

Bilan énergétique des tours

Parmi les objectifs du schéma directeur de la région Ile-de-France (le SDRIF) on trouve l'arrêt du mitage péri urbain et, comme contrepartie, la densification des tissus urbains déjà existants. Il s'agit à la fois de réduire le coût humain, écologique et financier des déplacements pendulaires et de mieux tirer parti des terrains "intra muros". Certains élus franciliens, appuyés par le lobby des architectes, ont pris prétexte de ces bonnes intentions pour mettre en avant l'intérêt de bâtir des tours. La question fait débat. Parmi les questions soulevées figure celle-ci : cette forme architecturale est-elle énergétiquement pertinente?

Les déceptions des "green towers"

Le mouvement des « green towers » a maintenant plus de dix ans. La première tour "verte" a été la "Commerzbank Tower" à Frankfort, en 1997. Depuis, quelques dizaines de tours vertes ont été érigées avec la volonté, sincère ou non, de faire des bâtiments de haute qualité environnementale, doublée d'un effort sur la consommation d'énergie. La plus intéressante de ces tours, du point de vue de la consommation d'énergie, est la "Post Tower" à Bonn. Livrée fin 2002, elle a été conçue par le meilleur bureau d'études thermiques allemand Transolar. Sa conception s'est faite en bonne intelligence entre l'architecte et tous les membres de l'équipe. Il s'agit, comme toutes les tours actuelles, d'un bâtiment de bureaux. C'est aujourd'hui la tour "verte" la moins consommatrice du monde. La consommation prévisionnelle d'électricité (tous usages hors chauffage) était de 72 kWh/m²/an et celle de chaleur de 45 kWh/m²/an. Une

campagne de mesure a été par Transolar une fois la tour en fonctionnement. Par rapport aux prévisions, la consommation réelle est supérieure de 33 % pour le chauffage et de 67 % pour les consommations électriques. Elle s'élève en réalité à 120 kWh/m²/Shon/an d'électricité et à 60 kWh/m²/Shon/an de chaleur, soit 448 kWh/m²/shon/an en énergie primaire avec les coefficients de conversion réels (1). Rapportées à la surface utile ces valeurs seraient respectivement 130, 67 et 500 kWh/m²/an.

(1) Dans ce document, nous utilisons pour la conversion d'énergie primaire en énergie finale, non pas le coefficient conventionnel de 2,58 (qui n'a aucun sens) mais le coefficient réel, celui utilisé par les ministères français eux-mêmes pour leurs calculs internes : 3,23. Nous restons ainsi proches de la physique et des phénomènes tels qu'ils sont.

Les consommations de fonctionnement

Que faudrait-il faire pour réduire la consommation d'énergie des tours de façon à atteindre le niveau de 60 kWh/m²/shon/an pour la consommation conventionnelle ? Reprenons les postes de consommation un à un.

Le chauffage

Les tours sont, en général, presque entièrement vitrées, ce qui est une hérésie énergétique. Une des conséquences des grandes surfaces vitrées est l'effet "paroi froide" qui impose de chauffer à 22°C, ce qui augmente considérablement (d'environ 40 à 45 %) la consommation. La première disposition serait de

réduire considérablement la surface de vitrage en ne laissant qu'une partie vitrée de un mètre de hauteur. Cette mesure pourrait ramener à 12 ou 15 kWh/m²/an les besoins de chauffage (mais pas encore la consommation !). La consommation de chauffage sera fortement réduite si on utilise une pompe à chaleur couplée avec des systèmes de pieux géothermiques, notamment dans les structures du bâtiment. Plusieurs tours "vertes" ont utilisé ce système qui permet à la fois de réduire les consommations de chauffage et de rafraîchissement. Le chauffage pourrait alors ne plus représenter que

Bilan énergétique des tours

5 kWh/m²/an. En appliquant ces systèmes on a même atteint 2 kWh/m²/an dans un projet de bureaux à Grenoble.

La ventilation

Il n'y a aucune obligation à utiliser 3 volumes d'air à l'heure pour ventiler un appartement. Moins d'un volume pourrait suffire sans difficulté. La réduction massive des besoins de rafraîchissement (voir plus bas) va fortement faciliter cette réduction nécessaire des débits d'air. Il faut aussi, systématiquement, mettre en œuvre des ventilations double flux avec récupération de chaleur. Enfin, pour minimiser la consommation électrique des ventilateurs, il faudrait ventiler à l'horizontal, étage par étage, (ce qui éviterait les systèmes en toiture), et travailler à débit variable en fonction du taux d'occupation avec un détecteur de présence dans les bureaux.

Le rafraîchissement estival

Les tours sont généralement grosses consommatrices de climatisation. Il faut, comme le font beaucoup de tours "vertes", généraliser l'ouverture des fenêtres afin de faire, la nuit, du "free cooling" et de stocker de la fraîcheur dans la structure. La "Post Tower" de Bonn a mis ces dispositions en œuvre et a minimisé les besoins de rafraîchissement à 3 kWh/m²/an.

La consommation des auxiliaires

On peut la minimiser par des systèmes de pompes et de ventilateurs à vitesse variable, par une étude des réseaux pour qu'ils aient une faible perte de charge. Mais une tour, du fait des longueurs à parcourir pour les différents fluides, sera toujours très consommatrice en auxiliaires. Il sera difficile d'atteindre le niveau du bâtiment de la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Drôme situé près de la gare TGV de Valence (INEED) (5 kWh/m²/an d'électricité). Tablons sur 10 kWh/m²/an.

La bureautique

Nous avons montré depuis longtemps, par des campagnes de mesures, que la bureautique était un des problèmes fondamentaux à régler si on voulait faire des bâtiments à faible consommation. La consommation électrique moyenne en France est de 40 kWh/m²/an. L'usage de portables permettrait

de diviser par 10 cette valeur. On peut arriver donc à 4 ou 5 kWh/m²/an.

L'éclairage

Les solutions sont connues. Il faut diminuer le niveau d'éclairement dans les zones de bureaux (nous avons mis 150 lux dans le nouvel hôtel de la Région Rhône Alpes) et placer un éclairage individuel, - et si possible réglable -, sur la table de travail. Le niveau de consommation peut descendre à 5 ou 6 kWh/m²/an d'électricité, peut-être 8 dans une tour, à cause de la profondeur. Asservir ensuite l'éclairage à la présence et à l'éclairage naturel dans certains zones proches des fenêtres.

Les ascenseurs

C'est une difficulté importante dans les tours. Dans l'exemple allemand, ils représentent 15 % de la consommation totale d'électricité du bâtiment. On peut améliorer cela par des techniques qui fonctionnent bien dans les petits immeubles mais perdent un peu d'intérêt dans les tours (vitesse variable et suppression des réducteurs de vitesse à engrenages). Il existe aussi des ascenseurs, dits "double pont", comportant deux niveaux et desservant deux étages à la fois. Mais ils sont délicats à faire fonctionner. Les ascenseurs resteront toujours le point faible des tours. Et ils sont inévitables.

Bilan des cinq usages

Le bilan des dispositions précédentes, sur les cinq usages pris en compte dans le label BBC, est le suivant (attention, ici, toutes les surfaces sont des surfaces utiles) :

- chauffage : 5 kWh/m²/an
- rafraîchissement : 3 kWh/m²/an
- ventilation : 10 kWh/m²/an
- auxiliaires : 10 kWh/m²/an
- éclairage : 8 kWh/m²/an

Total de la consommation d'électricité :

36 kWh/m²utiles/an, soit, environ 32,5 kWh/m²shon/an. Soit, après conversion, 105 kWh/m²shon/an d'énergie primaire. On est loin des 60 kWh/m²shon/an recherchés...

Si on considère l'ensemble des usages (et pas seulement les cinq usages du label BBC), la consommation d'électricité pourrait être, au mieux, de 60 kWh/m² utiles/an, soit une consommation en

Bilan énergétique des tours

énergie primaire de 194 kWh/m²utiles/an, ou encore environ 175 kWh/m²shon/an. Mais il faudrait des efforts conséquents pour atteindre ce résultat. Il serait également aussi nécessaire d'associer les futurs utilisateurs lors de la conception de la tour, afin de leur faire comprendre très tôt le poids de leur comportement sur le résultat final.

Une tour productrice d'énergie

Reste l'idée de s'orienter vers des bâtiments à énergie positive. La production par éoliennes n'est pas, a priori, une bonne idée en site urbain (écoulement d'air très turbulent, ressources de vent réduites dégradant les performances). Il reste le photovoltaïque. Mais la toiture est totalement insuf-

fisante. Il faudrait placer des panneaux en façades. Compte tenu de la perte de rendement due au déficit d'ensoleillement sur les façades Est/Ouest et Nord, et surtout des ombres portées par les bâtiments proches, il faudrait couvrir intégralement la tour de photopiles pour un résultat de toute façon insuffisant et de fort mauvais rendement. Il est très peu probable que l'on arrive à obtenir un bâtiment à énergie positive. On en sera même très loin. Malgré les efforts importants que l'on pourrait faire, on voit que l'objectif qui sera imposé par le Grenelle de l'Environnement en 2012 à toutes les constructions neuves n'est guère compatible avec une tour, fût elle "verte".

Des matériaux gourmands en énergie

On ne trouve guère d'études détaillées sur le contenu énergétique des tours. Mais il est certain, que par leur taille et les sollicitations auxquelles elles sont soumises (charge, vent, etc), elles consomment beaucoup plus de matériaux au m² que n'importe quel autre type de bâtiment. Et de surcroît, elles consomment plutôt du béton et des aciers, matériaux à très fort contenu énergétique. Elles sont aussi dotées de réseaux intérieurs beaucoup plus denses (électricité, sécurité, courants faibles, circuits de commande, etc). Si on suppose qu'elles mobilisent en moyenne une quantité de matériaux double de celle d'un immeuble de bureaux ordinaire (dont on connaît le contenu énergétique), on peut dresser le bilan suivant du contenu énergétique (exprimé en énergie primaire/m²utile):

- Maison individuelle : 1000 kWh/m²
- Petit immeuble de bureaux : de 1500 à 2000 kWh/m²
- Tour : 3 à 4000 kWh/m²

Si on raisonne sur une valeur moyenne de 3500 kWh/m², le contenu énergétique d'une tour représente 18 années de la consommation totale de l'édifice, sans compter l'entretien et le renouvellement des matériels et matériaux sensiblement plus fréquent dans un immeuble de grande hauteur que

dans les autres bâtiments.

Généralement, on dresse le bilan à 50 ans des bâtiments pour juger de l'impact cumulé du contenu énergétique et des charges d'exploitation. Celui d'une tour très performante (dont la consommation d'électricité tous usages confondus serait de 60 à 80 kWh/m²utile/an) pourrait se situer autour de 13.500 à 16.500 kWh/m²utile d'énergie primaire. Par comparaison, le bâtiment de bureaux que Ener-tech a récemment présenté à Grenoble propose une consommation sur 50 ans de 2620 kWh/m²utiles, grâce notamment à la compensation de la consommation d'électricité par une production photovoltaïque identique. Le rapport de consommation entre un bâtiment très performant et une tour également très performante est proche de 6, malgré tous les efforts accomplis sur la tour... On pourra certainement améliorer un peu cette situation en utilisant des matériaux recyclés. Certaines tours "vertes" l'on déjà fait.

Malgré toutes les innovations techniques actuellement disponibles, une tour est structurellement très consommatrice en énergie. Il est difficile, voire impossible, d'espérer la voir un jour au niveau des bâtiments de bureaux performants tant l'écart est important.

Bilan énergétique des tours

L'influence des déplacements

Dernier élément à prendre en compte: l'énergie nécessaire aux déplacements pour se rendre de son domicile à son lieu de travail, la tour de bureaux. Faisons le calcul dans deux cas : le premier est celui d'un Parisien qui fait 5 km pour rejoindre la tour, le second celui d'un banlieusard qui parcourt 20 km. On suppose que les trajets sont effectués aller et retour, 225 jours par an. A partir des chiffres publiés par le Centre d'études et de recherches sur les transports urbains (CERTU) en 2002 fournissant la consommation d'énergie des différents modes de transport par passager/km, on peut calculer la consommation d'un usager ramené au m² de bureau. Un Parisien parcourant 10 km par jour ouvrable consomme environ 200 kWh par an en équivalent pétrole par m² de bureau. Mais seulement 18 kWh s'il prend le bus et 14 s'il utilise le tram.

Pour un banlieusard faisant quotidiennement ses 40 kilomètres, les chiffres correspondants sont les suivants: 645 kWh d'équivalent pétrole s'il utilise sa voiture et 73 kWh s'il emprunte le réseau de bus. Rappelons que, toujours ramené au mètre carré, le fonctionnement d'une tour très performance consomme 155 kWh par an d'énergie primaire. En d'autres termes, le salarié prenant sa voiture et

faisant quotidiennement 40 km aller et retour pour se rendre à son travail, consomme 4,2 fois plus d'énergie que ce qu'il consomme dans la tour, son lieu de travail, tous usages confondus ! Pour l'usager habitant en ville et faisant 10 km par jour en voiture, le bilan est meilleur mais reste lourd : 200 kWh/m²/an, soit 1,3 fois plus que ce qu'il consomme sur son lieu de travail...

On voit que seule l'utilisation des transports en commun permet d'améliorer le bilan. Si le salarié habitant à 20 km prend un bus, il ne consomme plus que la moitié de l'énergie qu'il consomme sur son lieu de travail. Quant à celui qui habite à 5 km, s'il peut rejoindre la tour en tramway, sa consommation de transport dégringole à 10% de sa consommation annuelle dans la tour.

Ces quelques exemples montrent, que d'un point de vue énergétique, la question des liaisons de la tour avec le reste de l'agglomération est fondamentale. La plupart des tours sont au centre des villes, parce qu'elles sont alors au noeud des transports en commun. Eloigner une tour d'un centre ville suppose de la desservir par des liaisons spécifiques à créer (comme le RER dessert la Défense dans les Hauts-de-Seine).

Conclusion

Dans la perspective des nouvelles directives issues du Grenelle de l'Environnement, les tours, fussent-elles trois fois plus performantes que les meilleures du monde actuellement en service ne pourront pas satisfaire les exigences réglementaires et présenter un niveau de consommation suffisamment bas. Le recours à la production photovoltaïque sur l'ensemble des façades de la tour pourrait un peu améliorer cette situation, mais pas de façon assez significative.

Le contenu énergétique des tours est lui aussi beaucoup plus élevé que celui d'un bâtiment classique, mais on dispose de peu d'éléments précis sur le sujet.

Enfin, la question de la liaison entre la tour et le tissu urbain qu'elle draine est essentielle. Une tour ne peut qu'être située sur un axe de transports en commun très dense. Faute de quoi, les usagers prendront leur voiture, ce qui déséquilibrera définitivement le bilan énergétique.

Dossier réalisé par Olivier Sidler,
Energéticien
Directeur de la société Enertech
26160 Felines-sur-Rimandoule
tél/fax 04 75 90 18 54
sidler@enertech.fr
www.enertech.fr

Pour se procurer ce dossier : IDFE, 54 avenue Edison, 75013 Paris. Tél. : 01 45 82 42 34 - Courriel : idfe75@gmail.com - Site : www.idfe.org