

VENTILATION DÉCENTRALISÉE

LIBÉRER DE LA HAUTEUR SOUS PLAFOND D'UNE ET IMMEUBLES D'

Photo ©2019 - Pascal Poggi - AOC



AUTEUR DANS LES TOURS DE BUREAU

TEXTE :
PASCAL POGGI
PHOTOS & ILLUSTRATIONS :
AIRCALO, COBIAX, EMCO,
PASCAL POGGI/AQC

Ventilo-convecteurs multifonctions, pompes à chaleur sur boucle d'eau multifonctions et mini-CTA : trois solutions de ventilation décentralisée permettent d'économiser environ 30 à 40 cm sous plafond par niveau dans les immeubles de bureaux.



1 Photo ©2019 - Pascal Paggi - AQB

Le problème est simple. D'un côté, les PLU (Plan local d'urbanisme) définissent pour chaque terrain d'une commune ou d'un groupement de communes, une implantation, une forme et un volume de constructibilité maximum. D'un autre côté, les occupants des tours et immeubles de bureaux aspirent à une hauteur sous plafond la plus importante possible. Depuis 30 ans, la hauteur sous plafond croît, lentement mais sûrement. Elle était, par exemple de 2,50 m dans les plus vieilles tours de la Défense, comme la tour Aurore dont le permis de construire date de 1964. Dans son rapport annuel 2018, la foncière SFL (Société foncière lyonnaise) qui, contrairement à son nom, possède des actifs exclusivement à Paris, indique viser 2,70 m de hauteur sous plafond au minimum dans les bureaux qu'elle propose à la location. La hauteur libre sous plafond est passée à 2,90 m pour la tour Hekla en construction à La Défense. Elle atteint même 3 m pour la tour Carpe Diem, livrée fin 2012 toujours à La Défense. Une hauteur libre sous plafond supérieure à 2,70 m donne aux occupants une impression d'espace et de volume, alors qu'ils peuvent au contraire ressentir en dessous une oppression.

De la hauteur libre sous plafond à la hauteur d'étage

Dès qu'un emplacement est choisi, en fonction du PLU, les concepteurs entament une sorte de travail à rebours pour faire entrer le maximum de m² louables ou vendables dans le volume maximum défini, tout en respectant le critère clef de la hauteur sous plafond, l'accessibilité, l'accès à la lumière du jour et les nouveaux usages d'aménagement des locaux de travail, tels que la multiplication des espaces de

▲ **1** Voici ce que les promoteurs veulent éviter : des gaines de distribution d'air calorifugées, dissimulées dans les faux-plafonds. Elles peuvent occuper jusqu'à 60 cm de hauteur.

▲ **2** et **3** L'incorporation de corps creux (photo n° 2) ou de coffrages perdus dans une dalle en béton augmente les portées, tout en supprimant les poutres et en diminuant l'épaisseur des dalles béton.

restauration et de travail collaboratif. Le travail des concepteurs consiste, partant de la hauteur libre sous plafond retenue par le maître d'ouvrage, à minimiser la hauteur d'étage – définie comme la distance entre la face supérieure d'une dalle et la face supérieure de la dalle immédiatement au-dessus – de manière à caser le maximum de niveaux dans le volume et la forme définis par le PLU.

Quelle est la hauteur libre sous plafond nécessaire ? Il n'existe aucune réglementation couvrant ce point. La norme NF X35-102 *Conception ergonomique des espaces de travail en bureaux* (décembre 1998) traite de la forme et de la surface des bureaux, pas de leur hauteur sous plafond. De même, dans sa fiche pratique de sécurité ED 23 *Aménagement des bureaux - Principales données ergonomiques* datant de septembre 2013 (www.inrs.fr), l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité) s'étend largement sur les surfaces minimales nécessaires en fonction du nombre d'occupants du bureau, sur la largeur des circulations et la description du mobilier. Seul un tout petit graphique à la dernière page recommande 2,80 m de hauteur libre sous plafond au minimum. Nous retiendrons donc cette valeur. Elle se traduit par une hauteur d'étage de 3,30 à 3,70 m environ, soit 2,80 m + dalle et retombées de poutres [22 cm] + faux-plancher technique (0,05 à 0,20 m) + faux-plafond (0,20 à 0,40 m dans les espaces de travail, jusqu'à 0,60 m dans circulations où l'on accepte d'abaisser la hauteur sous plafond). Le faux-plafond dissimule notamment les gaines de ventilation. En tertiaire, le double flux est la règle et la ventilation contribue également au chauffage et au rafraîchissement : les gaines de distribution d'air sont calorifugées, ce qui accroît leur diamètre.

Diminuer la hauteur d'étage

Tout l'exercice consiste donc à diminuer la hauteur d'étage tout en conservant une enviable hauteur sous plafond. Deux axes sont exploitables, sans être exclusifs. Nous avons évoqué le premier dans un article du dernier numéro consacré aux moyens de réduire l'empreinte environnementale des ouvrages en béton (1). Il s'agit de l'incorporation dans les dalles de corps creux du type Cobiax ou de coffrages perdus du type U-Boot, associée à la mise en œuvre de béton précontraint par post-contrainte. Cette solution réduit le nombre de poteaux, maximise la portée des dalles – jusqu'à 20 m dans le cas de Cobiax – sans poutres ni poteaux, tout en réduisant l'épaisseur des dalles. Le gain atteint 2 à 3 cm sur l'épaisseur des dalles, mais la suppression des poutres, donc des retombées de poutres, peut atteindre 15 à 30 cm par niveau.

La seconde approche consiste à supprimer les gaines de ventilation horizontales et verticales en abandonnant les CTA (Centrales de traitement d'air) centralisées au profit de solutions décentralisées, niveau par niveau. Supprimer les gaines de ventilation horizontales issues des CTA fait gagner 30 à 40 cm par niveau, ce qui permet de caser un étage de plus tous les 10 à 12 niveaux. Sur une tour de 200 m de haut, cela se traduit par 4 à 5 niveaux supplémentaires dans le même volume de bâtiment. Il existe trois solutions de ventilation décentralisées: les ventilo-convecteurs multifonctions, les pompes à chaleur sur boucle d'eau multifonctions et les mini-CTA. Dans le cas des mini-CTA, des gaines de distribution horizontales sont toujours présentes, mais de diamètre très fortement réduit.



Photo © Cobiax

2

(1) Article « Béton armé: réduire l'empreinte environnementale des ouvrages » publié dans le n° 174 de Qualité Construction (mai-juin 2019).

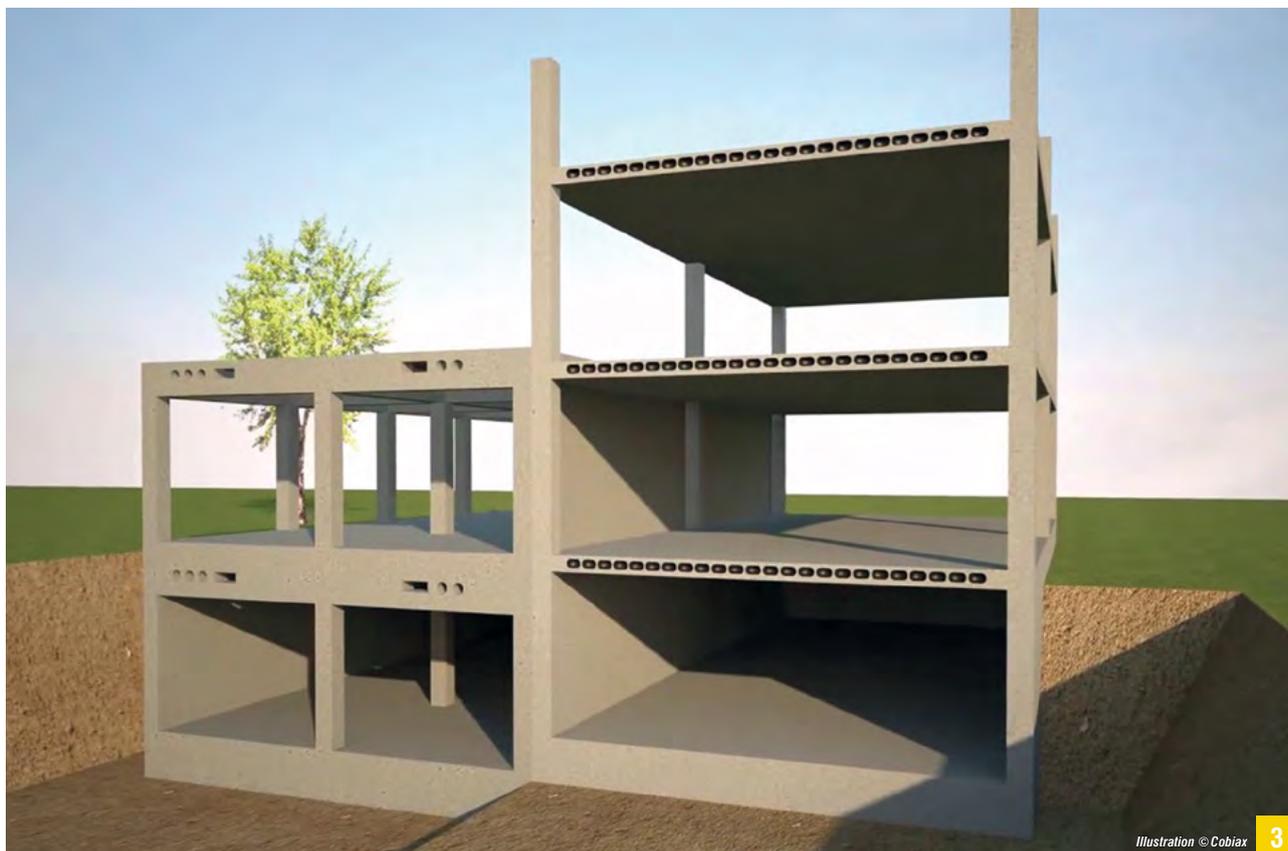
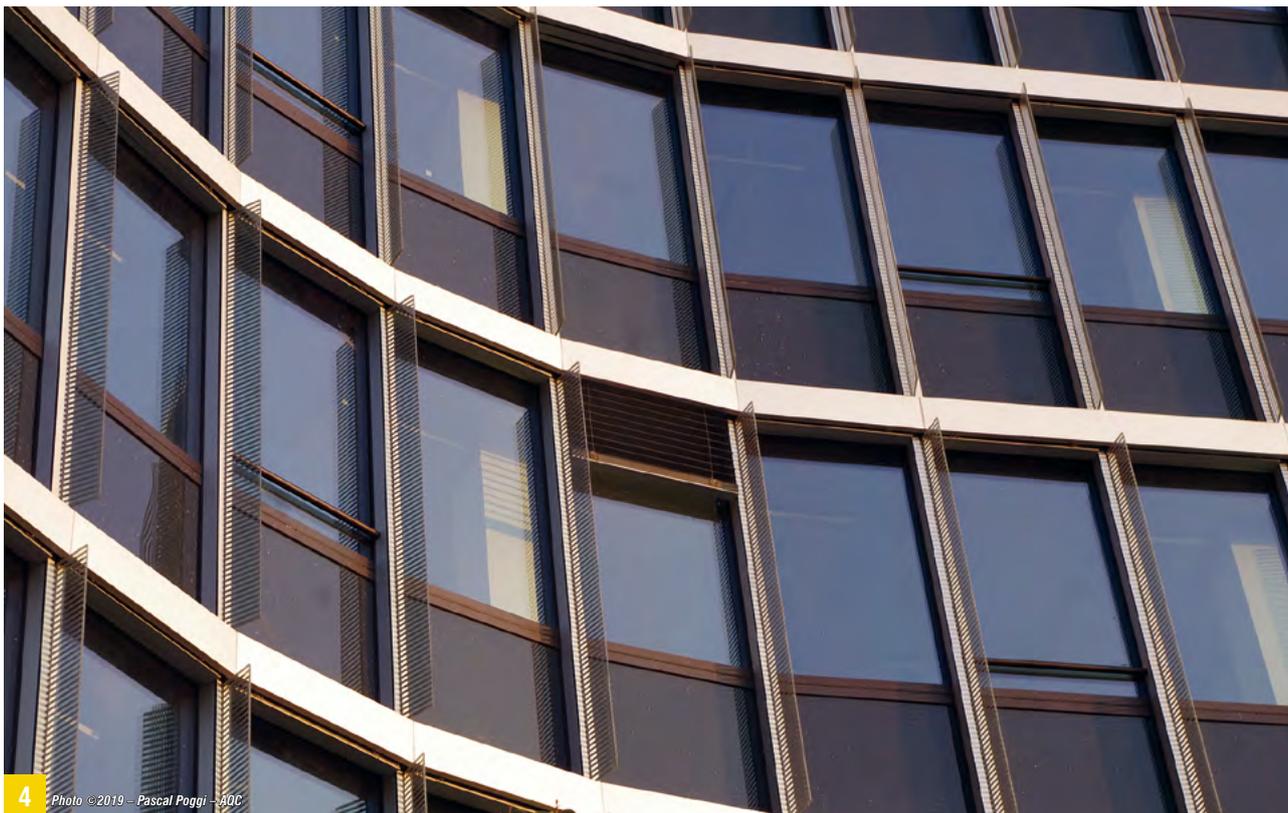


Illustration © Cobiax

3



4 Photo ©2019 - Pascal Poggi - AOC

“Les ventilo-convecteurs assurent le chauffage, le rafraîchissement et la ventilation double flux avec récupération de chaleur assortie d’une prise et d’un rejet d’air en façade”



270 cm

335 cm

Éclairage intérieur prémonté sur l'élément de façade

Luminaire intégré longueur maximale 1 100 m

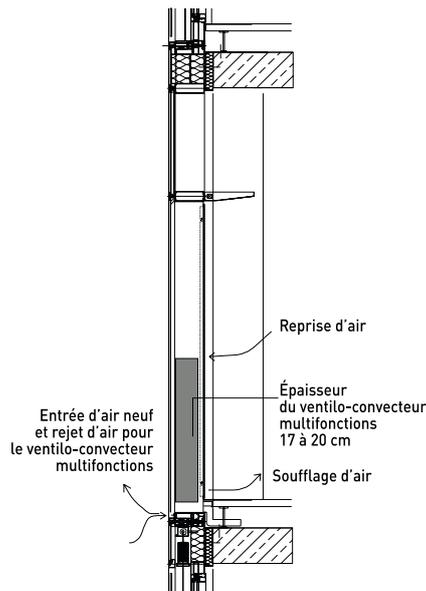


Illustration ©emco

5

4 De l'extérieur, les grilles d'entrée et de rejet d'air des unités de confort Individuelles (des ventilo-convecteurs multifonctions) emco qui équipent le bâtiment de bureaux GreenOffice de Rueil (92) sont parfaitement invisibles. Elles se trouvent en partie basse des fenêtres.

5 Les concepteurs du bâtiment de bureaux bioclimatiques Capricorn Haus à Dusseldorf ont conçu une façade par éléments préfabriqués, dans lesquels les ventilo-convecteurs multifonctions emco étaient prémontés en atelier.

6 Les ventilo-convecteurs multifonctions qui équipent le bâtiment GreenOffice de Rueil-Malmaison (92) sont montés en about de dalles, en périphérie du bâtiment. Ils contiennent un ventilo-convecteur 4 tubes, ses vannes de régulation et un groupe de ventilation double flux avec échangeur de récupération de chaleur. Les deux ventilateurs – reprise et soufflage – sont communs au bloc de ventilation et au ventilo-convecteur.

7 La ventilation des blocs sanitaires et des circulations du GreenOffice de Rueil est toujours assurée par des CTA centralisées.



Photo ©2019 – Pascal Poggi – AQC

6



Photo ©2019 – Pascal Poggi – AQC

7

Ventilo-convecteurs multifonctions

Les ventilo-convecteurs multifonctions sont une invention allemande, apparue il y a déjà quinze ans dans les bâtiments tertiaires très performants outre-Rhin. Ils assurent le chauffage, le rafraîchissement et la ventilation double flux avec récupération de chaleur assortie d'une prise et d'un rejet d'air en façade. Les industriels – Arbonia-Kermi, Jaga, Joco, Kampmann (devenu propriété de emco BAU depuis le 1^{er} janvier 2018)... – proposent différentes formes et types d'installations : en allège, en plafond ou en about de dalles. Les concepteurs du bâtiment Capricorn Haus à Dusseldorf ont intégré ces ventilo-convecteurs multifonctions en allège dans les éléments de façade préfabriqués autoportants, livrés sur chantier contenant l'isolation thermique, deux ouvrants, l'éclairage intérieur et le ventilo-convecteur multifonctions.

Autre possibilité, les « Unités de confort individuelles » (UCI) de emco qui par exemple équipent le bâtiment GreenOffice de Rueil-Malmaison (92) construit par Bouygues Immobilier, sont posées en about de dalle. Posées à raison d'un appareil pour deux trames de bureaux, ces UCI embarquent un ventilo-convecteur 4 tubes et un mini-groupe de ventilation double flux, dont le taux de récupération de chaleur atteint 65%. Elles offrent une puissance froid de 359 à 747 W, une puissance chauffage 324 à 606 W, selon le débit du ventilateur, un débit d'air neuf de 75 m³/h, plus un débit recyclé éventuel de 31 m³/h. Les UCI couvrent la totalité des besoins de renouvellement d'air des plateaux de bureaux. En revanche, les locaux sanitaires sont toujours ventilés par des CTA centralisées. Les UCI ne couvrent pas la totalité des besoins >>>

SUPPRIMER LES GAINES VERTICALES

L'un des autres avantages de l'adoption de systèmes de ventilation décentralisés dans les tours est la suppression des gaines verticales qui, depuis des CTA centralisées, alimentent chaque étage en soufflage et en reprise. Dans le cas de la tour Hekla à La Défense, les promoteurs Hines et AG Real Estate estiment gagner 10 à 15 m² de surface par étage, autant de surface occupable supplémentaire. La suppression des gaines verticales minimise les consommations d'énergie liées à leurs énormes pertes de charge. Elle fait également disparaître les deux clapets coupe-feu – un sur le soufflage, l'autre sur la reprise – que contiennent réglementairement les gaines verticales à chaque étage. La disparition de ces clapets coupe-feu supprime du même coup leur entretien annuel obligatoire

et réduit les frais de maintenance. Les promoteurs de la tour Hekla estiment que la solution de ventilation décentralisée est un peu plus coûteuse en termes de déboursé qu'un système classique de ventilation centralisée, mais ils pensent être financièrement gagnants lorsque la valeur de la surface économisée est prise en compte. Selon eux, la ventilation décentralisée comporte d'autres avantages. Elle permet une modulation plus fine des débits en fonction de l'occupation réelle des locaux, donc une économie d'énergie. Ensuite, la ventilation décentralisée de la tour suit la progression de la location des plateaux : les locaux sont tous ventilés au minimum pour maintenir la qualité du bâti et des équipements, mais seuls les locaux occupés sont ventilés à débits hygiéniques et de confort. ■

de confort thermique. Un système de dalles actives Rehauf couvre 94 % des besoins de rafraîchissement du bâtiment, dont un peu plus de 90 % en géo-cooling : 3 kWh/m².an sur un besoin total de rafraîchissement de 3,2 kWh/m².an. Du point de vue des consommations d'énergie, le GreenOffice de Rueil (35000 m²) atteint une consommation de 20,2 kWh_{EP}/m².an, soit RT 2012 - 70 %, compensée par une production photovoltaïque légèrement supérieure. Ce qui en fait l'un des rares bâtiments de bureaux réellement Bepos.

Pompes à chaleur sur boucle d'eau multifonctions

La deuxième solution de ventilation décentralisée est apportée par les pompes à chaleur sur boucle d'eau multifonctions, proposées par un seul fabricant, France Energie, membre du groupe Muller. Elles peuvent être installées soit verticalement en allège, soit horizontalement sous plafond. Ce sont des pompes à chaleur eau/air à condensation par eau, raccordées à une boucle d'eau dont la température est maintenue entre 12 et 18 °C en été et entre 40 et 48 °C en hiver. En mi-saison, la température de la boucle est maintenue par les pompes à chaleur sur boucle d'eau elles-mêmes : celles qui sont en mode chauffage prélèvent de la chaleur dans la boucle, tandis que les Pac en mode froid restituent de la chaleur à la boucle d'eau. Jusqu'ici, c'est un fonctionnement connu. Depuis trois ans environ, France Energie a ajouté la fonction ventilation à ses Pac sur boucle d'eau. Les premiers appareils équipés de cette fonction supplémentaire ont été installés dans l'immeuble Intown, 21300 m² de bureaux rénovés place de Budapest à Paris, derrière la Gare Saint-Lazare. Les architectes A. Béchu & Associés se trouvaient en effet face à un bâtiment dont la hauteur libre sous plafond était de 2,55 m dans la plupart des locaux, et de 2,60 à 2,70 m dans les trois derniers étages : il n'était pas possible de perdre de la hauteur sous plafond à cause du passage de gaines de ventilation. 700 Pac sur boucle d'eau avec ventilation, baptisées « unités de confort », ont été installées verticalement en allège sur toute la périphérie du bâtiment. Elles assurent la totalité du chauffage et du rafraîchissement, tout en couvrant la totalité des besoins de ventilation, avec filtration F8 sur l'entrée d'air et F6 sur la reprise d'air, sauf dans les locaux sanitaires. Leur module double flux prend l'air neuf et expulse l'air extrait directement en façade. Détail intéressant, la nouvelle rédaction de l'article CH35 [2], parue au *Journal Officiel* du 17 mai 2019, autorise l'installation des Pac sur boucle d'eau en ERP quel que soit le fluide utilisé – en les exonérant notamment de toute contrainte liée à l'emploi de fluide inflammables –, dès lors que leur circuit



8 et **9** Les *UtCi 4-en-1-FE* (Unité thermodynamique de confort individuel) de France Energie peuvent être complétées par une unité de ventilation pour porter leur débit d'air de 96 à 230 m³/h.

10 Les premières pompes à chaleur sur boucle d'eau disposant d'une fonction additionnelle de ventilation ont été installées en allège dans un bâtiment de bureaux rénové à Paris, place de Budapest. Sa hauteur libre sous plafond – de 2,55 à 2,70 m selon les niveaux – ne permettait pas l'installation de gaines de distribution et de reprise d'air.

11 Les mini-CTA *Mistral* d'Aircalo s'installent en faux-plafonds. Ce sont des caissons modulaires, dont le débit d'air varie de 500 à 7000 m³/h selon le modèle. Ils assurent ventilation, chauffage et rafraîchissement.

[2] Arrêté du 10 mai 2019 modifiant l'arrêté du 25 juin 1980 portant approbation des dispositions générales du Règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les Établissements recevant du public (ERP).

frigorigène est scellé et qu'elles portent un marquage CE au sens du Règlement F-Gaz. Depuis avril 2019, les « unités de confort », rebaptisées *UtCi 4-en-1-FE* (Unité thermodynamique de confort individuel), de France Energie utilisent le R513A, classé A1 – ni toxique, ni inflammable – et dont le GWP atteint 573. Avec le R513A, les *UtCi 4-en-1-FE* de France Energie atteignent un Cop de 5,16, un EER de 5,19 et un débit d'air de 96 m³/h par unité. Pour accroître le débit d'air, dans le cas des salles de réunion par exemple, un caisson de ventilation supplémentaire contenant un échangeur à récupération de chaleur peut être ajouté immédiatement à côté d'une *UtCi 4-en-1-FE*. Ce qui porte le débit d'air à 230 m³/h pour la combinaison *UtCi* et caisson de ventilation supplémentaire. Dans le but de faciliter la mise en œuvre des Pac sur boucle d'eau, France Energie a conçu un groupe air/eau hybride réversible pour équilibrer la température de la boucle d'eau. Il embarque deux appareils dans un même caisson et mutualise les ventilateurs. Il contient d'abord un dry-cooler (un condenseur à air) monté verticalement et alimenté directement par la boucle d'eau. Ensuite, il contient un groupe réversible, fonctionnant au R513A et dimensionné pour les besoins spécifiques d'une boucle d'eau alimentant des Pac, dont la température doit être maintenue entre 16 et 48 °C. Baptisé *GEN3*, ce nouveau générateur offre une puissance de 60 kW en chauffage et fonctionne avec une loi d'eau fluctuant de 4K autour de 30 °C.

Les mini-CTA

Les mini-CTA constituent la troisième solution de ventilation décentralisée. La tour Hekla à La Défense sera équipée de 20 à 25 mini-CTA par niveau. Ce sont des appareils extra-plats, raccordés à une prise d'air et à un rejet d'air directement en façade. Les mini-CTA sont installées horizontalement en faux-plafonds ou verticalement contre le mur. Elles sont proposées en France par Aircalo (gamme *Mistral*), VIM (*CAD HR Mini*), France Air (*Plate Box 95², Small Box, Power Box 95BC2 & Fresh'up, Cooler Play 95*), Aldes (*DFE Compact micro-watt*)... Il s'agit soit de caissons monobloc, soit de caissons modulaires. Leur hauteur varie de 360 à 400 mm, ce qui permet de les installer facilement en faux-plafonds. Ces caissons contiennent toujours un échangeur pour la récupération de chaleur sur l'air extrait. Les débits d'air proposés varient de 360 à 7000 m³/h. Tous ces caissons contiennent des filtres facilement extractibles latéralement ou par le dessous. Conformément aux exigences de la Directive ErP, les moteurs des ventilateurs sont pilotés en variation de fréquence, soit par variateurs, soit grâce à des moteurs EC (Electronic commutation) à commutation électronique alimentés par >>>

“La nouvelle rédaction de l'article CH35, parue au Journal Officiel du 17 mai 2019, autorise l'installation des Pac sur boucle d'eau en ERP quel que soit le fluide utilisé [...], dès lors que leur circuit frigorigène est scellé et qu'elles portent un marquage CE au sens du Règlement F-Gaz”



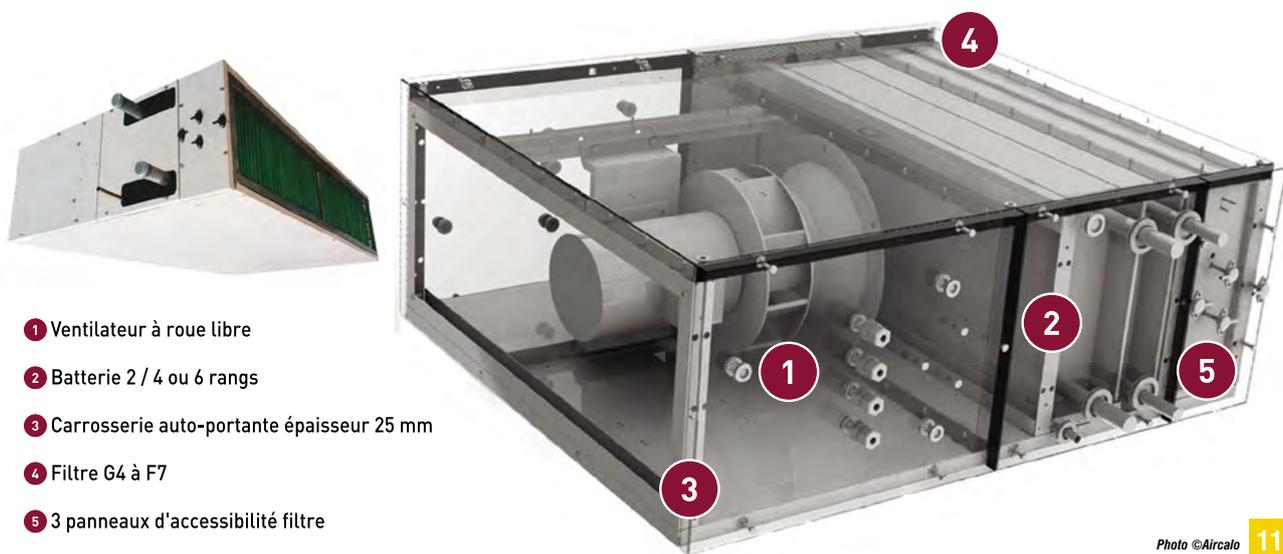
Photo ©2019 - Pascal Poggi - AQC **8**



Photo ©2019 - Pascal Poggi - AQC **9**

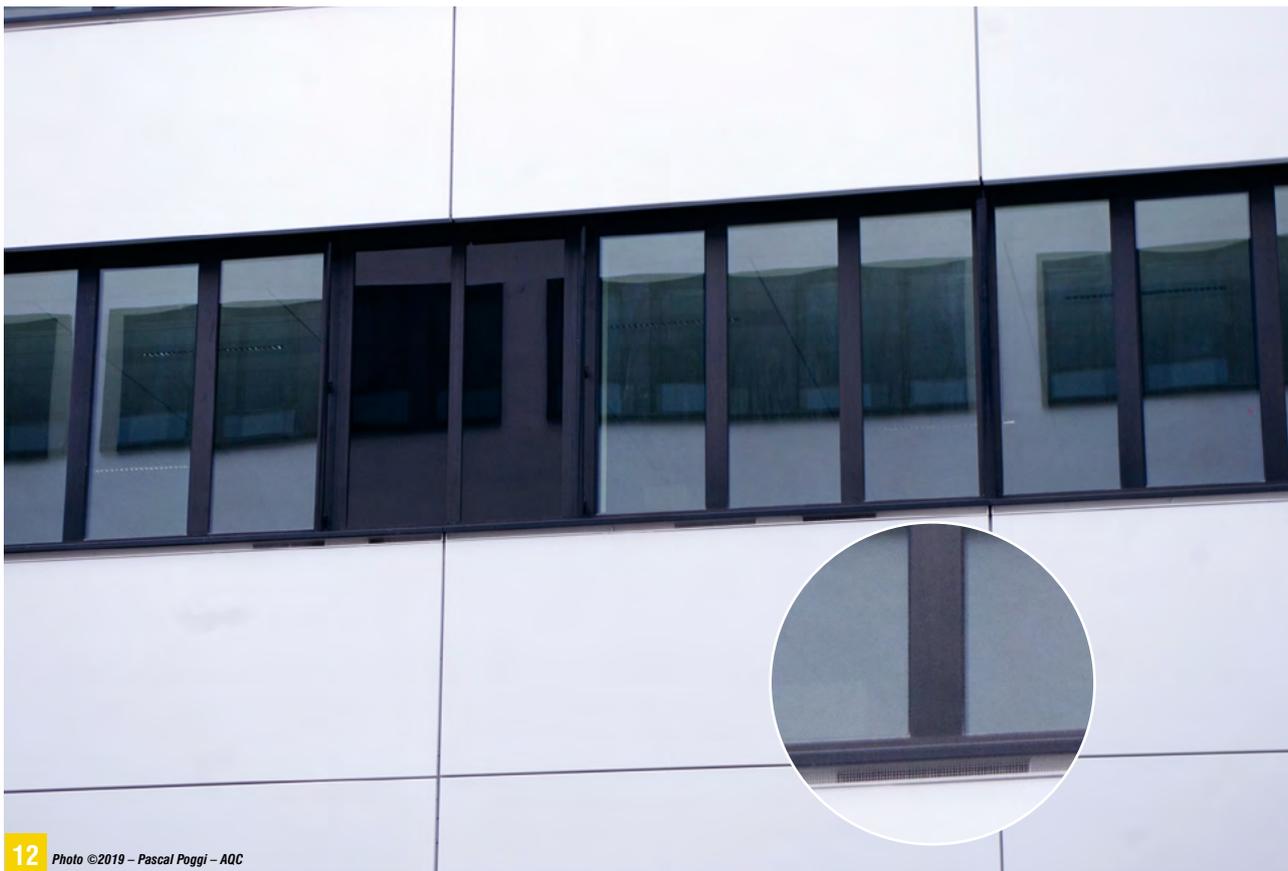


Photo ©2019 - Pascal Poggi - AQC **10**



- 1 Ventilateur à roue libre
- 2 Batterie 2 / 4 ou 6 rangs
- 3 Carrosserie auto-portante épaisseur 25 mm
- 4 Filtre G4 à F7
- 5 3 panneaux d'accessibilité filtre

Photo ©Aircalo **11**



12 Photo ©2019 – Pascal Poggi – AQC

une source en courant alternatif. La gamme *Mistral* de Aircol compte 4 modèles de différents débits. Le caisson de base peut être complété par un récupérateur de chaleur double flux, un registre antigel sur la prise d'air neuf, des caissons pièges à sons sur le soufflage et/ou la reprise, un caisson batterie à eau (froide et chaude), un caisson batterie électrique pour le chauffage, un caisson filtre supplémentaire pour une qualité d'air intérieur exigeante, un caisson de mélange pour le recyclage d'une partie de l'air ambiant, un caisson de soufflage coudé, etc. Tout cela pour des puissances électriques absorbées à puissance maximale de 0,75 kW par moteur. Les puissances froid vont de 3,14 à 17,27 kW selon les modèles, tandis que les puissances chauffage s'étendent de 7,57 à 21,2 kW. Dans la tour Hekla, les mini-CTA seront installées dans le faux-plafond des circulations, surbaissés pour cela par rapport à la hauteur libre sous plafond des plateaux de bureaux. Elles assureront la totalité des besoins de ventilation, y compris dans les blocs sanitaires. Mais elles ne couvriront pas tous les besoins de chaleur et froid, qui seront majoritairement pris en charge par des ventilo-convecteurs 4 tubes, à raison d'environ 75 par plateau de bureaux.

Prises et rejet d'air en façades

Dans les trois solutions que nous venons de décrire, des appareils décentralisés prennent l'air neuf directement en façades, rejettent l'air extrait en façades également, soufflent et reprennent de l'air dans le local traité. Dans le cas d'immeubles de grande



12 Les *UtCi 4-en-1-FE* (Unité thermodynamique de Confort individuel) de France Energie prennent et rejettent l'air directement en façade, par des grilles placées immédiatement sous les menuiseries et quasiment invisible s'il est tenu compte de leur présence dès la conception de la façade.

hauteur, la présence de prises et de rejets d'air en façades pose des problèmes spécifiques, en raison de la très forte pression que le vent peut exercer sur les façades du bâtiment. Il s'agit d'éviter que le flux d'extraction d'air voit son débit fortement réduit ou s'inverse carrément, par exemple. La conception des prises d'air et des bouches d'extraction en façade de la tour Hekla, qui sera équipée de mini-CTA, a ainsi nécessité d'abord des simulations numériques, puis la construction et le test dans l'une des deux souffleries atmosphériques du CSTB à Nantes, d'une maquette de la tour, pour vérifier expérimentalement la faisabilité de la ventilation décentralisée avec prise et rejet d'air en façade (ainsi que la tenue au vent des protections solaires fixes de cette tour conçue par Jean Nouvel). Dans ces deux souffleries, le CSTB peut traiter des maquettes dans des échelles de 1/50^e à 1/500^e et simuler des vitesses de vent de 0 à 30 m/s (108 km/h). Ces souffleries sont également capables de gérer des couches de soufflage différentes. Le vent se comporte en effet différemment selon l'altitude. Sa vitesse est plus faible, mais sa turbulence plus importante à proximité du sol, car il rencontre des obstacles qui modifient son écoulement : végétation, bâtiments, etc. Les expérimentations en souffleries à Nantes prennent en compte les bâtiments environnants, existants et prévus lorsqu'ils sont connus. Dans le cas de la tour Hekla, les simulations et les tests ont permis de définir des formes de prises et de rejets d'air en façades, capables d'accepter des forces de vent importantes, sans compromettre leur fonctionnement. ■

