



**CTB**

**LES CAHIER  
TECHNIQUES  
DU BÂTIMENT**

**N°375**

# L'EFFICIENCE AU SOMMET

**Construire des tours autrement p.41**

**EXPÉRIMENTATION**  
**Vers le DCE**  
**numérique p.16**

**COÛTS**  
**Quatre**  
**conservatoires**  
**franciliens**  
**à l'étude p.23**

**CHANTIER**  
**Nouvelle ère**  
**pour soufflerie**  
**climatique p.28**

# LE RENOUVEAU DES TOURS

Loin de la course à la hauteur observable à l'international, la construction de tours dans l'Hexagone est revitalisée par quelques projets emblématiques, en neuf ou en rénovation, qui inscrivent la question de la ville verticale au cœur des enjeux énergétiques et environnementaux.

*Dossier coordonné par Félicie Geslin*

- 1 CONCEPTION**  
Une nouvelle génération d'IGH ..... p. 42
- 2 RÉNOVATION**  
L'heure des restructurations ..... p. 44
- 3 PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE**  
Des consommations optimisées ..... p. 46
- 4 RISQUE INCENDIE**  
Mieux protéger  
du feu en résidentiel ..... p. 49
- 5 CIRCULATIONS VERTICALES**  
Ascenseurs pour l'ingéniosité ..... p. 50
- 6 VÉGÉTALISATION**  
Du vert en hauteur ..... p. 52
- Notre sélection de produits** ..... p. 53

## CONCEPTION

1



La tour Les Jardins de l'Arche (La Défense), des Ateliers 2/3/4/, évoque une ville verticale où se superposent plusieurs hôtels, un centre d'affaires, des bureaux, des espaces de restauration, un club de sports...



Photos Ateliers 2/3/4/

# UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'IGH

Plus audacieuses dans leur forme et leur traitement architectural, les nouvelles tours se préoccupent également davantage de leur rapport à leur environnement extérieur.

**D**es programmes récents à Paris et en province, dans les villes de Lyon (69), Marseille (13), Bordeaux (33), Toulouse (31), Lille (59)... témoignent d'un regain de la construction des immeubles de grande hauteur en France. Les projets culminent entre 150 et 200 m, rarement au-delà. «À partir de 200 m, les constructions passent dans la catégorie des ITGH (immeuble de très grande hauteur) et sont soumises à des exigences supplémentaires», note Pauline Bleicher, directrice de projets chez Setec Bâtiment.

Parmi les exceptions figurent la tour Hekla en construction à La Défense (220 m) et quelques projets à venir, dont les tours Sisters et Hermitage, qui devraient rejoindre le cercle restreint formé par la tour First (231 m) et la tour Montparnasse (230 m après réhabilitation). Loin d'égaliser en al-

titude les dernières réalisations internationales, la nouvelle génération de gratte-ciel français apparaît de plus en plus élancée. Un affinement souvent gagné au prix d'une optimisation de leur noyau, élément qui renferme l'ensemble des gaines techniques, des circulations verticales, et dimensionne la largeur minimale des plateaux.

### Des projets à forte identité

Pour Emmanuel Viglino, directeur du BET Arco-ra, «le point commun entre les tours actuelles, c'est qu'aucune ne se ressemble. Les différences se situent dans leur morphologie, leur architecture et dans la déclinaison technique qui en résulte, laquelle nécessite une ingénierie de conception forte». Quel lien en effet entre les façades à brise-soleil colorés de la Marseillaise, dessinée par Jean Nouvel, et la tour Alto de IF Architectures, dont les écailles

de verre habillent une géométrie complexe qui s'évase vers le haut? Mais les nouvelles tours se distinguent également par leur capacité à se réinventer et à proposer de nouvelles pistes de réflexion. Ainsi que l'expose Jean Mas, architecte des Ateliers 2/3/4/, « l'une d'elle consiste à imaginer que la tour n'est pas un aquarium, un bocal totalement fermé, mais qu'elle est capable, comme n'importe quel projet d'architecture, d'avoir un rapport à son environnement ».

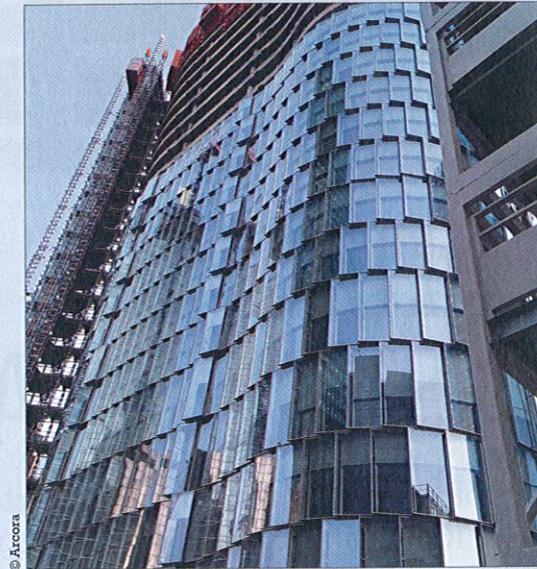
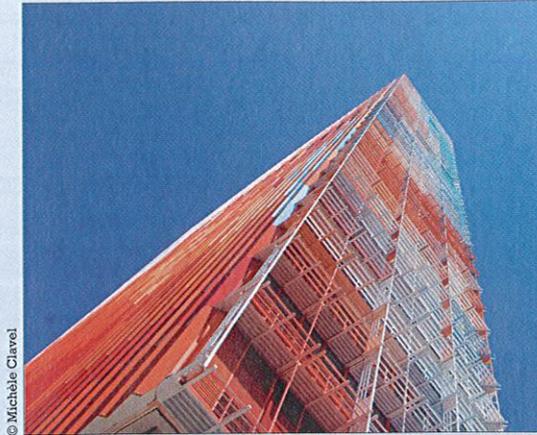
Dans plusieurs projets récents, la question de l'ouverture va de pair avec une meilleure prise en compte de la notion de confort et se traduit notamment par l'intégration d'ouvrants de ventilation en façade qui permettent un renouvellement d'air naturel des plateaux, ou par l'aménagement d'espaces à l'air libre, souvent végétalisés.

Plus largement au niveau local, « les mairies souhaitent que les tours ne soient pas seulement destinées aux actifs qui y travaillent, mais qu'elles puissent amener un peu de vie de quartier par une terrasse ou un café accessible au public, des espaces ou activités dédiés aux riverains, des halls traversants... », rapporte Pauline Bleicher.

Un autre sujet est celui de la mixité d'usages qui conduit à superposer des programmes variés, tertiaires, résidentiels, hôtels, crèches, centres de conférences, espaces de restauration... et favorise l'animation à l'intérieur des bâtiments, quelle que soit l'heure de la journée. Dans le projet des Jardins de l'Arche des Ateliers 2/3/4/, la tour mêle cinq programmes différents, s'organisant telle une ville verticale, avec ses avenues, ses petites rues, ses quartiers et placettes. L'idée d'une réversibilité des usages progresse également, conduisant sur certains programmes à dimensionner l'ensemble notamment avec la hauteur sous dalle la plus contraignante.

### Objets complexes

Sur le plan constructif, les choix techniques sont largement motivés par la stratégie thermique globale du bâtiment et les labellisations environnementales (HQE, Leed, Breeam) ou d'usages (Well ou Osmose) de plus en plus recherchées par les maîtres d'ouvrage. Pour autant, la tendance est aux structures poteaux/poutres qui permettent de libérer les volumes intérieurs des porteurs verticaux et de dégager les vues sur l'extérieur, tout en ouvrant les plateaux à la lumière naturelle.



A

B

A. À Marseille, la tour dessinée par Jean Nouvel pour Constructa se distingue par son enveloppe chromatique animée de brise-soleil en BFUP sur 135 m de hauteur.

B. La façade double peau de la tour Alto se compose, sur l'extérieur, d'une façade en écailles de verre.

Si la culture du béton est majoritaire en France, « en conception, on étudie aussi la faisabilité d'une structure métallique, ou bois, ce que l'on ne faisait pas avant », remarque Pauline Bleicher. Une évolution qui a bénéficié à la tour D2 à La Défense, associant noyau béton et exosquelette métallique. En façade, la double peau remplace la simple peau, et permet la concentration de fonctions qui vont d'un traitement acoustique de plus en plus élaboré, pour se couper de l'environnement extérieur et des bruits de local à local, à une isolation thermique et une protection solaire renforcée. « La mise en œuvre d'une double peau permet également de dissocier un calepin intérieur, généralement tramé à 1,35 m, et une trame extérieure qui peut s'en affranchir. Cela permet d'avoir des aspects extérieurs soit beaucoup plus lisses, soit avec des trames aléatoires et variables », résume Emmanuel Viglino.

Virginie Pavie

Chacune des fenêtres des tours Pascal de La Défense, construite par Henri La Fonta et restructurée par Dominique Perrault, se voient actuellement apposer un panneau de verre carré, distant de 20 cm, destiné à améliorer le confort thermique.



## L'HEURE DES RESTRUCTURATIONS

Des programmes d'envergure apportent un nouveau souffle à des IGH vieillissants tout en les adaptant à l'évolution des exigences et des usages.

**F**açades mal isolées, parfois en simple vitrage, équipements obsolètes, cloisonnements contraints... Le constat est souvent défavorable pour les tours de première génération, construites au cours des années 70 et 80. Si une rénovation lourde constitue le point de passage vers une remise aux normes – étape déjà franchie pour de nombreux IGH –, elle est l'occasion pour les maîtres d'ouvrage de repenser l'intégralité des programmes. Il s'agit aussi bien de diversifier l'offre de bureaux, que d'apporter de la mixité d'usages (quitte à reconverter une tour de bureaux en complexe hôtelier, comme c'est le cas de la tour Pleyel, à Saint-Denis (93)) et de mettre l'accent sur les performances et le confort des utilisateurs, en visant des standards élevés, tels les labels HQE Rénovation, Breeam, Well et Effinergie BBC Rénovation...

### Curage et désamiantage

Les projets actuels se situent principalement à Paris et de manière plus ponctuelle en province. La majorité consiste à repartir du squelette d'origine, une structure souvent composée d'un noyau et de poteaux ou voiles porteurs en béton, pour asseoir nouveaux aménagements et équipements. La rénovation de la tour Montparnasse (Paris) fait figure d'exception en conservant 80% de la façade existante, tout en relevant ses performances au niveau du Bepos.

Mettre à nu les éléments structurels permet d'optimiser les hauteurs sous-plafond, en optant pour les solutions techniques les plus fines du marché (plafonds actifs plutôt que ventilo-convecteurs, amenées d'air par les circulations, faux planchers minces...), mais impose de déposer toute l'enveloppe, les installations techniques et l'intégralité

du second œuvre. Les travaux de curage sont généralement précédés d'un désamiantage, l'amiante ayant souvent été employé dans les flocages, joints de murs-rideaux, colles des dalles de sol... Dans ces opérations, la difficulté tient autant aux quantités de matière et qu'aux hauteurs d'intervention. Dans le cas de la tour Pleyel, ce sont quelque 740 tonnes d'amiante et 12 000 tonnes de déchets de second œuvre qui ont été déposés et évacués à l'aide de deux monte-charge extérieurs.

### Intervenir en façade plutôt que sur la structure

Lorsque des modifications sont entreprises sur la structure, celles-ci sont circonscrites à des étages ou éléments porteurs afin de ne pas déstabiliser l'ensemble de la tour ni alourdir le budget. Les travaux de gros œuvre se doublent parfois d'une extension de l'existant quand des opportunités de densification sont envisageables.

Dans le cadre de la restructuration des tours Pascal, à La Défense, le projet de l'agence Dominique Perrault prévoit ainsi de rehausser les deux IGH de deux niveaux pour créer un *roof-top* accessible. L'intervalle de 8 m entre les tours est mis à profit pour édifier un nouveau corps de bâtiment dont les plateaux métalliques permettront de relier les deux entités d'origine. En pied d'immeubles, les espaces d'accueil gagnent en volume par un grignotage ci-

## FOCUS

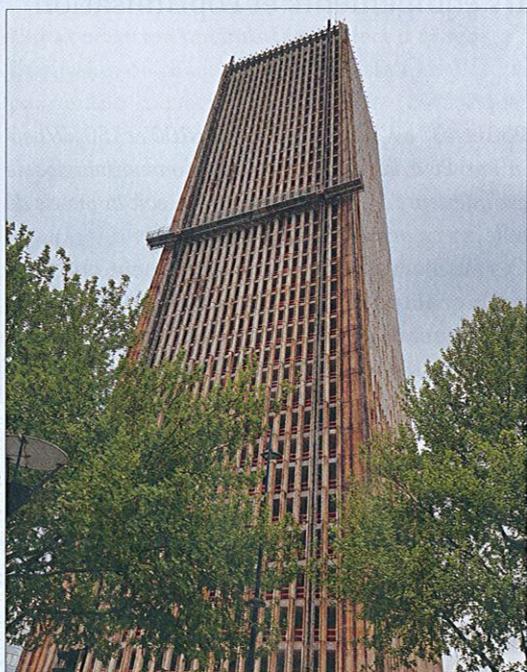
### Tour Silex2

Le programme Silex2, à Lyon (69), est le fruit d'une réflexion urbaine entamée il y a une dizaine d'années pour moderniser l'offre de bureaux et de services, tout en valorisant le patrimoine du quartier de la Part-Dieu. Conçu par MA Architectes & Arte Charpentier pour la Foncière des Régions, il réunit l'ancienne tour EDF des années 70 entièrement désossée (photo) et rénovée pour l'occasion, une extension de 23 étages accolée en face nord, et un bâtiment R+9 de type ERP, formant l'alignement avec la voirie et la liaison avec Silex1.

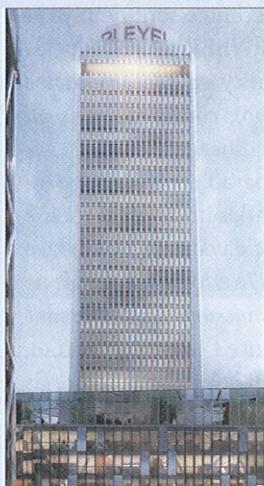
« L'agrandissement permet d'optimiser le noyau existant de la tour et de porter à 20 000 m<sup>2</sup> sa surface utile », note Raquel Milagres, ingénieur architecte à l'agence Arte Charpentier. L'IGH rapporté est réalisé sur un principe d'exosquelette en structure métallique, avec planchers mixtes. Ici, le choix du métal a permis d'alléger la descente de charges sur le terrain environnant. Le projet recrée le lien avec la rue en déplaçant le hall d'accueil de la tour du R+2 au RDC. Pour limiter l'intervention sur la structure existante, des escalators assurent la liaison. ■



© Arte Charpentier



Les plateaux de bureaux de la tour Pleyel, à Saint-Denis (93), seront prochainement transformés en chambres d'hôtel, un complexe attendant devant compléter l'opération.



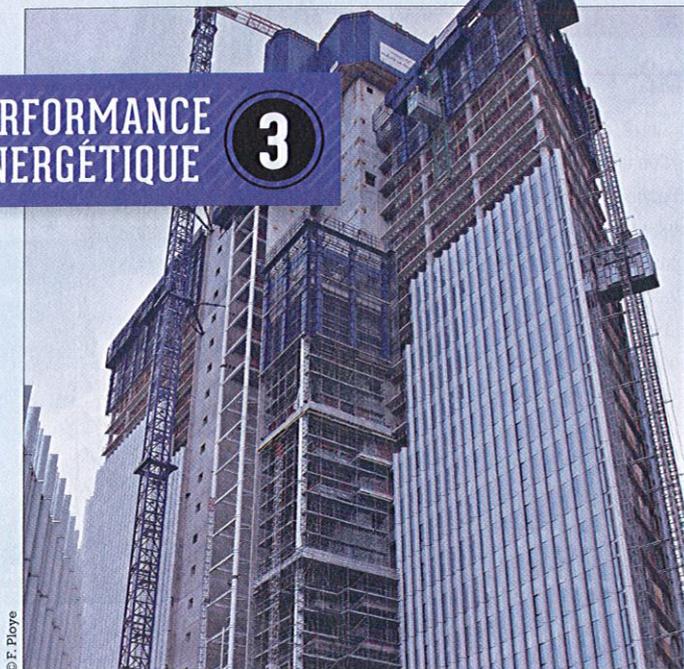
blé de la structure. Un autre exemple est celui de l'opération Silex2, à Lyon (69), des agences Arte Charpentier & MA Architectes, qui se compose d'une tour existante réhabilitée, contre laquelle vient s'adosser une extension contemporaine. En façade, la rénovation des tours implique la réalisation d'une nouvelle peau isolée par l'extérieur et la pose de menuiseries performantes dans le respect des trumeaux et trames existantes.

Toujours sur les tours Pascal, elle passe par la création d'ouvrants de confort dans tous les bureaux. Pour ralentir la vitesse du vent sur la façade, une écaille de verre est rapportée à 20 cm devant chaque fenêtre, où elle fait également office de garde-corps. À l'intérieur, les installations techniques sont refaites à neuf, et souvent déplacées en sous-sol pour dégager de nouveaux espaces de détente en toiture. L'efficacité énergétique est un défi de taille. La tour Montparnasse rénovée devrait ainsi diviser par dix ses consommations, en ayant recours à une ventilation majoritairement naturelle. Sur tous les projets, on notera également l'important travail mené sur les aspects de coupe-feu et d'acoustique, mais aussi sur le déplacement de la lumière naturelle vers l'intérieur.

Virginie Pavie

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

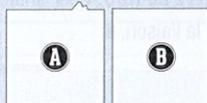
3



© F. Ploye



© RPBW, Sergio Craxia



**A.** La tour Trinity, actuellement en construction, est conçue en trois blocs en R+25, R+30 et R+33.

**B.** Panneaux photovoltaïques en façade est du Tribunal de Grande Instance de Paris.

# DES CONSOMMATIONS OPTIMISÉES

Bâtiments tertiaires coûteux, les IGH ont gagné en sobriété par la qualité de leurs façades, la performance de leurs équipements et l'optimisation des réseaux de distribution.

La performance énergétique des nouveaux IGH a été améliorée ces dernières années. Les tours les plus récentes sont de niveau BBC (CEP de 90 kWhEP/m<sup>2</sup>.an sur les tours Incity et Trinity et de 71 pour les futures tours Hekla et Duo), conformément au calcul théorique sur les cinq usages RT2012. Atteindre le niveau Bepos apparaît cependant beaucoup plus difficile que pour des immeubles moins hauts et plus compacts avec davantage de surface de toitures (voir tableau p. 47). « Mais ces calculs ne sont guère significatifs et les mesures réelles ne sont pas toujours disponibles, pointe Christian Gerinte, ingénieur expert chez Barbanel. À La Défense, les consommations tous usages des premières tours oscillent autour des 650 à 700 kWhEP/m<sup>2</sup>.an. Sur les tours plus récentes et bien exploitées, on descend entre

280 et 400 kWhEP/m<sup>2</sup>.an et entre 100 et 150 kWhEP/m<sup>2</sup>.an. Pour la tour Incity, la consommation globale est inférieure à 300 kWhEP/m<sup>2</sup>.an, soit la moitié de celle des premiers IGH de la Défense. »

Ces améliorations sont essentiellement obtenues par la qualité des façades, la protection solaire utilisée de manière différenciée en fonction de leur orientation, le choix des matériaux et des isolants employés et l'usage de systèmes de double peau. Par ailleurs, les équipements sont plus performants et mieux régulés avec de l'éclairage à Leds, des ascenseurs moins gourmands, des DRV ou thermo-frigo pompes pour le froid, des pompes à débit variable et une ventilation double flux à récupération d'énergie dont le débit d'air hygiénique est régulé sur sondes de CO<sub>2</sub> et capteurs de détection de présence. Plus difficile à optimiser pour un

## FOCUS

## Refroidissement à l'eau de mer pour La Marseillaise

Avec ses 135 mètres de hauteur et ses 31 niveaux, la tour La Marseillaise de Jean Nouvel a été livrée en juillet 2018. Étant donné le climat tempéré de Marseille, le dimensionnement en puissance froid est de 2693 kW et en chaud de seulement 1255 kW.

« L'émission dans les bureaux est par ventilateur-convecteur deux tubes-deux fils et l'ensemble affiche une très bonne performance RT2012, avec un gain par rapport au Cepmax supérieur à 30 %, détaille Zied Aissaoui, chez Alto Ingénierie. La position des locaux techniques est importante. Ils sont essentiellement situés dans les niveaux sous-sol et N18 pour la partie hydraulique, N01 et toiture pour la distribution aéraulique. » Le bureau d'études avait une mission de maîtrise d'œuvre

et d'AMO Environnement. Une spécificité du projet est le commissionnement confié à Artelia afin de garantir la qualité du projet en toute transparence et indépendance.

« Comme le réseau urbain Thassalia exploitant les frigories de l'eau de mer est mobilisé uniquement pour le froid de la tour, le schéma hydraulique est simplifié avec uniquement une distribution d'eau glacée équilibrée par des vannes auto-équilibrantes de type EnergyValve. Le commissionnement a en particulier aidé à vérifier la qualité des dizaines de milliers de points de données de la GTB. Une forte implication des différents acteurs a été nécessaire pour réussir cette mission », complète Yacine Allab, docteur en énergétique chez LHIRR, sous-traitant d'Artelia. ■



Locaux techniques en sous-sol avec échangeurs pour le circuit d'eau glacée et pompes de distribution.

IGH: les grandes longueurs de réseaux centralisés de distribution entraînant des pertes de charges. La distribution hydraulique en hauteur nécessite l'usage de pompes à pression variable fonctionnant à une valeur de service supérieure à celle nécessaire en traditionnel (10 ou 16 bars max) et la consommation électrique des auxiliaires, en particulier pour la ventilation, représente un poste important.

### Une conception optimisée par blocs d'étages

L'émission de chaud et de froid se fait en plafond par ventilateur-convecteurs, par poutres climatiques ou par plafonds rayonnants. « L'IGH peut être divisé en plusieurs zones – basse, intermédiaire et haute –, ce qui permet de concevoir les systèmes de ventilation, chauffage et rafraîchissement de manière un peu plus indépendante pour limiter les distances entre la production et l'émission, explique Oscar Hernandez, ingénieur et responsable de pôle Simulation chez Alto Ingénierie. Une attention particulière doit être portée à la longueur des réseaux et au cheminement des fluides, en organisant la ventilation et les CTA par zones. La conception peut être optimisée sur des blocs de quatre à cinq étages. Le chaud ou le froid peuvent être produits en fonction des besoins suivant l'orientation de la façade. Il faut aussi optimiser la position des locaux techniques. » Quant à l'ECS, elle représente en tertiaire une consommation faible qui peut se faire par ballons électriques décentralisés.

### Choix limité en production d'énergie

En IGH, le recours à des réseaux urbains de chaleur et de froid est prioritaire. Ils limitent la surface de locaux techniques et s'avèrent plus simples à exploiter. Ainsi, les bâtiments du quartier de La Défense sont alimentés par le réseau de chaud et de froid d'Enertherm avec un taux de 25 % d'énergie renouvelable.

À Paris, les futures tours Duo seront alimentées en chaud par le réseau CPCU et en froid par le réseau Climespace, filiale de GDF Suez, qui ■■■

### Comparatif de consommation

Projet	Livraison	Lieu	RT applicable	Conso, Cep (kWh/m <sup>2</sup> .an)	Gain sur Cep-max
CB21 *	2009	La Défense	RT 2005	130	ND
Prisma *	2011	La Défense	RT existant	99	ND
First *	2011	La Défense	RT 2000	173	10%
Horizons	2011	Boulogne-Billancourt	RT 2005	147	14 %
Carpe Diem	2013	La Défense	RT 2012	92	22 %
Majunga	2014	La Défense	RT 2005	79	59 %
D2	2014	La Défense	RT 2012	80	ND
EQHO *	2014	La Défense	RT existant	84	40 %
La Marseillaise	En cours	Marseille	RT 2012	108	4 %
Incity	2015	Lyon	RT 2012	90	10 %
Trinity	2017	La Défense	RT 2012	90	30 %
Hekla	2018	La Défense	RT 2012	71	47 %
M2	2020	La Défense	RT 2012	80	40 %
Duo 1	2020	Paris 13°	RT 2012	71,2	49 %
Duo 2 (dont hôtel)	2020	Paris 13°	RT 2012	84,9	41 %

\* Projet en restructuration

Source: enquête publique liée au DFC des tours Duo

## FOCUS

## Ventilation semi-décentralisée pour la tour Trinity

La tour Trinity, actuellement en chantier, a la particularité d'être construite sans foncier sur la sortie de l'A14. Une nouvelle dalle arborée relie la dalle de logements de Puteaux et la dalle du quartier de La Défense et supporte le nouvel édifice de 140 m de hauteur. «*Nous avons conçu ce projet en apportant aux usagers de la lumière naturelle, et à chaque niveau l'accès à des espaces extérieurs, des terrasses arborées pour 80% des niveaux ou des balcons*, décrit l'architecte Jean-Luc Crochon, de l'agence Cro & Cro. *De même, le confort d'été a été pris en compte avec des typologies différentes de façades suivant l'orientation, une double peau au sud, à l'ouest des filtres avec des lames de verre sérigraphiées en protection solaire et*

*au nord une simple peau.* » Le réseau urbain Enertherm alimente la tour en eau chaude et glacée avec émission en ventilo-convecteurs quatre tubes. Le traitement d'air se fait au plus près avec deux CTA par niveau et des prises d'air en façades, de manière à minimiser les pertes de charge et à réduire les longueurs de gaines. La consommation d'énergie peut ainsi s'adapter en toute flexibilité aux usages qui peuvent varier en fonction des locataires des bureaux. «*Avec deux CTA par niveau soit une par compartiment incendie W2, il s'agit d'une solution semi-décentralisée à haut rendement de récupération avec des CTA sans batterie*», souligne Laurent Bernard, directeur technique associé chez Barbanel (BE fluides). ■



© F. Ploye

Les CTA sont semi-décentralisés avec deux centrales par niveaux.

■ ■ ■ utilise en partie l'eau de la Seine et affiche un taux de 25 % d'EnR. Mais l'immeuble le plus « vert » se trouve à Marseille (13). Il s'agit de la tour La Marseillaise, alimentée en eau glacée pour son rafraîchissement par le réseau urbain Thassalia d'Engie. Ce réseau exploite une centrale de thalassothermie qui valorise l'énergie calorifique de l'eau de mer puisée à sept mètres de profondeur. Il irrigue le nouveau quartier Euromed 1 en chaud et en froid avec un taux de 70 % en énergie renouvelable.

La production d'énergie renouvelable *in situ* est rendue difficile en IGH du fait de la faible emprise au sol et d'une surface limitée en toiture. Un peu de panneaux solaires peut être posé en toiture ou en façades comme au TGI de Paris qui est équipé de panneaux photovoltaïques sur sa façade est. Et la tour La Marseillaise accueille sur

sa toiture une centrale solaire thermique d'une surface d'environ 80 m<sup>2</sup>, qui fournit une partie des besoins en ECS pour le RIE complété par appoint électrique. La chaleur fatale d'un *data center* ou des eaux grises peut aussi être récupérée. Une piste pour obtenir un bon volume de production est l'aquathermie ou la géothermie. Illustration en est donnée avec la tour Oxygène située dans le quartier de la Part-Dieu, à Lyon (69), réalisée sous la maîtrise d'œuvre d'Arte Architectes, avec Barbanel en qualité de BET Fluides, qui a été livrée en 2010. «*Sur ce projet, l'installation climatique consiste en thermofrigo pompes sur eau de la nappe phréatique, ce qui offre un très bon rendement de production énergétique*, précise Christian Gerinte. *Nous avons obtenu l'accord de la Ville pour réinjecter l'eau pompée un peu plus loin vers l'auditorium après passage dans les échangeurs. Car l'emprise au sol de la tour est trop faible pour pouvoir réinjecter l'eau pompée sur site.* »

### La piste de l'éolien

Les tours étant souvent bien ventées en hauteur, une possibilité de production d'énergie pourrait être l'éolien bien que les réalisations soient rares. Pour la tour Incity, une étude avait été réalisée au démarrage du projet pour positionner une éolienne de forte puissance en toiture mais l'idée a été abandonnée. L'installation était trop complexe et atypique pour les fabricants d'éoliennes. À l'étranger, il existe des exemples médiatisés comme la Shanghai Tower équipée de 200 turbines éoliennes de faible puissance dans son dernier niveau. Ou encore la tour Pearl River, à Guangzhou, en Chine, de l'architecte Adrian Smith, dont la forme est inspirée des éponges qui absorbent au mieux l'énergie des courants marins de leur environnement. D'imposantes turbines à axe vertical ont été placées au milieu de la façade de la tour afin d'absorber et récupérer l'énergie éolienne au lieu de chercher à lutter contre la force du vent.

Parmi les projets innovants, il faut citer les bio-façades actives contenant des micro-algues, une technologie développée par l'agence XTU Architects et ses partenaires du consortium SymBIO2. La micro-algue se nourrit de déchets comme les eaux usées du bâtiment et consomme le gaz carbonique émis par les chaudières tout en générant de l'oxygène.

François Ploye

# MIEUX PROTÉGER DU FEU EN RÉSIDENTIEL

4

RISQUE  
INCENDIE

Les dispositions de la sécurité incendie des IGH ont fait leurs preuves en France. Pour le résidentiel entre 28 et 50 m, la réglementation se renforce avec la création des immeubles de moyenne hauteur.

Un immeuble est dit de grande hauteur à partir de 50 mètres pour le plancher haut des immeubles à usage d'habitation et à partir de 28 mètres pour tous les autres immeubles. Les IGH sont soumis, selon leur type, à un règlement de sécurité particulier (arrêté du 30 décembre 2012).

Un premier principe est le compartimentage avec des niveaux isolés les uns des autres (en particulier avec la règle du C+D en façade) et des demi-compartiments par niveau. Les séparations doivent à la fois présenter des propriétés coupe-feu et une étanchéité à la fumée. De plus, l'usage de matériaux combustibles est limité.

Parmi les autres points importants figurent la conception de circulations horizontales communes (CHC) et verticales pour une évacuation rapide des occupants, la détection rapide de l'incendie et la mise à disposition de moyens efficaces de lutte contre l'incendie. Le coût cumulé des mesures imposées au titre de la réglementation IGH, aussi bien lors de leur construction que de leur exploitation, s'avère dissuasif. Raison pour laquelle la construction d'IGH en France s'est limitée ces dernières années à des immeubles de bureaux de prestige. Il n'est pas rare de construire juste à la limite de l'IGH pour ne pas devoir suivre une réglementation incendie beaucoup plus contraignante et plus coûteuse (tours Elithis à Dijon (21) et Strasbourg (69), tours bois Hyperion et Silva à Bordeaux (33)).

## La loi Élan crée les IMH

En répercussion de l'incendie mortel de la tour Grenfell de juin 2017, à Londres, un rapport du CSTB publié dans la foulée a pointé la faille sécuritaire dans la réglementation française concernant les immeubles dits de quatrième famille, celle des résidences d'une hauteur comprise entre 28 et 50 mètres. La nouvelle loi Élan s'efforce de répondre à cette problématique sécuritaire en créant



© F. Ploye

Rénovation en 2018 de la tour Ravel à Sarcelles (95) par l'agence Équateur et Léon Grosse. Cette résidence sociale de quinze étages appartient à la quatrième famille. Après un incendie en 2016 qui a causé neuf blessés légers, il a été décidé – en lieu et place d'un simple lifting des façades – de procéder à une dépose complète des façades existantes et à leur remplacement par des panneaux préfabriqués.

les IMH (immeubles de moyenne hauteur) destinés à remplacer cette catégorie d'immeubles de quatrième famille. Le but est d'harmoniser et de simplifier les réglementations existantes, en particulier incendie, entre les immeubles de bureaux et de logements pour cette catégorie de hauteur.

Outre une meilleure sécurité, un objectif avoué de la loi Élan est de faciliter la réversibilité des bureaux en logements. Les points qui vont être renforcés et qui sont encore en discussion pour finaliser le décret d'application portent sur la propagation d'incendie par les façades par une limitation de la combustibilité des produits, le désenfumage mécanique des circulations communes et la sanctuarisation des escaliers.

François Ploye

CIRCULATIONS VERTICALES

5

Détail de la gaine vitrée des ascenseurs panoramiques (système Twin de Thyssenkrupp) de la tour Trinity sur exosquelette.



© F. Ploye

# ASCENSEURS POUR L'INGÉNIOSITÉ

Les ascenseurs représentent un important poste de consommation électrique. Les fabricants rivalisent ainsi d'innovation afin de proposer des équipements plus efficaces, avec une meilleure qualité de service.

**D**ifficile de se passer d'ascenseurs dans un IGH. Ces équipements doivent être fiables, disponibles et consommer le moins d'énergie et d'espace possible. Ce marché exigeant est partagé par cinq géants: Kone, Otis, Thyssenkrupp, Schindler et Mitsubishi Electric. En termes de conception, les gaines d'ascenseurs sont séparées en plusieurs batteries, chacune d'une quinzaine de niveaux, haute et basse, ce qui permet de compartimenter l'édifice pour l'incendie.

Sur le plan de l'énergie, les technologies de moteurs ont évolué, avec la généralisation des moteurs à aimant permanent, moins consommateurs que les anciens moteurs *gearless* fonctionnant en courant continu. Les nouvelles armoires de commande se mettent en veille lorsque les ascenseurs ne sont pas utilisés. Deux autres innovations marquantes

résident dans la récupération d'énergie sur le freinage et la manœuvre par sélection de destination (ou DSC pour *Destination Selection Control*) qui aide à optimiser les déplacements des ascenseurs.

## Réduire l'espace des gaines

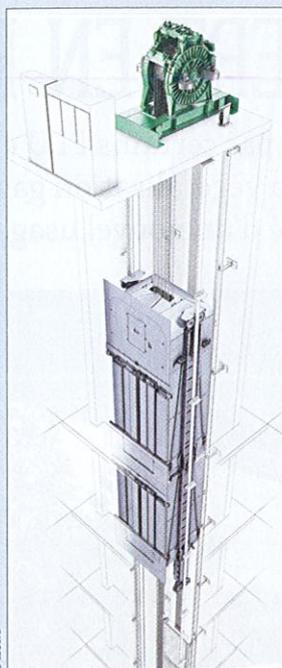
Des technologies associant deux cabines dans la même gaine comme Twin ou le double-pont aident à réduire l'espace nécessaire aux gaines. Le système Twin de Thyssenkrupp est doté de deux cabines indépendantes superposées dans une seule cage. La capacité de transport offert est équivalente pour un gain d'espace de l'ordre de 25%. L'ascenseur est associé à un dispositif de sélection de destination intelligent qui achemine plus rapidement les passagers en regroupant les personnes souhaitant accéder au même étage. Avec deux cabines dans la même gaine, le noyau est optimisé, mais le sys-

tème doit conserver au moins deux étages entre les cabines. Parmi les références figurent la tour D2 et les futures tours Trinity et Hekla. La technologie proposée par les quatre autres fabricants est celle du double-pont avec deux cabines solidaires l'une sur l'autre, tandis que la cabine classique seule se nomme simple-pont. La configuration à double-pont permet aussi de réduire le nombre de gaines nécessaires et donc l'occupation du noyau. Un système double-pont de chez Otis va ainsi être installé sur la tour Alto. Plus audacieux, le système Multi, présenté par Thyssenkrupp mi-2017, compte une dizaine de cabines se déplaçant dans la même gaine sans l'aide de câbles et avec des moteurs embarqués sur les cabines. Les déplacements peuvent être verticaux et horizontaux.

### Économies d'énergie et optimisation des flux

La récupération d'énergie sur freinage (ou régénération) est proposée par tous les fabricants soit de base soit en options et son usage s'est banalisé sur les nouveaux IGH. Une contrainte de la mise en œuvre est la nécessité en mode secours d'auto-consommer le courant généré en l'envoyant sur le réseau électrique de l'immeuble ou en le dissipant dans des bancs de charges résistives. Car le courant généré ne peut pas être envoyé au groupe électrogène. Il est aussi possible en mode secours de réduire les vitesses des moteurs, de cadencer le démarrage, etc. afin de réduire le courant généré. Pour commander les ascenseurs, on peut choisir entre la manœuvre conventionnelle – appeler l'ascenseur puis sélectionner l'étage – et la manœuvre par prédestination. Dans ce cas, la destination est indiquée depuis le palier, ce qui permet au système par algorithme d'optimiser le trafic et les déplacements. Par exemple, sur les tours Saint-Gobain et Duo, vont être installés des ascenseurs simple-pont, mais avec manœuvre à prédestination. Au-delà de la gestion des ascenseurs, les fabricants développent des solutions de gestion intelligente de flux de personnes en incluant les déplacements horizontaux. Ces systèmes de gestion du trafic type People Flow de Kone ou Schindler Port, exploitent les données des utilisateurs préalablement enregistrées, afin de gérer les destinations de chacun au travers du bâtiment. Dès l'entrée, le système affecte à une personne un ascenseur dédié et optimise son trajet *via* des informations sur son badge ou son smartphone.

François Ploye



© Kone



© F. Ploye

A. Schéma d'un système double-pont de chez Kone.

B. Dans la tour Saint-Gobain (La Défense), les ascenseurs Schindler sont simple-pont, avec manœuvre par prédestination.

### AVIS D'EXPERT



#### Jean-François Quivrin

Directeur régional du BET MovvéO\*, spécialisé dans les ascenseurs pour le tertiaire

## « Le dimensionnement est déterminé par les pics de fréquentation »

### Comment se dimensionnent les ascenseurs ?

Les critères nécessaires au dimensionnement sont la fréquentation du bâtiment, le positionnement de services dans ce dernier et la qualité de transport (défini par des critères programmatiques comme la capacité de transport et le temps d'attente moyen). Lors des simulations de trafic, le dimensionnement, pour un immeuble de bureau, est déterminé par les cinq minutes de pointe du matin et du midi.

### Quelles innovations pour économiser l'énergie ?

La récupération d'énergie sur freinage couplée à la manœuvre par destination permet de gagner environ 30% d'énergie. À titre d'exemple, lors de la modernisation de la tour Ariane, le recours à cette technologie a permis d'avoir seulement cinq ascenseurs par batterie au lieu de six. La manœuvre par prédestination est de plus en plus utilisée, y compris pour des immeubles de huit à neuf étages.

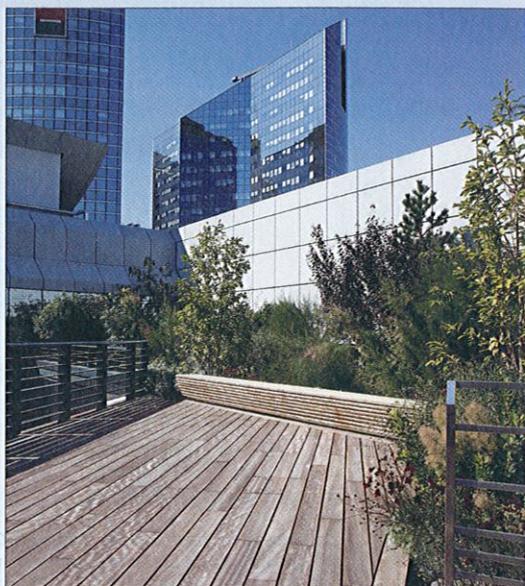
### Faut-il prévoir une période de réglages après livraison ?

Si les armoires de manœuvre des ascenseurs sont pourvues de fonctions d'auto-apprentissage, il faut adapter le paramétrage des algorithmes en analysant l'usage réel. Raison pour laquelle nous accompagnons nos clients sur les premiers mois de vie de l'immeuble afin d'adapter la programmation aux flux réels. ■

\* MovvéO a de nombreuses références en IGH dont les tours Ariane, Écho et T1 Engie, le TGI de Paris, le Luma à Arles ainsi que les futures tours Saint-Gobain, Alto et Duo.

# DU VERT EN HAUTEUR

Encouragée par certains PLU et par des maîtres d'ouvrage exigeants, la végétalisation gagne peu à peu les IGH, offrant la possibilité d'un nouvel usage des bâtiments.



Sur le nouveau TGI de Paris (par Renzo Piano), trois grandes terrasses ont été aménagées en jardins aux niveaux 8, 19 et 29. À la demande de la Ville, la végétation forme un complexe de biodiversité en trois strates, associant arbres de caractéristiques forestières, arbustes et herbacés.

L'ingénieur horticole Claude Guinaudeau a ainsi opté pour des chênes, érables, bouleaux, mais aussi des troènes, des lierres, etc. À Lyon (69), pour l'opération Silex2 (Ma Architectes et Arte Charpentier), le paysage imaginé par Paso Doble s'inspire d'une végétation de montagne avec un espace arboré de sapins en pied d'immeuble et, en hauteur, des terrasses où la végétation se fait plus rase et la terre moins profonde avec des touches minérales.

Dans le cadre de la restructuration des tours Pascal à La Défense, l'agence Dominique Perrault a, de son côté, proposé de créer un espace potager et de végétaliser les deux derniers étages. Quant à la tour de logements M6B2 à Paris, elle est équipée sur sa périphérie de jardinières et de systèmes d'accroche verticaux pour permettre le développement de plantes grimpantes. Autant d'exemples de végétalisation par des concepteurs qui, pour

ce faire, utilisent des solutions encadrées par des règles professionnelles et DTU. En toiture ou terrasse, les systèmes de végétalisation extensives sont ainsi réservés aux surfaces non accessibles ou à surcharge limitée, et remplacés par des solutions intensives ou semi-intensives, dès lors que les espaces deviennent des jardins. L'épaisseur de substrat est alors plus importante, offrant une palette végétale plus large.

« En façade, les systèmes sont plus complexes, et nombreux, les coûts d'installation et d'entretien variant beaucoup d'un procédé à l'autre », remarque Maxime Darnis, ingénieur chargé d'études au Critt Horticole. Ils se partagent en trois grandes familles : les systèmes continus sur nappe, où les plantes poussent sur un feutre et sont alimentées par un liquide nutritif, mais s'avèrent très vulnérables en cas de gel ou de panne d'irrigation ; les procédés par cages, ou caissettes, qui permettent de porter une certaine quantité de substrat et de varier les plantations ; et les systèmes de jardinières, qui peuvent être plus intéressants en termes d'investissement et d'entretien.

## Gare au risque d'uniformisation

La sélection des végétaux se fait en fonction de la situation climatique, du sol de plantation mais aussi du potentiel de croissance de la plante et de l'esthétique recherchée. Pour les grimpantes, il faudra veiller à ce que l'accrochage de la plante ne dégrade pas la façade. Dans le cadre d'une démarche environnementale (HQE, Breeam, Leed, ou Well), le critère de consommation en eau doit aussi être pris en compte, en choisissant des espèces adaptées à la sécheresse. De plus en plus de projets doivent également proposer un pourcentage élevé de plantes indigènes, et privilégier les espèces non allergisantes et non toxiques. Si cela conduit à utiliser des formes non horticoles, et donc non améliorées, « il y a un risque que l'on finisse par oublier de nombreuses espèces et que les projets s'uniformisent », s'alarme Ursula Kurz, paysagiste chez Paso Doble.

Virginie Pavie