

> Un siècle de conditionnement d'air

par Christian Feldmann*

2008
ANNÉE DU
FROID
Conférence AFF-IF

Retour sur l'arrivée du conditionnement d'air, d'abord aux Etats-Unis puis en Europe, et panorama des techniques employées.

Les origines

Il est difficile de dater avec précision l'invention du conditionnement d'air. Elle résulte, certainement, de l'œuvre collective d'esprits travailleurs et inventifs, tournés vers l'innovation. Le docteur John Gorrie fut le premier à penser utiliser l'air rafraîchi, dès le milieu du XIX^e siècle, pour traiter les malades de la malaria en Floride

(Etats-Unis), alors infectée de moustiques.

Il mit au point dans les années 1848 un système de ventilation et de traitement de l'air consistant à faire passer celui-ci sur des blocs de glace placés dans une chambre maçonnée préfigurant les centrales de traitement d'air. Il réalisa également une machine de production de glace (machine à air comprimé et détente de Joule-Thomson).

L'utilisation de blocs de glace comme moyen de rafraîchissement de l'air trouvera cependant ses limites, notamment pour le traitement d'air chaud et humide.

En fait, on reconnaît à Willis Carrier, jeune ingénieur de 24 ans, tout frais sorti de la *Cornell University* et embauché par la *Buffalo Forge Company* en 1901, d'avoir réalisé les premières installations de traitement de l'air pour deux imprimeries new-yorkaises : la *Sackett-Williams Company* et la *Publishing Company*. Le groupe de projet dont on lui avait confié l'animation allait constituer le noyau dur de la future firme « *Carrier Engineering Company* ».

C'est au « tournant du siècle » qu'apparaissent les premiers grands bâtiments équipés d'installations de conditionnement d'air : le *New York Stock Exchange* et la *Banque Kuhn, Loads and Co* aux Etats-Unis, la Banque Nationale d'Hanovre en Allemagne.

C'est à cette époque également que sont jetés les fondements d'une science nouvelle, celle de l'ingénierie du confort. Herman Rietschel publie en 1894 « Un guide de conception et de dimensionnement des installations de chauffage et de ventilation » qui sera complété par un chapitre sur le refroidissement des bâtiments.

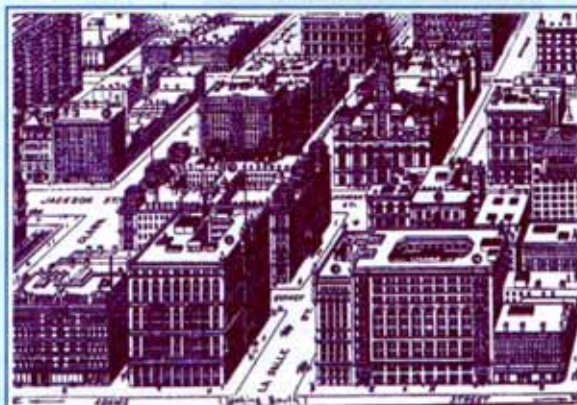


Figure 1. « Chicago Quater Block ».

Une première approche : la ventilation

Les années 1890 sont marquées, au plan architectural, aux Etats-Unis, par les bâtiments de bureaux de style néo-classique du type « Chicago Quater Block (figure 1) ». Ces bâtiments doivent leur nom au fait qu'ils sont inscrits entre quatre rues, avec une cour intérieure. Ils souffrent d'une insuffisance notoire de renouvellement d'air.

Le recours à la ventilation par moyens mécaniques permettra d'apporter, au moins partiellement, une réponse à ce problème.

Quinze ans plus tard, le « *Larkin Administration Building* » conçu en 1906 par l'architecte Frank Lloyd Wright, allait constituer une rupture avec ce style néo-classique par le recours à des façades planes, en briques. Qui plus est, ce bâtiment fût équipé à la demande du maître d'ouvrage, d'un système de ventilation mécanique.

Ainsi, pour la première fois, un système de gestion organisé de l'air était intégré, dès les premières esquisses, à la conception d'un bâtiment.

« L'entre-deux guerres »

Paradoxalement, il n'y aura pas un grand développement du conditionnement d'air dans les immeubles de bureaux dans le premier quart du vingtième siècle

* COSTIC



Figure 2. Climatiseur de salon.

aux Etats-Unis. Les premières installations de conditionnement d'air dans le tertiaire restent plutôt réservées aux théâtres, hôtels et grands magasins. Il faudra attendre la fin des années 20 et le début des années 30 pour que le conditionnement de l'air des immeubles de bureaux progresse à nouveau.

En fait celui-ci s'intègre dans une réflexion plus large des architectes américains pour optimiser la surface utile des bâtiments en fonction de la surface de terrain disponible (*plot size*) et de la hauteur maximale autorisée de l'édifice.

En France, à la même époque, Le Corbusier, Jeanneret et Gustave Lyon développent le conditionnement d'air, indépendamment des expériences américaines.

Gustave Lyon réalisera un auditorium de 3 000 places avec un système appelé « l'air ponctuel ». Le Corbusier cherchera à éliminer l'effet de paroi froide des grandes baies vitrées en créant un espace clos d'air entre deux enveloppes. Il concrétisera ce concept du « mur neutralisant » en association avec le système d'air conditionné de Gustave Lyon dans la *Centrosoy Palace* à Moscou. Cette technique du « mur neutralisant », ancêtre de notre moderne « double-peau », fut également utilisée dans la Cité refuge de l'Armée du Salut à Paris, immeuble encore debout aujourd'hui.

La reprise économique qui suivit la grande dépression de 1929, voit se développer aux Etats-Unis les climatiseurs individuels. Carrier, Copeland, General Electric, Kelvinator, parmi d'autres, développèrent une offre de « room coolers ». Il s'agissait de meubles imposants refroidis par eau (figure 2).

Le premier climatiseur de fenêtre fut introduit par la *Thorne Company* en 1932. Ce type d'appareils qui marque la pénétration du conditionnement d'air dans un nouveau champ d'application, celui de l'habitat,

allait participer pour plusieurs décennies au décor typique des façades des immeubles américains.

Il faudra toutefois attendre l'après-guerre et le début des années 50 pour voir apparaître les premiers « fully air-conditioned buildings ». Malgré l'opposition de Le Corbusier, pourtant très écouté à l'époque par les architectes américains, un nouveau concept constructif va s'imposer : celui de bâtiments entièrement vitrés dont le prototype est le siège des Nations Unies à New York.

Les temps modernes

Ce concept architectural des « skyscrapers » (gratte-ciel) complètement vitrés, sans fenêtres ouvrables, le « *Equitable building* », siège de « *The Equitable Savings and Loan Association* » à Portland, ou encore le « *Lever House* », allait fortement se développer dans les années 50 et 60. Il rendit le conditionnement d'air absolument indispensable pour assurer le confort à l'intérieur de ces bâtiments.

En France, les premières installations de conditionnement d'air avaient vu le jour dans la période d'avant-guerre. Les applications concernaient alors principalement l'industrie, les usines textiles notamment, dans lesquelles il s'agissait de maîtriser les conditions hygrométriques.

D'autres installations dans le tertiaire (amphithéâtres, centraux téléphoniques) sont également à noter (figure 3).

La bibliographie témoigne de l'intérêt déjà porté à ces techniques en ces temps anciens. La Société Industrielle du Nord de la France publie en 1932 un fascicule intitulé « La tendance actuelle en matière de conditionnement de l'air ». Humbert de Saugey publie en 1935 « La réfrigération des locaux habités » chez Dunod.

Le conflit mondial allait évidemment marquer un coup d'arrêt au développement de l'air conditionné. Les idées allaient évoluer assez rapidement après la libération sous l'influence américaine et la demande croissante de confort. Mais il faut attendre les années soixante pour voir apparaître les premières réalisations remarquables en France et notamment dans la capitale.

La rénovation de la gare Montparnasse marquera une étape importante des débuts de la climatisation des bâtiments de bureaux en France. L'entreprise Missenard-Quint et la société Carrier réaliseront la climatisation des bâtiments directement accolés à la gare, tandis que les entreprises Tunzini et Laurent Bouillet traiteront, 300 mètres plus loin, l'emblématique tour Maine Montparnasse. A peu près à la même époque la tour Nobel, qui se dresse au Pont de Neuilly, sera l'annonciatrice de la floraison des « gratte-ciel », comme on les appelle à l'époque, du quartier d'affaires de La Défense.



Figure 3. Centrale téléphonique.

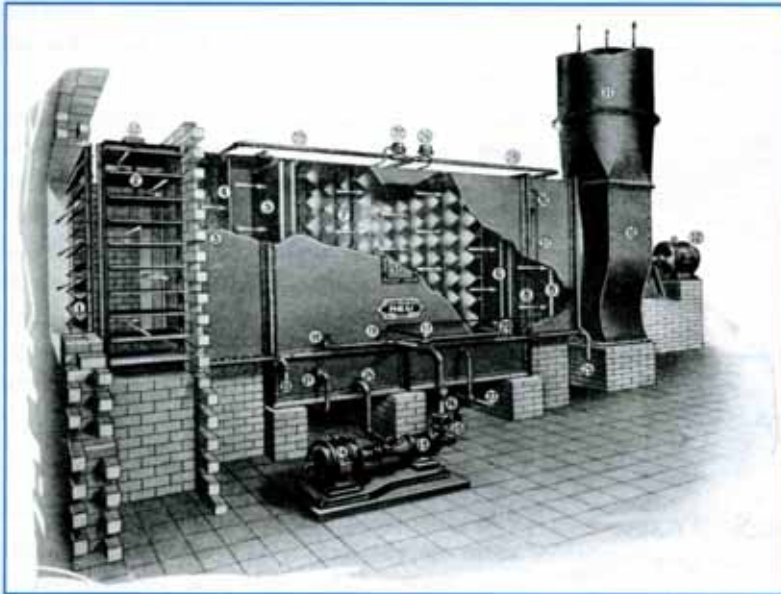


Figure 4. Ejecto-convecteur.

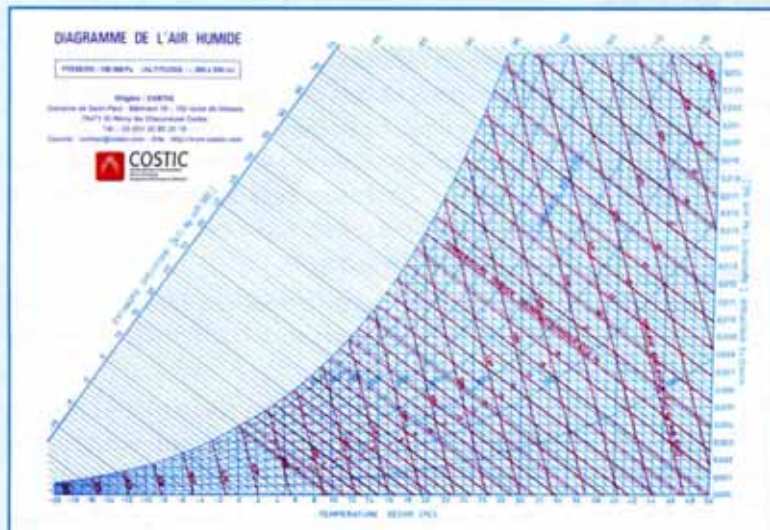


Figure 5. Diagramme de l'air humide.



Figure 6. Ventilo-convecteur.

Les techniques sont alors directement importées des Etats-Unis. Les Sociétés Carrier et Trane, filiales des fameux constructeurs américains, seront les acteurs majeurs de ce transfert.

C'est la grande époque des éjecto-convecteurs, technique qui allait, dans les applications stationnaires, tomber en désuétude mais qui continue encore aujourd'hui d'assurer le confort des rames TGV (figure 4).

Parallèlement, des outils de conception et de dimensionnement allaient être développés et mis à la disposition de la filière technique.

Carrier jouera un rôle de précurseur dans l'établissement du diagramme de l'air humide et des méthodes de dimensionnement des installations (figure 5).

En France, sous l'impulsion de Roger Cadiergues, le COSTIC développera un ensemble d'outils, diagramme de l'air humide et méthode de dimensionnement notamment, plus spécifiquement adaptés au contexte français.

L'époque contemporaine, les principaux systèmes de climatisation

Les systèmes centralisés à air

Dans ces systèmes, l'air assure la double fonction de « transport enthalpique » assurant l'absorption de la charge thermique en été et la compensation des déperditions en hiver en même temps que l'apport d'air neuf.

C'est la technique employée en France dans les années 70 pour la climatisation des premiers grands bâtiments de bureaux. Ces techniques impliquaient de véhiculer des débits d'air importants quels que soient les besoins thermiques des différents locaux.

L'idée de contrôler le débit d'air en fonction des besoins instantanés de chacun des locaux et d'assurer le débit des ventilateurs d'amenée d'air à la demande actuelle du réseau aéraulique devait conduire au VAV (Variable Air Volume) qui sera repris en France (Installations à Débit d'Air Variable) avec des fortunes diverses.

Les systèmes centralisés à eau

Une technique allait s'imposer en France au point de devenir un standard de la climatisation : le ventilo-convecteur (figure 6).

La simplicité technique du concept et son faible coût allaient en effet contribuer à son succès qui ne s'est pas démenti encore à ce jour. Ses différentes variantes : 2 tubes, 2 tubes + 2 fils, 4 tubes, lui ont permis de couvrir une grande variété d'applications, du petit bâtiment de bureaux à l'hôtel de grand standing.

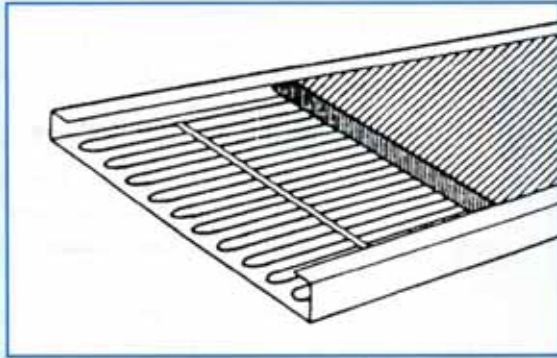


Figure 7 : Plafond procédé Ka-ro : nattes de tubes capillaires couchées directement sur la plaque de parement du plafond suspendu.

La pompe à chaleur sur boucle d'eau

La pompe à chaleur sur boucle d'eau est un hybride des systèmes centralisés à eau et des appareils à détente directe dont on parlera plus loin.

Organisées autour d'un simple circuit hydraulique, sans isolation, pouvant facilement trouver sa place dans un bâtiment existant, et d'unités terminales air-eau réversibles, les installations de pompes à chaleur sur boucle d'eau permettent de régler le problème de la demi-saison en chauffant ou en refroidissant les locaux d'un même bâtiment, en fonction de leurs besoins locaux instantanés.

Le bruit, et aussi un certain manque de fiabilité des matériels, ont contribué à une certaine désaffection de cette technique par les concepteurs.

La climatisation individuelle : les climatiseurs à détente directe

Alors que le concept des climatiseurs à détente directe était né, comme on l'a vu plus haut, avant la seconde guerre mondiale aux Etats-Unis, ce n'est qu'à la fin des années 80 que ces techniques vont s'imposer en France sous l'effet d'une offre technique nouvelle – les split-systems – japonais en grande partie – mais qui sera bientôt relayée par les constructeurs français et européens.

La facilité d'installation de ces équipements dont le champ d'application est celui du petit tertiaire, des commerces, agences bancaires, cabinets médicaux... explique son succès rapide.

La climatisation individuelle va contribuer à véritablement faire connaître la climatisation au grand public. Ce phénomène se trouvera encore renforcé quelques années plus tard par la climatisation des automobiles. Les climatiseurs individuels vont concentrer plusieurs innovations technologiques importantes : échangeurs à haute performance, compresseurs spiro-orbitaux, et, pour certains, détendeurs électroniques et variation continue de la puissance du compresseur par contrôle de la fréquence du courant d'alimentation du moteur (inverter).

Ces innovations contribueront d'ailleurs, au début des années 2000, à accélérer la maturité technique des pompes à chaleur.

L'inventivité des ingénieurs nippons permettra d'aller encore plus loin dans l'utilisation de la détente directe. Les systèmes à débit de frigorigène variable (DRV) permettent aujourd'hui de desservir jusqu'à trente-deux unités intérieures à partir d'une seule unité extérieure. Une gestion perfectionnée du circuit frigorifique, gérant en particulier le retour d'huile au compresseur, permet de plus d'installer les différentes unités intérieures avec un dénivelé pouvant atteindre 50 mètres.

La climatisation douce : les techniques scandinaves

D'autres concepts techniques vont apparaître dans les années 80/90. Venus des pays scandinaves, ils connaissent un réel succès dans les pays d'Europe continentale : Allemagne, Belgique, Suisse notamment.

Les plafonds rafraîchissants

Les émetteurs utilisés dans ces procédés présentent la caractéristique particulière d'opérer à une température de surface supérieure à la température de rosée de l'air. On économise ainsi la puissance fatale de déshumidification incontournable lorsqu'on utilise une batterie froide humide.

Bien que l'idée remonte aussi aux années trente, des innovations techniques vont permettre le développement de ce procédé :

- les nattes plastiques, petites tuyauteries en polypropylène de 2,3 mm de diamètre dans lesquelles circule de l'eau rafraîchie (procédé Ka-ro figure 7) ;
- les tuyauteries métalliques clipsées sur des ailettes associant la fonction thermique d'ailette à celle de décor de faux-plafond.

Les planchers rafraîchissants

Les planchers rafraîchissants sont constitués de canalisations en matériau de synthèse noyées dans une chape de béton. Leur succès dans l'habitat individuel se confirme d'année en année mais ces planchers trouvent également leur utilisation dans les grands halls (terminaux d'aéroport par exemple) lorsque l'on vise un simple rafraîchissement ou, le procédé étant réversible, un chauffage minimal.

Les poutres froides

Les poutres froides appartiennent également à la famille des émetteurs secs : ces terminaux sont conçus autour d'une batterie froide alimentée en eau rafraîchie à 16/17°C, la température de surface restant supérieure à la température de rosée. Ce procédé jouit actuellement d'un intérêt manifeste auprès des installateurs et des architectes (figure 8).

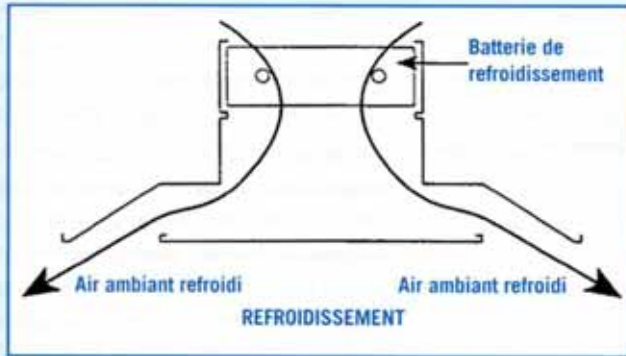


Figure 8. Poutre froide - principe.

La ventilation par déplacement

La ventilation par déplacement dont l'application est principalement réservée aux grands halls, mais qui, moyennant certaines précautions, peut également convenir dans le traitement des immeubles de bureaux, est une autre technique scandinave (figure 9). Ce procédé consiste à introduire, en partie basse des locaux traités, un air légèrement plus froid que l'ambiance.

Par différence de gravité, l'air se répand sur le sol. Sa rencontre avec les différentes sources thermiques (occupants, lampes, appareils informatiques...) induit le développement de colonnes d'air ascendantes concentrant en partie haute de la pièce traitée, où se fait la reprise, l'air chaud et la pollution.

Les pompes à chaleur : l'autre façon d'utiliser les machines thermodynamiques

Réapparues dans la seconde partie des années 1990, sous l'effet du programme Vivrelec lancé par EDF, les pompes à chaleur connaissent depuis cette époque un succès constant dans le secteur de l'habitat individuel.

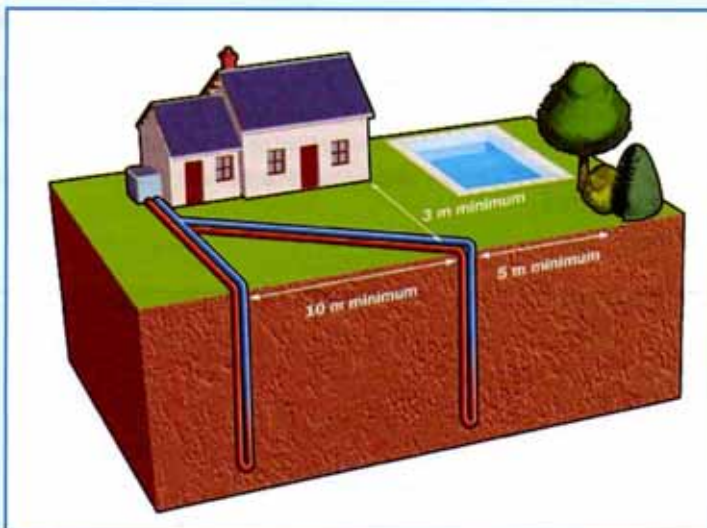


Figure 10. Capteurs verticaux.



Figure 9. Diffuseur de déplacement.

L'une des solutions les plus fréquemment utilisées consiste à coupler la pompe à chaleur à un plancher chauffant. Les machines sont de plus en plus fréquemment réversibles et permettent ainsi d'assurer un rafraîchissement du logement suffisant pour obtenir des conditions de confort tout à fait satisfaisantes.

Les pompes à chaleur géothermiques puisant la chaleur dans le sol par des capteurs horizontaux ou verticaux rencontrent également beaucoup de succès (figure 10).

Une nouvelle génération de machines capables de fournir une eau à 50/55°C permet d'envisager l'utilisation des pompes à chaleur en substitution directe de chaudières dans l'habitat individuel existant. C'est un champ de développement potentiellement considérable.

Les systèmes air-air, basés sur l'utilisation de split-system réversible, pourraient constituer une solution sérieuse de substitution du chauffage électrique direct.

Dans le tertiaire, la pompe à chaleur réversible peut trouver une utilisation pleinement légitime compensant les dépenses de refroidissement de la saison estivale par un chauffage très performant l'hiver.

Les perspectives, la climatisation « Post Grenelle »

Envisager les perspectives d'évolution de la climatisation en France en 2008 implique de faire un double constat.

Le traitement des ambiances, concept élargi de la climatisation, voire du simple refroidissement des bâtiments, est devenu au cours des vingt dernières années une demande sociale réelle. La maîtrise du confort, qui couvre, au delà du simple contrôle de la

température, la qualité de l'air, l'éclairage, la protection contre les nuisances sonores, participe au bien-être des occupants, assure une meilleure productivité et contribue à la valorisation, dans les immeubles de bureaux, de l'image de l'entreprise qui occupe les lieux.

Dans les hôpitaux il est reconnu que la régulation de la température, durant les périodes chaudes, est un facteur d'accompagnement et d'accélération du processus thérapeutique.

Cependant, la réduction des consommations d'énergie, la limitation des émissions de gaz à effet de serre constituent, parallèlement, des exigences qui s'imposent de façon impérative à nos sociétés post-industrielles. Climatisation et développement durable sont-ils deux notions qui s'opposent ?

Il paraît difficile de priver les bâtiments de tout moyen de refroidissement artificiel, même en limitant à 26°C la température intérieure comme l'exige désormais la réglementation. Mais un compromis reste à trouver, basé sur la maîtrise drastique des charges thermiques et sur l'amélioration de la performance annuelle du système production de froid – génération de chaleur. Dans cette perspective, comme déjà évoqué plus haut, les pompes à chaleur réversibles devraient occuper une place importante.

Quant à la maîtrise des charges, elle dépend très largement de la conception thermique du bâtiment : isolation, inertie, protections solaires.

Le milieu extérieur proche du bâtiment peut participer également à la limitation des charges. Toitures végétalisées et environnement arboré protègent, par effet d'écran, les parois du rayonnement solaire direct.

Comme on l'a vu plus haut, il existe une véritable dialectique entre le parti architectural et le traitement climatique des ambiances intérieures. L'optimisation poussée du foncier dans le centre-ville des grandes métropoles nord-américaines a débouché sur un modèle de conditionnement d'air parfois assez frustré et très souvent dispendieux en énergie. En France un tel modèle est devenu inacceptable.

L'évolution de la climatisation, dès lors, ne peut s'envisager que sur la base d'une harmonie entre la conception thermique du bâtiment et le choix raisonné de systèmes de chauffage et de refroidissement performants et limités en puissance. Le dialogue et la concertation, dès les phases amont d'un projet, entre architectes et ingénieurs, deviennent désormais plus que jamais nécessaires.

Gageons que cette approche commune, à la fois attentive au confort et au bien-être des occupants et respectueuse de la planète, conduira à de nouvelles synthèses porteuses d'avenir.

...(bibliographie)

L'auteur a abondamment puisé ses sources bibliographiques dans une série d'articles publiés par l'*Ashrae Journal* et notamment :

- John Gladstone : John Gorrie, The Visionary, *Ashrae Journal* – Déc. 1998
- Bernard Nagengast : Comfort from a block of ice, *Ashrae Journal* - Jan 1999
- Mike Pauken : Sleeping Soundly on Summer Nights, *Ashrae Journal* - Mai 1999
- David Arnold : The Evolution of Modern Office Buildings and Air Conditioning, *Ashrae Journal* - Juin 1999
- David Arnold : Air Conditioning in Office Buildings After World War II, *Ashrae Journal* - Juillet 1999
- John E. Janssen : The History of Ventilation and Temperature control, *Ashrae Journal* – Oct. 1999
- Michel Missenard : Président Honoraire du COSTIC - Entretien privé
- Henri Neu : *La tendance actuelle en matière de Conditionnement de l'Air*, Editions Société Industrielle du Nord de la France -1932
- Marcel Roubinet : *Le Conditionnement de l'Air*, Editions du Moniteur – 1967