problèmes d'approvisionnement, de la réglementation, de l'index international utilisé pour comparer les systèmes de réfrigération.
2. L'origine des réfrigérants disponibles sur le marché et pourquoi l'industrie chimique est incapable de produire le réfrigérant miracle.
3. La proposition d'un plan d'action pour saisir l'occasion qui s'offre à nous, soit de contrôler et diminuer les fuites de HCFC-22, remplacer des systèmes frigorifiques en entier et préparer le terrain pour la période qui suivra le HCFC-22.

Problématique

Le Protocole de Montréal, qui est un document des Nations Unies, vise à protéger la couche d'ozone. Il oblige les États signataires à mettre en place les lois et règlements qui sont requis pour contrôler l'usage des substances comme le réfrigérant HCFC-22. Il incombe aux gouvernements fédéral et provinciaux de contrôler les **Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone** au Canada (SACO).

Le R-22 devra éventuellement être remplacé et son remplacement (qui serait autre qu'un mélange) n'est pas encore connu, si ce n'est l'ammoniac (R-717). Les réfrigérants de remplacement proposés (mélanges) causent des problèmes concernant l'effet de serre, en plus de se fractionner et de perdre les propriétés physiques essentielles lorsqu'ils sont utilisés dans un système de type noyé ou lorsqu'il y a une fuite dans le système frigorifique. La fraction la plus volatile du mélange réfrigérant se sépare de la fraction la plus lourde ; en conséquence, le réfrigérant ne fonctionne plus et doit être remplacé. Un document de DuPont ⁽¹⁾ nous informe sur les réfrigérants que propose l'industrie chimique pour remplacer le R-22 qui ne sera plus disponible après 2020.

Le réfrigérant de remplacement idéal pour le R-22, qui serait non toxique, non inflammable et qui n'affecterait pas la couche d'ozone et ne contribuerait pas à l'effet de serre, n'existe pas, *sauf si un miracle survient*. Voir la figure 1 pour la liste des propriétés d'un réfrigérant.

L'analyse moléculaire faite en 1987, par McLinden & Didion pour ASHRAE ⁽²⁾, nous informe sur les compromis qui nous sont imposés. De plus, la lecture des périodiques et des rapports techniques qui sont disponibles sur Internet et ailleurs me porte à croire que nous serons très probablement forcés d'envisager l'utilisation de l'ammoniac (R-717) lorsque le R-22 ne sera plus disponible.

Le R-717 est une substance qui n'affecte ni l'ozone, ni l'effet de serre, voir la figure 2. Étant donné la situation décrite ci-haut, nous allons devoir nous préparer à faire usage de l'ammoniac dans le futur. Le but premier est de remplacer les équipements vétustes et d'assurer une pérennité des équipements tout en protégeant l'environnement. De plus, nous voulons maximiser l'efficacité énergétique des nouveaux équipements et minimiser les investissements.

Figure 1
Propriétés d'un réfrigérant ⁽²⁾

Chimique

Stable et inerte

Santé, Sécurité et Environnement

Non toxique

Non inflammable

Ne dégrade pas l'atmosphère, l'ozone et l'effet de serre

Thermique (Thermodynamique et transport)

Température du point critique et point d'ébullition,

soit une température appropriée pour l'application

Basse capacité de la vapeur pour transporter la chaleur

Faible viscosité

Bon coefficient de conductivité

Divers

Bonne solubilité de l'huile

Que la vapeur soit un bon diélectrique

Bas point de congélation

Le contenant doit être économique et pratique

Facile de tester pour les fuites

Faible coût

→ Les réticences politiques et humaines à l'utilisation du réfrigérant ammoniac en milieu urbain sont nombreuses. La croyance populaire veut que s'il y a un accident et qu'une fuite importante de réfrigérant ammoniac (R-717) se développe sur un système frigorifique, qui en contient une charge substantielle, il faudra évacuer le voisinage de l'aréna. Nous proposons donc un système qui sera efficace, proactif et qui minimisera les risques pour le public qui habite le voisinage de nos arénas ainsi que pour nos employés qui ont à intervenir sur lesdits systèmes.

Nous avons discuté de l'approvisionnement des réfrigérants avec deux représentants d'Environnement Canada. Les deux intervenants confirment: Environnement Canada a fait un inventaire des utilisateurs des réfrigérants, mais les résultats de l'étude n'ont pas été publiés. Nous apprenons de fait que la réfrigération utilise 1/3 ou 1/4 de la masse totale du HCFC-22 qui se vend au Canada chaque année, tandis que les mousses isolantes, les solvants et les aérosols en accaparent les 2/3 ou 3/4. L'intention du législateur, en vertu de la loi sur l'environnement, est de restreindre l'approvisionnement global de HCFC-22 au Canada à partir de 2004, de privilégier l'approvisionnement de la réfrigération et de restreindre les autres utilisateurs qui devront se trouver rapidement des substances de remplacement. C'est ce qui motive notre optimisme face à la situation et, conséquemment, nous prévoyons pouvoir acheter du R-22 sur le marché jusqu'en 2015-2020. Il est prévu que l'approvisionnement sera beaucoup plus difficile après 2015 et sera interdit après 2020. Par contre, les systèmes qui seront en bon état et ne perdront pas de réfrigérant pourront être rechargés et continuer d'opérer jusqu'en 2030; c'est l'intention du législateur qui nous est exprimée par le porte-parole d'Environnement Québec. Nous ignorons combien le réfrigérant se vendra le kg dans 10 à 15 ans.

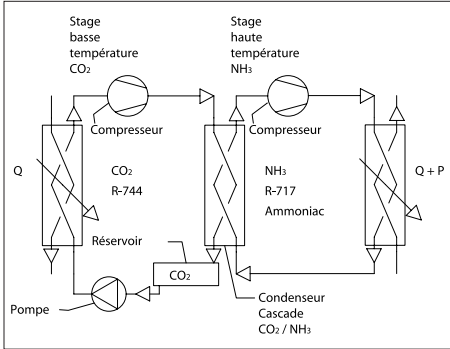
Au début du siècle précédent, il y avait d'autres réfrigérants en usage, ils ont été délaissés au profit des CFC et HCFC. Certains d'entre eux sont l'objet d'un regain de popularité.

Le R-744 (CO₂) est maintenant utilisé comme caloporteur et parfois comme réfrigérant dans la partie basse température des systèmes de réfrigération en cascade, voir la figure 1.1. La partie haute température des systèmes en cascade utilise l'ammoniac ou un halocarbure ou un hydrocarbure comme réfrigérant pour condenser ou refroidir le CO₂. Le CO₂ (R-744) a fait l'objet d'un test réalisé par Nesléd⁽³⁾ en Grande-Bretagne, là où un système de réfrigération industriel au R-22 a été remplacé

par un nouveau système qui fonctionne avec les réfrigérants R-717 et R-744. Le document mentionne qu'il est dorénavant plus facile de se procurer les composantes, robinets, etc., qui sont requis pour contenir la pression du CO₂ (1070 psig).

Figure 1.1
Système de réfrigération en cascade⁽⁴⁾

R-744 = CO₂
R-717 = Ammoniac



Les hydrocarbures, sont une famille de réfrigérants. On y retrouve les Propane (R-290), Butane (R-600), Isobutane (R-600a). L'AIH⁽⁵⁾ nous propose une réflexion sur la sécurité des hydrocarbures lors de l'usage. "Part 4: Hydrocarbons Refrigerants,... Are Hydrocarbons safe to use?... The most important concern regarding the adoption of hydrocarbons as refrigerant is their flammability. It should be remembered that millions of tonnes of hydrocarbons are used safely every year

Figure 2
Liste des réfrigérants, SACO, GES

Type de réfrigérant	Composition (Formule)	ODP R11=1.0	GWP CO ₂ =1.0
HCFC-22	CHClF ₂	0.05	1700
HFC-134a	CF ₃ CH ₂ F	0	1300
HFC-407C	R32/125/134a	0	1610
HFC-417A (ISCEON 59)	R125/134a/600	0	1950
HFC-410A	R32/125	0	1890
R-717 (Ammoniac)	NH ₃	0	0
HFC-404A	R143a/125/134a	0	3260
R-290 (Propane)	CH ₃ CH ₂ CH ₃	0	3
R-600 (Butane)	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	0	3
R-600a (Isobutane)	CH(CH ₃) ₃	0	3
R-744	CO ₂	0	1

Voir Bitzer⁽⁶⁾, page 28
Ozone Depletion Potential (ODP), gaz qui affecte la couche d'ozone (SACO)
Global Warming Potential (GWP), gaz qui contribue à l'effet de serre (GES)

throughout the world for cooking, heating, powering vehicles and as aerosol propellants. In these industries, procedures and standards have been developed and adopted to ensure the safe use of the product. It is essential that the same approach is followed by the refrigeration industry. Hydrocarbons do not spontaneously combust on contact with air. Three elements need to coincide:... A release of hydrocarbons. A mixture of hydrocarbon and air with the correct proportion, 2 à 10%. An ignition source with enough power."

Réglementation qui va éventuellement s'appliquer au Québec

Dans le texte du projet de règlement⁽⁷⁾ publié dans la Gazette Officielle du Québec en septembre 2002, nous retrouvons les articles suivants:

Art. 2. Le présent règlement a pour objet d'assurer la protection de la couche d'ozone stratosphérique contre l'appauvrissement causé par les émissions dans l'atmosphère des halocarbures utilisés, notamment dans les systèmes de climatisation ou de réfrigération. Il a également pour objet de minimiser l'accroissement de l'effet de serre lié aux émissions de certains halocarbures de substitution et qui est à la source de changements climatiques d'origine anthropique.

Art. 20. Nul ne peut, à compter du 1^{er} janvier 2020, fabriquer, vendre, distribuer ou installer un appareil de réfrigération ou de climatisation conçu pour fonctionner avec HCFC.

Note : Ici HCFC signifie HCFC-22.

Index international pour comparer les systèmes de réfrigération

Selon BITZER⁽⁶⁾ Page 3 @6.....TEWI =
TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT

TEWI = Fuites + Fuites récupérées Potentiel global de réchauffement direct	+ Consommation d'énergie Potentiel global de réchauffement indirect
GWP = GLOBAL WARMING POTENTIAL (voir la figure 2)	
ODP = OZONE DEPLETION POTENTIAL	

La communauté internationale a proposé un système d'index (TEWI) qui permet de comparer les différents systèmes de réfrigération. Un système de réfrigération et son réfrigérant peuvent ne pas contribuer directement à l'effet de serre, mais être très inefficaces dans l'utilisation de l'énergie, ce qui peut rendre le système indésirable et même le déclasser sur l'échelle qui combine les deux facteurs. Une étude d'Environnement Canada⁽⁶⁾ reprend le même concept en page 3, art 1.5, du texte dudit rapport.

Une partie importante de la contribution d'un système de réfrigération à l'effet de serre est de nature indirecte, soit le CO₂ qui est généré par le procédé de génération de l'énergie électrique utilisé par le système de réfrigération pendant sa vie utile (0,6 kg de CO₂ par kWh d'énergie électrique).

Certains intervenants affirment que les kWh produits au Québec sont d'origine hydraulique et que cela ne contribue pas à l'effet de serre, c'est une affirmation qui ne tient pas la route. Les kWh qui sont générés au Québec pourront être économisés et exportés aux États-Unis, ce qui va prévenir la génération de kWh par les centrales thermiques qui brûlent du combustible fossile et ainsi contribuer à réduire l'effet de serre global. Comme les émissions de CO₂ indirectes sont très importantes par rapport au total des émissions, il sera nécessaire d'insister pour que l'on utilise des compresseurs, des réfrigérants, des échangeurs et des procédés efficaces, le tout assemblé dans un système frigorifique qui sera le plus performant et le plus étanche possible. L'ARAP⁽⁹⁾ propose des solutions qui sont équilibrées et incorporent les principes suivants :

- Utiliser des systèmes qui sont de construction étanche et qui sont fréquemment vérifiés pour détecter les fuites et les réparer, ce qui élimine l'émission directe de réfrigérants.
- Récupérer, recycler et purifier tous les réfrigérants.
- Former tout le personnel qui est impliqué dans la manutention du réfrigérant.
- Observer tous les standards et la réglementation qui régissent la construction et l'entretien des appareils frigorifiques et salles de mécanique.
- Sélectionner les équipements juste assez puissants pour le besoin de façon à minimiser

la charge de réfrigérant; concevoir des systèmes efficaces, les installer et les opérer de façon à optimiser l'efficacité énergétique. Nous croyons que 56-60 Ton/glace est la puissance optimale requise; c'est ce qui ressort de notre étude sur le temps de fonctionnement des compresseurs qui a fait l'objet d'une publication dans le périodique *La Maîtrise de l'énergie*.

L'origine des réfrigérants disponibles sur le marché

L'analyse moléculaire faite en 1987, par McLinden & Didion pour ASHRAE⁽²⁾, nous informe sur les compromis qui nous sont imposés. L'étude a considéré 860 fluides industriels et devait choisir ceux qui peuvent servir à transporter la chaleur par changement de phase. Les critères de sélection du filtre sont:

1. température de congélation < 40 °F
2. température critique > 122 °F

3. pression de vapeur @ 176 °F < 735psia
4. chaleur latente x densité de vapeur > 27.8 Btu/pi³.

Les critères 1 et 2 filtrent les fluides qui ne peuvent exister dans les deux phases dans la région de température qui nous intéresse. Le critère 3 filtre les fluides qui requièrent des vaisseaux qui doivent résister à de trop hautes pressions. Le critère 4 est une mesure de la capacité du réfrigérant dans un système de réfrigération.

La figure 3 est une portion du tableau périodique des éléments de Dmitriy Mendeleev 1834-1907 et elle se divise en zones.

- Les éléments de la zone verticale à droite n'ont pas de chimie.
- Les éléments de la zone à gauche et dans le bas de la figure sont des métaux qui ne peuvent former des molécules volatiles.
- Dans le bas et dans le milieu de la figure, une zone donne des molécules qui sont instables et toxiques.
- La seule zone qui offre des éléments qui se combinent pour donner des molécules volatiles inclut 8 éléments qui sont: H, C, N, O, F, S, Cl, Br. Lorsque l'on considère le critère environnement, il faut éliminer le brome Br de la liste des éléments car la molécule qui en contient fait plus de dommages à la couche d'ozone que celle qui contient du chlore Cl.

Figure 3

Portion du tableau périodique des éléments, Midgley* en 1928⁽²⁾

Nombre de trous (vacances) dans la couche extérieure de l'atome

Couche	32	8	7	6	5	4	3	2	1	0
I									1 H	2 He
IIa			3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
IIb			11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
IIIa			29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
IIIb			47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
IVa			79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
	Métaux, non volatiles ↑			Instable et toxique ↑			Pas de chimie ↑			

Éléments qui peuvent former une molécule de réfrigérant

Une portion du tableau périodique des éléments, classée par Midgley selon le nombre des vacances dans la plus éloignée des couches d'électrons qui entourent l'atome⁽²⁾

* Qui est Thomas Midgley Jr 1889-1944? Il a obtenu un doctorat en génie mécanique de l'université Cornell et a fait carrière en chimie. Pendant sa carrière, Midgley est devenu titulaire de 117 brevets; il a inventé entre autres la gazoline au plomb en 1916 et les CFC en 1928.

TABLE 3. (continued)

Texts: _____

Toxicité d'un réfrigérant de la série H4thène

Table 1. Demographic characteristics of study population

se résigner à investir dans la brique et le béton, pour agrandir les bâtiments et aménager de nouvelles salles de réfrigération plus spacieuses. Mettre suffisamment d'espaces entre les compresseurs va permettre d'éviter la surveillance des MMF dans beaucoup de cas.

- Lors de la transformation à l'ammoniac, il y aura installation d'un gicleur déluge dans le plafond de la salle de réfrigération. Le but du gicleur sera de pouvoir arroser l'appareil frigorifique avec de l'eau et mettre l'ammoniac en solution dans l'eau. En cas de fuite majeure, le gicleur devra être opéré manuellement par le pompier ou par l'intervenant. La mesure vise à permettre un accès sécuritaire et rapide dans la salle de réfrigération pour colmater la fuite et éviter d'évacuer/ventiler de grandes quantités d'ammoniac dans le voisinage. Les fuites mineures seront étanchées sans que l'on ait besoin de saturer l'appareil frigorifique d'eau.

Figure 10

Description sommaire d'un système de réfrigération efficace

Système monobloc construit en atelier d'une capacité nominale de conception se situant entre 56 et 60 tonnes de réfrigération et comportant les principaux équipements suivants :

- 3 compresseurs ouverts de type réciproque pouvant opérer au R-22 ou au R-717. Ces compresseurs seront sélectionnés selon la répartition de 2/3, 1/3 et 1/3 de la capacité totale afin d'éliminer l'usage de dispositifs de délestage et permettre une sécurité d'opération en cas de défaillance de l'un des compresseurs.
- Un échangeur à plaques (évaporateur réfrigérant/saumure) construit en titane de type noyé avec réservoir horizontal de séparation « surge drum ». L'échangeur sera sélectionné à 5 °F de température d'approche. L'évaporateur sera conçu pour une température de saumure sortant de l'évaporateur à 15 °F. La saumure devra être une solution aqueuse de CaCl_2 ayant un poids spécifique entre 1.18 et 1.19 à 60 °F.
- Un réservoir de liquide pouvant contenir toute la charge de réfrigérant du système incluant celle du condenseur et de la tuyauterie.
- Un récupérateur de chaleur (condenseur réfrigérant/eau) avec tubes internes à double paroi, fabriqué d'acier inoxydable afin de pouvoir opérer indifféremment au R-22 puis au R-717 et un gros réservoir d'eau chaude.
- Une tuyauterie complètement fabriquée en acier et munie de soupapes, régulateurs et accessoires de calibre industriel.
- Des blocs à bornes aux endroits stratégiques pour les branchements de puissance et de contrôle ainsi que toutes les sondes de température et de pression requise qui seront reliées à distance à un automate programmable relié à la télégestion.

- Les équipements, excepté l'armoire de contrôle, seront montés sur une base rigide permettant la livraison sur le site par camion et seront disposés afin de faciliter leur surveillance et leur entretien.
- Le condenseur évaporatif sera sélectionné pour une température ambiante humide de 76 °Fwb et pour une température de condensation de 85 °F. Le serpentin condenseur sera équipé de tubes en acier. La pompe et le réservoir d'eau afférent seront logés dans la salle de mécanique.
- Le réseau de saumure sera conçu à 4 passes, la pompe 450 usgpm 15 hp.

Conclusion

- Il y aura disponibilité de R-22 nouveau jusqu'en 2020, possibilité d'utiliser le R-22 recyclé jusqu'en 2030 et plus.
- Il n'y aura pas de découverte d'un nouveau réfrigérant; nous allons être obligés d'utiliser l'ammoniac, le CO_2 , et les hydrocarbures dans les systèmes frigorifiques, car la chimie organique a heurté un mur infranchissable (tableau périodique de Mendeleef ou de Midgley).
- L'indice TEWI nous permet d'apprécier la contribution globale du système de réfrigération à l'effet de serre. La consommation d'énergie par le système frigorifique est déterminante.
- Le contrôle des fuites de R-22 sur l'équipement existant assurera une partie importante de l'approvisionnement dans une période de rareté grandissante.
- Le remplacement des systèmes frigorifiques entiers qui utiliseront l'ammoniac permettra de récupérer et recycler la charge de R-22 pour approvisionner les systèmes qui n'ont pas encore été transformés.
- Remplacer des systèmes entiers, dont la construction est en acier, qui sont étanches et qui font usage de grandes surfaces d'échange.
- Construire des systèmes efficaces avant tout, qui ont un seul circuit de réfrigérant et utilisent plusieurs compresseurs.
- La récupération de chaleur ne doit pas se faire à tout prix, le stockage de chaleur devrait se faire dans un réservoir d'eau, et ce, sans pénaliser l'efficacité énergétique du cycle frigorifique.
- Exiger des systèmes frigorifiques transformables à peu de frais qui peuvent fonctionner avec le R-22 et le R-717, construits dans des salles de mécanique de classe T, qui assurent la sécurité des voisins et des intervenants dans l'aréna.
- Que l'on utilise le R-22 ou le R-717, la salle de réfrigération devra être munie de détecteurs de réfrigérant dans l'air, détecteurs qui contrôleront le fonctionnement du système de ventilation.

- Nous proposons que les salles de mécanique soient séparées en trois parties, soit la salle de réfrigération classe T, la salle de contrôle et la salle de mécanique autre.
- Faire modifier la réglementation MMF, car la situation actuelle est intenable pour les utilisateurs de R-717. La réglementation influence le design au détriment de l'efficacité et du rationnel. De plus, il y aura incessamment une occasion d'influencer les gouvernements à la suite de la ratification du protocole de Kyoto, car les politiciens, qui ont fait des promesses, auront grand besoin de notre aide pour les réaliser. ■

Références

1. DuPont, *General Replacement Guide: CFC to an HCFC; CFC or HCFC to an HFC* <http://www.dupont.com>
2. McLinden, D' Mark O., and D' David A. Didion, P.E., *CFCs Is the sky falling, Quest for alternatives, A molecular approach demonstrates tradeoffs and limitations are inevitable in seeking refrigerants*, ASHRAE Journal December 1987, p32-42
3. IAR, *Technical Papers, Ammonia refrigeration: Preserving the Harvest*. March 17-20, 2002. Technical Paper #1... Page, CO_2/NH_3 Refrigeration Replaces R-22 in Large Freeze-Drying Plant, <http://www.iar.org>
4. Taylor Charles R, *Carbon Dioxide-Based Refrigerant Systems*, ASHRAE Journal September 2002, p22-27
5. AIRAH, *Air Conditioning and Refrigeration Industry Refrigerant Selection Guide*, Sixth Edition June 1998, <http://www.airah.org.au>
6. Bitzer International, *REFRIGERANT Report 10th Edition*, A-501-10, Document PDF, 31 pages. <http://www.bitzer.de>
7. Gouvernement du Québec, *Projet de règlement modifiant le Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone, (Règlement sur les halocarbures)*, Octobre 2000.
8. Environment Canada, Commercial Chemicals Branch, *Analysis of alternative technology options in the commercial and automotive sectors*. Final report, December 2000. <http://www.ttc.nrc.ca/>
9. The Alliance for Responsible Atmospheric Policy, *Fluorocarbons: Balanced Solution for Society, Commercial Refrigeration... A Working Example... HFC---The Balanced Solution*, <http://www.arap.org>
10. Dumas Claude, Document de travail: Remplacement du Système Frigorifique dans les Arénas, Modifications des Salles de Mécanique et Conservation du Réfrigérant (R-22), 52 pages. Index B-7617.00, 11 Janvier 2002.

(*) Claude Dumas, ing. est membre ASHRAE et de l'AQME, chargé de projets en énergie pour la Ville de Montréal, Service des ressources matérielles et informatiques, Direction des immeubles, Gestion de l'énergie et du génie climatique