

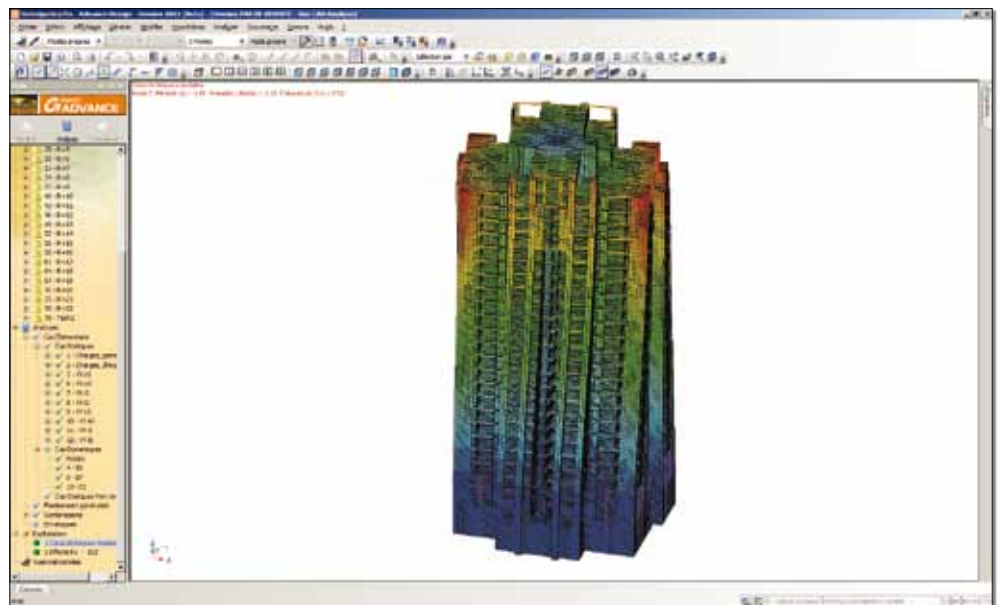
IGH : les défis de la protection anti-incendie

La conception des Immeubles de Grande Hauteur doit tenir compte dans ses différentes composantes des exigences accrues en terme de protection et de lutte anti-incendie.

Délaissés un temps suite au 11 septembre, les gratte-ciel reviennent en force dans les quartiers d'affaires, à la Défense avec le Plan de Renouveau sur 2006 à 2013, mais aussi en Province comme à Marseille dans le nouveau quartier d'affaires d'Euroméditerranée ou à Lyon à la Part-Dieu. Du fait de leur grande hauteur, les immeubles classés IGH relèvent de procédures spéci-

fiques dans le domaine de la prévention et de la lutte contre l'incendie. En France, suivant l'article R122-2, le classement est fonction de la hauteur du plancher bas du dernier niveau par rapport au niveau du sol le plus haut utilisable par les véhicules de pompiers. L'IGH démarre à cinquante mètres pour les immeubles d'habitation et à vingt-huit mètres pour les autres et l'ITGH (Immeuble de Très Grande Hauteur) à

partir de deux cents mètres. Trois ITGH devraient voir le jour en 2016 à la Défense, les deux tours jumelles Hermitage (323 m) et la Tour Phare (297 m). IGH et ITGH sont soumis à des réglementations strictes, en terme de non propagation et stabilité au feu de la structure, moyens de détection et d'alertes, double évacuation, etc. Ces contraintes limitent en France l'éventail de formes architecturales possibles.



Les éditeurs de logiciels d'analyse comme Gaudance misent sur le BIM pour faciliter les échanges entre les agences d'architecture et les bureaux d'études. La version 2011 de Gaudance Advance améliore ainsi son interopérabilité avec Autodesk Revit. (doc. Gaudance)

En attendant la nouvelle réglementation

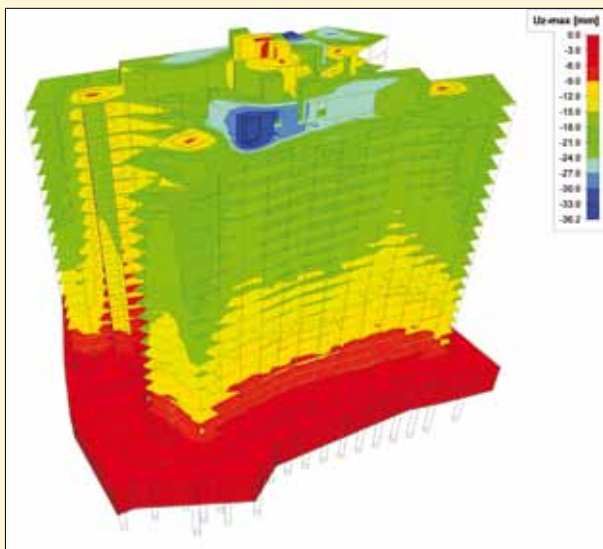
Officiellement, l'arrêté du 18 octobre 1977 continue de définir les modalités de prévention de l'incendie dans les IGH, mais dans les faits c'est le nouveau règlement de sécurité approuvé

le 8 novembre 2007 par la CSS (mais pas encore signé) qui est appliqué par les professionnels. L'objectif de la réglementation est de limiter en cas de sinistre incendie la propagation d'un foyer grâce à des coupe-feu et des cloisonnements, afin de gagner du temps pour pouvoir



« Prendre en compte les risques sismiques »

L'investisseur Europolis construit à Bucarest deux tours adjacentes d'une hauteur de 85 mètres, un chantier confié à l'architecte autrichien BEHF. Comme l'indique son nom, le profilé horizontal de la tour Orchidée est en H, en forme d'orchidée ce qui donne à surface égale davantage de façades et permet de faire entrer le maximum de lumière naturelle dans les bureaux. La construction de cet immeuble de dix-neuf étages a démarré fin 2010 et sa livraison est estimée fin 2012. Plus de 48 000 m² de bureaux seront disponibles à la location. La structure est mixte acier et béton armé, et comme l'ouvrage est situé en zone sismique, il était important



Tour Orchidea, Bucarest, Roumanie.

de vérifier par calculs la résistance de l'ouvrage aux séismes. C'est le bureau d'ingénierie roumain Inginerie Structurala qui a modélisé le bâtiment dans Allplan Engineering et analysé les efforts dans Scia Engineer. L'analyse a pris en compte à la fois la superstructure et les fondations réalisées avec 216 poteaux de diamètre 1500 mm sur 18 mètres de profondeur, indispensables du fait d'un sol de mauvaise qualité. L'interaction élastique du sol sur la structure a aussi été étudiée. Cette étude leur a permis de gagner le prix spécial du jury BIM lors de la compétition 2011 organisé par Nemetschek. ■



Construite en 2000, la Print Media Académie d'Heidelberg, est un parallélépipède vitré à structure métallique de 50 mètres de haut. La protection contre la propagation d'incendie par rayonnement des façades a nécessité le recours à un réseau périphérique de brouillard d'eau fourni par FogTec. Plus léger à installer que le sprinklage, cette technique a permis de sauvegarder la légèreté de la structure métallique. (c) Wikipedia

donner l'alerte. Une évacuation en bon ordre des occupants est garantie par deux évacuations distinctes, souvent deux escaliers symétriques. Le nombre de postes de sécurité est aussi précisé et l'intervention des pompiers facilitée, avec un ascenseur rapide qui leur est réservé. « Deux principes de base président dans la conception de la protection anti-incendie, résume Christophe Astier, ingénieur génie climatique du groupe Terrell, le compartimentage et le désenfumage qui est dimensionné de manière fixe en fonction d'un débit d'air à brasser. »

Le recours à des systèmes automatiques à aspersion d'eau (sprinklage) ou à brumisation, est systématique avec la norme américaine. Cela autorise à l'étranger une plus large variété des formes architecturales des gratte-ciel. En France le sprinklage demeure généralement limité aux noyaux, aux ascenseurs, aux archives et data centers, ou en rideau pour les parkings... « Avec l'effet de la mondialisation, ajoute Christophe Astier, les assureurs peuvent être tentés de suivre ce qui se fait ailleurs. Mais généralement le prix de cette surprotection est dissuasif. »

« Le BIM facilite les échanges entre l'architecte et le BE »

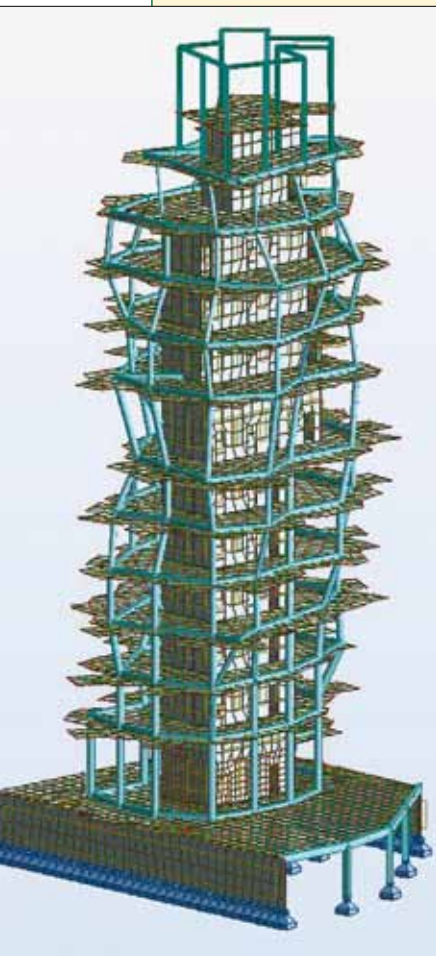
Le projet de la fondation LUMA à Arles est une double tour aux formes audacieuses culminant à 55 mètres, imaginée par l'architecte américain Frank Gehry. L'agence d'architecte travaille avec le logiciel Digital Project, développé en interne et distribué par Dassault Systèmes. Le Bureau d'Ingénierie Terrell s'est vu confier les lots structure, façades et fluides sur

une conception faite à partir de boules de papier empilées et numérisées.

« Il fallait recréer une géométrie et réadapter une structure à l'intérieur, avec un noyau et un système complexe de poteaux poutres », souligne Annabelle Datry, ingénieur structure chez Terrell.

L'approche BIM existante dans Revit d'Autodesk utilisé par Terrell, a facilité les nombreux échanges de données entre l'agence Gehry de Los Angeles et le bureau parisien de Terrell. Une routine développée dans Revit a permis à Terrell d'exporter directement le modèle géométrique dans Digital Project, à destination des architectes qui peuvent renvoyer leurs modifications et ainsi de suite. En outre Revit sait directement exporter la géométrie dans Robot pour un calcul de structures. ■

Tour fondation LUMA, Arles.



Néanmoins, la technique fait son apparition, par exemple 12500 têtes sprinklers ont été installés par TPI à la Tour Granite, inaugurée fin 2008. Autre exemple, pour la tour Air2 d'une hauteur de 185 mètres, plusieurs demandes de dérogations ont été acceptées avec différentes mesures compensatoires dont la généralisation d'un système à eau de type sprinkler sur plusieurs étages.

Sont concernés deux étages où les effectifs sont dépassés et sept comportant des terrasses plantées. « En France, nous nous attendons à une évolution de la réglementation en faveur des systèmes de type sprinklage. Nous serions alors bien placés avec nos systèmes à brouillard d'eau, plus légers à installer et moins gourmands en eau », espère Stéphane Coquard, ingénieur projet chez FogTec.

Eviter les structures métalliques nues

Outre le fait que les murs et planchers doivent être coupe-feu, la stabilité de la structure au feu doit être de deux heures en IGH, trois heures en ITGH contre une heure pour un bâtiment normal. « Le résultat est d'éviter en IGH les structures métalliques, ou alors de les floquer. Il n'est pas évident qu'une structure métallique tienne au feu en subissant de fortes charges. Parfois la solution prise est de choisir une structure mixte béton et acier. À cette étape, il n'y a pas de simulation de la tenue au feu, il existe des règles simples définissant les gabarits des enrobages. Si par contre l'épaisseur est inférieure, la stabilité au feu doit être vérifiée par calculs », détaille Annabelle Datry, ingénieur structure chez Terrell.

La géométrie est modélisée par le Bureau d'Ingénierie dans Revit, Tekla, Graitec ou Allplan entre autres, puis maillée et analysée par éléments finis dans Robot, Graitec Advance, Staad, Scia Engineer, etc... Tous ces logiciels ont intégré les Eurocodes y compris le 8 pour l'analyse sismique qui a remplacé l'ancienne réglementation au 01.05.2011. Une des évolutions de la norme européenne est de ne plus limiter l'analyse au domaine élastique des matériaux et de prendre en compte leur plage plastique.

Une attention à toutes les étapes

Par rapport à un bâtiment plus petit, un IGH est plus grand, plus lourd, plus sensible au

vent, aux séismes et aux imprécisions de fabrication. Chaque élément doit être conçu et mis en œuvre avec davantage de précautions. Il faut étudier l'interface sol-structure en prenant en compte la nature de la couche de terrain, et bien concevoir les fondations avec un radier fortement ferrillé de plusieurs mètres d'épaisseur, qui à la Défense est posé à vingt mètres de profondeur sur la couche calcaire.

Depuis le 11 septembre 2001, une sensibilité plus grande est portée au socle et à la résistance aux déflagrations en pied de tour. Les risques de dérive verticale du bâtiment doivent être étudiés, avec des déformations qui peuvent être dues à un tassement des fondations, au fluage et au retrait du béton ou à une mauvaise répartition des charges. Le noyau doit être bien positionné pour ne pas amplifier les torsions. Le déplacement horizontal en tête de bâtiment est aussi davantage contraint sur les IGH avec une limite de H/500.

Au dessus de cent mètres, il faut particulièrement vérifier la pression au vent sur l'ossature de façade. Les essais en soufflerie sont quasi systématiques dans des environnements complexes comme la Défense. En revanche pour la Tour Horizons, il n'y a pas eu besoin d'essais puisque la forme de la tour est régulière et les bâtiments environnants sont bas. « La conception doit être optimisée en tenant compte des déformations. Il faut aussi faire attention aux faux aplombs, qui amplifient l'inconfort des occupants. Un sujet important est d'ailleurs celui du phasage de

« Optimiser la forme pour une meilleure efficacité énergétique »



L'architecte new-yorkais Kevin Kennon a conçu un immeuble à haute efficacité énergétique, la Tour Tian Fang, pour la ville chinoise de Tianjin. Sa livraison est prévue en 2013. Elle doit culminer à deux cents mètres, et offrir 90 000 m² de surfaces utiles de bureaux. L'agence d'architectes créée en 2002 utilise des ressources algorithmiques développées en interne pour optimiser la forme de ses créations. Le design de la Tour Tian Fang imite la forme et la croissance d'une forêt de bambous, par un empilement de blocs cubiques de quatorze mètres de côté.

Des simulations d'ensoleillement et de prise au vent du bâtiment ont permis d'optimiser son orientation et sa forme, avec dix huit angles au lieu de quatre habituellement. Avec la présence d'une cinquantaine d'atriums et une utilisation poussée de la convection naturelle, l'objectif est de profiter au maximum de la lumière naturelle et de l'arrivée en air extérieur filtré pour réchauffer et refroidir l'immeuble suivant les saisons. Avec 20 % de l'énergie électrique produite sur site en renouvelable, l'objectif affiché est d'utiliser 40 % d'électricité en moins par rapport à un immeuble équivalent. ■

Tour Tian Fang, Tianjin, Chine.

la construction et de la rotation des grues et des coffrages auto-grimpants », résume Annabelle Datry.

En ITGH, toutes les déformations et inconforts sont amplifiés. Des amortisseurs dynamiques de type TMD (Tuned Mass Damper) de plusieurs centaines de tonnes d'acier peuvent être placés pour diminuer les problèmes d'inconfort générés par les oscillations dues au vent. Ils contribuent aussi aux qualités anti-sismiques du bâtiment. Un tel amortisseur pendulaire est prévu pour les Tours Hermitage.

Des façades très réglementées

Sur la façade, le principe de la réglementation incendie est d'éviter la propagation du feu d'un étage à l'autre, avec un C+D (distance entre deux ouvertures de deux étages superposés) de minimum 1 m 50. « *La réglementation incendie en France impose des bandeaux horizontaux, constate Antoine Maufay, architecte et directeur adjoint d'Arcora. Les architectes essaient d'effacer ce marquage horizontal avec une double peau et des brise-soleil, ou en simple peau avec de faux vitrages* ».

Une autre spécificité de la réglementation incendie française est d'imposer des façades pare-flammes sur les angles rentrants, ce qui favorise les façades lisses. Une nouveauté est d'imposer le calcul de la masse combustible en linéaire de façade. Par ailleurs, le Bureau d'Ingénierie doit tenir compte de l'évolution de la réglementation thermique. L'épaisseur de la façade est donnée par celle de la partie opaque isolée.

« *En France, avec le ratio SHON sur surface utile, nous sommes contraints pour les bureaux à des façades de 220 mm d'épaisseur,*

avec environ 160 mm d'épaisseur d'isolant. Au Luxembourg, nous pouvons aller jusqu'à 240 mm d'isolant », ajoute Antoine Maufay.

Toute une série d'utilitaires permettent aux Bureaux d'ingénierie de calculer la prise au vent, l'isolation, l'inertie thermique, l'ensoleillement, le FLJ (Facteur Lumière Jour), évaluer l'influence d'un brise soleil sur une façade, sans oublier la masse combustible. Avec la nécessité de trouver un compromis entre ces différences exigentes, en particulier entre l'isolation et l'apport en lumière naturelle. ■

Terrell, une approche globale

Pluridisciplinaire, le bureau d'études et d'ingénierie Terrell possède plusieurs références en IGH et en ITGH, en France et à l'étranger.

Créé à Paris en 1982, le bureau d'ingénierie Terrell a gagné sa réputation en particulier en participant au développement des structures mixte acier et béton. Avec actuellement près de 140 collaborateurs, le groupe a essaimé en sept agences dont cinq à l'étranger. Son expérience reconnue aussi bien en structure, en façades qu'en fluides permet à ses équipes de répondre avec pertinence aux besoins des différents marchés du bâtiment et du génie civil. Sur le marché en renouveau des IGH, le cas de la future tour Carpe Diem est emblématique ; Terrell est présent à la

fois en structure et en façades, en conception et en suivi d'exécution. L'entreprise a aussi emporté le lot structure pour les tours Horizons, T1 (achevée en 2007), Mozart, First (réhabilitation terminée début 2011) et Doha 9 au Qatar, une tour de deux cents mètres où le BE est intervenu en structure, en façades et en fluides. Par ailleurs, Terrell est présent sur les chantiers des futures tours Ava, Majunga (pour la coiffe) et en ITGH, sur les tours Hermitage pour la structure et les fluides.

Typiquement à partir du modèle géométrique ou d'une simple esquisse fournie par l'architecte, la première étape consiste à refaire dans Revit ou Autocad 3D une modélisation précise de la tour qui soit adaptée aux contraintes techniques.

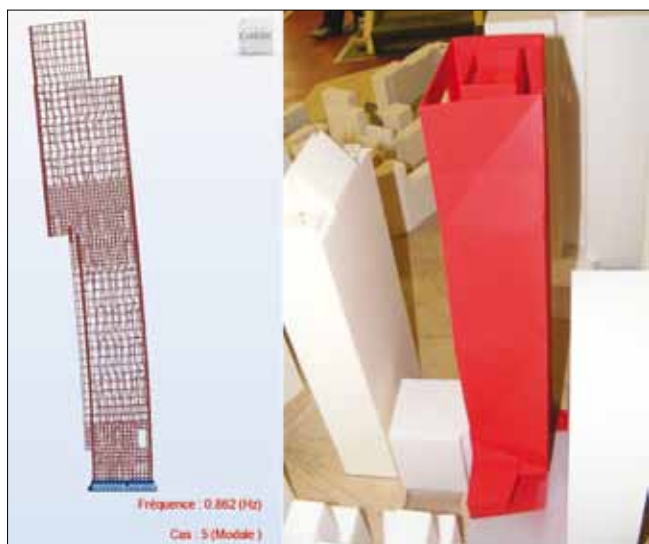
« La résistance aux charges et aux efforts d'un IGH est réalisée soit par les noyaux seuls soit en combinaison avec les façades. Une première estimation manuelle des contraintes en pied de tour nous sert à ajouter d'éventuels voiles de contreventement pour la stabilité latérale. La tendance pour les immeubles non ITGH est de faire supporter la charge par les noyaux avec des façades non structurelles en murs rideaux », souligne Annabelle Datry, ingénieure spécialisée structure chez Terrell.

L'essor de la HQE (Haute Qualité Environnementale) change la donne. L'inertie thermique accrue des façades fait qu'elles sont plus massives et plus facilement combinées avec une structure ou un exosquelette comme sur les tours Doha 9 ou Hermitage.

Des essais en soufflerie pour les cas complexes

Le modèle géométrique est ensuite analysé par éléments finis dans Robot ou Staad, qui demande un maillage préalable dans Gmsh. Les ingénieurs de Terrell peuvent aussi utiliser le lien direct existant entre Revit et Robot. Au poids du bâtiment viennent s'ajouter les efforts climatiques définis par les Eurocodes, comme ceux dus au vent.

« Des feuilles de calcul maison nous servent à vérifier en parallèle les résultats obtenus avec Staad ou Robot », confie Annabelle Datry. Les essais en soufflerie sont fréquents. L'analyse de la prise au vent demande une approche globale. Des comportements locaux peuvent être observés en façades par exemple du fait de parties en retrait. De même les extractions en façades pour la ventilation peuvent générer des turbulences. ■



Le résultat de la tenue au vent des IGH est un couplage entre les essais en soufflerie et les calculs numériques. Les essais nécessitent certaines données de calculs comme l'inertie propre des planchers, et dans l'autre sens, les mesures effectués avec les capteurs sont réinjectées dans les modèles numériques.



Arcora, concilier luminosité et isolation

Sécialisé à sa création en 1976 en structures métallo-textiles, le BE Arcora a acquis une notoriété en structures métalliques industrielles puis architectoniques avant de passer aux façades vitrées et aux enveloppes dans les années 90. Le grand sujet actuel est de répondre conjointement aux besoins en enveloppe et en thermique. « Cette double expertise en façades et en enveloppes est précieuse pour nos clients, résume Vincent Moraël, directeur d'Arcora. Un autre de nos atouts est d'être indépendant des entreprises, nous pouvons suivre un DCE jusqu'au bout, en exigeant une réponse pertinente de la part des entreprises d'exécution. » C'est un atout pour émerger dans un marché concurrentiel où la chute des prix s'est accélérée ces dernières années. Le prix du m² de façade d'une tour est passé de 1200 euros à 800 euros en moyenne, voire 600 euros dans certains cas.

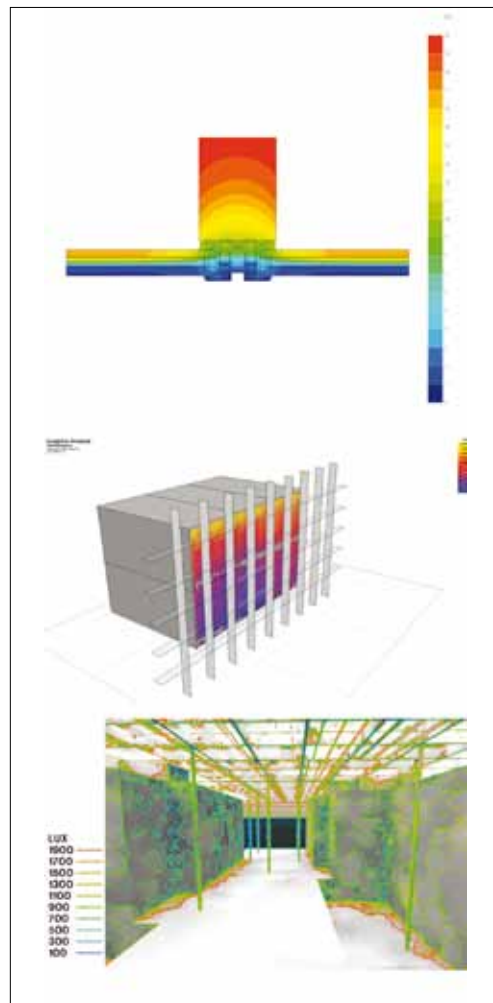
Cette dernière décennie, Arcora a gagné une quinzaine de projets IGH avec des hauteurs allant jusqu'à 280 mètres pour la tour Bitexcoland à Ho Chi Minh Ville. Seule une petite moitié est réalisée dont les tours Sequana (ex-Mozart) ou C1 (Horizons) de Jean Nouvel. D'autres sont en cours de construction comme les futures tours D2, Majunga voire en

reconstruction comme la tour Eqho (ex-Descartes). « Dans le cas de la tour Descartes, tient à préciser Emmanuel Viglino, chef de projet, progressivement l'exploitant a compris qu'il fallait tout refaire, seule la structure a été conservée et le socle a été refondu. Cela pose d'ailleurs la question de la durée de vie des façades qui n'est parfois que de vingt à trente ans. »

Une batterie d'utilitaires

Pour dimensionner les façades, Excel convient pour les calculs de Résistance des Matériaux (RDM) assez simples. Pour l'analyse de structures plus compliquées comme les halls d'entrée, les ingénieurs d'Arcora utilisent Robot ou Scia. Mais, avec les nouvelles réglementations thermiques (RT2005 et RT2012), il s'agit désormais d'évaluer notamment la performance thermique des façades. L'entreprise utilise pour cela de nombreux logiciels : Ecotect Radiance (simulation dynamique de l'ensoleillement), WIS (Wind energie Informations System), Vitrage Decision (calculs thermiques et mécaniques des vitrages), Bisco (transmission thermique sans prise en compte de l'inertie), PVSyst (calcul du potentiel photovoltaïque) et Meteonom qui fournit des données d'en-

Au fil des décennies, le Bureau d'Ingénierie a élargi ses compétences premières en structures et en façades. Il apporte une réponse globale aux nouvelles exigences thermiques.



L'analyse des façades est multiple, thermique (Bisco), facteur solaire (Ecotect Radiance), masse combustible, etc.

soleillement. Sans oublier les nombreuses solutions maison pour par exemple la simulation de l'ensoleillement, le différentiel de température d'une

double peau, ou encore le calcul en linéaire de la masse calorifique des matériaux (joints, isolants, etc) du C+D d'une façade. ■