

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

LA VILLE DURABLE. UN MONDE D'URBAINS EN MUTATION. ZAC SEGUIN-RIVES DE SEINE. UNE TOURBIERE ARTIFICIELLE AU PARC DE BILLANCOURT. FONDATIONS DES PROJETS MOZART ET FARMAN-PARIS. UN MODELE POUR LANCER DES PROJETS RENTABLES. COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES TOURS DE GRANDE HAUTEUR. UN NOUVEAU CENTRE HOSPITALIER EN HAUTE-SAVOIE. LUCIOLE® : ECLAIRER, SECURISER, VALORISER

N° 866 NOVEMBRE 2009



PERSPECTIVE
DU PATIO DE
LA CANOPEE
DES HALLES
PARISIENNES.
ARCHITECTES :
PATRICK BERGER
ET JACQUES
ANZIUTTI
© STUDIOSEZZ



CONSULTEZ
TRAVAUX
SUR INTERNET

revue-travaux.com

Vous pourrez

→ télécharger gratuitement l'article du mois

→ vous abonner en ligne

→ accéder à la présentation de la revue

SON HISTOIRE, SON PUBLIC, SA VOCATION, SON LECTORAT

→ consulter 10 ans d'archives de la revue

→ compléter votre collection

PLUS DE 100 NUMÉROS ET 1000 ARTICLES

THÈMES DES PROCHAINS NUMÉROS

- *LGV Perpignan-Figueras*
- *L'eau - Travaux maritimes et fluviaux*
 - *Ouvrages d'art*
- *Transports et Infrastructures*
 - *Sols et Fondations*

Directeur de la publication
Patrick Bernasconi**Directrice déléguée**
Rédactrice en chef
Mona Mottot3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : mottotm@fnfp.fr**Comité de pilotage**Laurent Boutillon (Vinci Construction
Grands Projets), Jean-Bernard Detry
(Setec TPI), Philippe Jacquet (Bouygues),
Stéphane Monleau (Solétanche Bachy),
Bruno Radiguet (Bouygues), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel
Duviard (Egis), Florent Imberty (Razel),
Mona Mottot (FNTP)**Rubrique Actualité**
Monique Trancart**Service Abonnement et Vente**Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22
Fax : +33 (0)1 40 94 22 32
Email : revue-travaux@cometcom.frFrance (10 numéros) : 190 € TTC
International (10 numéros) : 240 €
Enseignants (10 numéros) : 75 €
Étudiants (10 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Maquette**Idé Edition
33, rue des Jeûneurs - 75002 Paris
Tél. : +33 (0)1 40 13 89 11
www.ide.fr**Publicité**Régie Publicité Industrielle
Xavier Bertrand - Anne-Sophie Cuvillier
9, bd Mendès France
77600 Bussy-Saint-Georges
Tél. : +33 (0)1 60 94 22 20
Email : bertrand@rpi.fr - cuvillier@rpi.fr**Site internet : www.revue-travaux.com****Réalisation et impression**Com'1 évidence
8, rue Jean Goujon - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 40 74 64 34
Email : contact@com1evidence.comLa revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se
réserve le droit de refuser toute insertion, jugée
contraire aux intérêts de la publication.Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0111 T 80259

SORTIR INTELLIGEMMENT DE LA CRISE,



© DR

Que de bouleversements depuis 1 an ! Que de remises en cause...

Certes, la crise n'est pas encore derrière nous, loin de là. Pour autant en préparer la sortie est non seulement envisageable, mais plus encore indispensable.

Et c'est vers les moteurs de l'économie, dans ses profondeurs, qu'il faut résolument se tourner pour hâter la reprise et consolider de nouveaux équilibres qu'il nous faut bâtir.

Car les problèmes structurels demeurent, aggravés par la précarité accrue qui a accompagné le ralentissement de l'activité.

Et c'est bien de logement, d'infrastructures, de nouveaux concepts d'urbanisation qu'il faut parler et sur lesquels il faut s'appuyer.

Les historiens noteront certainement, dans quelques décennies, que cette crise, à nulle autre pareille dans son contenu et dans ses conséquences, dont l'origine n'est pas en que telle liée à la lourde problématique du réchauffement climatique, est bel et bien survenue au moment où le bouillonnement mondial s'est intensifié autour de la question des grands équilibres écologiques et de l'importance des impacts de l'activité humaine dans les dérèglements constatés et subis.

Alors la crise, aubaine pour doper la marche en avant, coordonnée et globale, vers le développement durable « dans tous ses états » ? Il serait hasardeux et inconvenant de le présenter ainsi. Mais écarter l'effet de levier incontestable que constitue la crise pour être audacieux et ambitieux en la matière serait très certainement blâmable.

Les Maires, qui sont de plus en plus nombreux à s'investir dans la réflexion et l'action sur ces sujets complexes ont besoin de consolider le partenariat avec les acteurs du monde des infra et des superstructures.

Confrontés aux questions de mobilité douce et durable, ils aspirent à des transports plus adaptés aux besoins, plus respectueux des nécessités économiques de matières premières et tournés vers les énergies de l'avenir, garantes de notre environnement.

Soucieux de mieux respecter l'espace urbain en relation avec la biodiversité – qui est présente partout ! –, ils désirent définir de nouveaux modes d'utilisation de chaque arpent de leur territoire. Sensibles à l'impact réciproque entre qualité des ouvrages publics et celle des projets privés, ils sont attachés à inscrire les projets communaux dans une démarche d'ensemble dont les éco-quartiers peuvent être un judicieux fer de lance, respectueuse de la planète et source d'économie et donc de plus de justice sociale, à terme, tant pour les collectivités que pour l'ensemble de leurs concitoyens.

Le mouvement est lancé. La mobilisation a pu s'intensifier grâce à l'effort combiné de l'État et des collectivités au travers du plan de relance. Il est désormais indispensable que, « assagis » et mûris par la crise, les décideurs locaux, au contact des professionnels, saisissent hardiment la « chance » qui est devant nous de comprendre que « plus rien ne doit être comme avant ».

GUY GEOFFROY
PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION NATIONALE DES ECO-MAIRES
DÉPUTÉ-MAIRE DE COMBS-LA-VILLE

PRÉSIDENT PENDANT QUINZE ANS DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB), ALAIN MAUGARD A QUITTÉ SES FONCTIONS EN SEPTEMBRE 2008 POUR PRÉSIDER LA SECTION « RISQUES, SÉCURITÉ, SÛRETÉ » AU CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE. IL EST AUJOURD'HUI PRÉSIDENT DE QUALIBAT¹.



« **LA VILLE DURABLE DOIT PERMETTRE AUX CITADINS D'AVOIR UNE ATTITUDE INDIVIDUELLE ÉCO-RESPONSABLE** »

APRÈS AVOIR CONTRIBUÉ AU LANCEMENT DU BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE, ALAIN MAUGARD ÉTUDIE L'ÉVOLUTION DES DIFFÉRENTS MODÈLES URBAINS ET LEUR EMPREINTE ÉCOLOGIQUE SUR LA PLANÈTE [1] [2]. IL LIVRE À TRAVAUX UN APERÇU DE SES RÉFLEXIONS SUR LA PROBLÉMATIQUE ET LES ENJEUX DE LA VILLE DURABLE.

PROPOS RECUEILLIS PAR MONA MOTTOT

NB : les chiffres entre crochets [] renvoient aux ouvrages et articles cités en fin de texte.



Le fort développement des villes est-il compatible avec les ressources de la planète ?

Compte tenu de la forte croissance démographique attendue, le nombre de citadins de l'ensemble de la planète devrait passer de 3,3 à 5 milliards d'habitants d'ici 2030. Si toutes les villes fonctionnaient selon le modèle européen actuel, il faudrait la surface de trois Terres pour compenser l'effet de serre, contre seulement une demie en 1960. Cette empreinte écologique de la civilisation urbaine n'a cessé de se dégrader au cours des dernières décennies. L'exemple de la France est éloquent : son empreinte écologique est passée de 1 à 1,8 entre 1980 et 2009. Nous nous trouvons donc dans une situation à risques, en termes de développement durable.

Comment repenser la ville ? Quels sont les changements à réaliser aujourd'hui dans nos cités ? À quelle échelle d'espace et de temps ?

Même si les bâtiments HQE® et les écoquartiers sont incontournables en termes de développement durable, il faut néanmoins changer désormais d'échelle et passer à celle de la ville durable. La montée en puissance du pouvoir économique des mégalo-poles est une tendance lourde qui s'impose de plus en plus au cours des décennies. Si les préoccupations liées à la croissance économique et au bien-être social des citoyens restent d'actualité, il est indispensable de souligner l'ampleur du problème environnemental créé par les villes

elles-mêmes. L'offre abondante d'énergie à l'origine du grand essor économique des deux siècles passés est révolue.

Il s'agit aujourd'hui de maîtriser la demande, ce qui va de pair avec l'émergence de la notion essentielle d'efficacité énergétique.

Quelles sont les demandes liées à la consommation énergétique ?

Actuellement, la consommation d'énergie s'organise autour de deux types de demandes : d'une part celle nécessaire à la production des biens industriels et agricoles ainsi qu'à leur transport, et d'autre part, celle découlant de la civilisation urbaine liées aux besoins des bâtiments et des transports pour faire fonctionner la ville et ceux découlant du mode de vie des urbains (consommation, tourisme...). Il représente environ les deux tiers de la consommation énergétique totale et une proportion équivalente de l'émission des gaz à effet de serre.

Au vu de l'évolution attendue de la population mondiale, la consommation énergétique est un réel problème à gérer !

Quels sont les autres paramètres liés à la problématique de développement urbain moderne ?

Outre le problème énergétique, l'empreinte écologique des villes doit être considérée sous trois angles complémentaires : la morphologie urbaine, la gestion de la cité ainsi que les modes de vie.

En Europe, on distingue quatre types de villes au regard de l'histoire : moyenâgeuse, baroque (classique),

haussmannienne ou moderne.

Tous ces modèles sont compatibles avec la notion de développement durable, sauf celui de la ville moderne, où il faudrait impérativement recréer de la « minicentralité » (les commerces de proximité...) pour réduire les dépenses énergétiques liées au transport. L'évolution de la morphologie des villes passera aussi par la prise en compte d'autres paramètres comme la place de la nature au cœur des agglomérations ainsi que la densité, la forme et l'étalement urbains.

Quel est le métabolisme d'une ville ?

Comment réduire l'empreinte écologique de la ville ?

La gestion de la ville ne peut se concevoir sans une optimisation de son métabolisme. La prise en charge des « entrants » (air, énergie, matériaux...), leur transformation et le traitement des « sortants »

(déchets, produits recyclés...) représentent autant de leviers pouvant accroître l'empreinte écologique des agglomérations.

En fait, si l'on y réfléchit, la notion de ville durable ne veut rien dire. Il faudrait plutôt parler de modes de vie durables.

La remise en question des modes de vie au sein des villes constitue un enjeu majeur dans la réduction de leur empreinte écologique, comme par exemple les arbitrages sur les transports en centre ville, le retour des commerces et services de proximité, la création de circuits de distribution alimentaire les plus courts possibles, l'accueil des handicapés ou la biodiversité.

Nous devons arriver à rendre la densité agréable en lui donnant une attractivité qu'elle n'a pas toujours eue. Ainsi, au niveau des transports individuels, il est tout à fait concevable de bénéficier du service sans posséder le bien.

À Paris, le Vélib illustre parfaitement cette notion. La mobilité comme facteur de liberté : oui ! Mais cette liberté doit-elle donner le droit d'utiliser le moyen de transport que l'on veut ? Pas sûr ! Les modes de vie urbains doivent permettre aux citadins d'avoir une attitude individuelle écoresponsable.

Nous devons multiplier ces marges de liberté telles que celle, par exemple, qui consiste à pouvoir choisir entre un légume en provenance d'Afrique ou d'Asie, transporté sur plus de 4 000 km, et un autre légume maraîcher local de saison qui n'en a parcouru que 4. Le combat en faveur de l'environnement représenterait ▷

1- ZAC Saint-Charles à Marseille - Aménagement de l'arrivée de l'autoroute A7 et du boulevard Leclerc.

2- Tram T8 Châtillon-Vélizy.

3- Aménagement urbain à Lille.

4- Voie cyclable à Marseille.

© VINCI



ainsi un élément clé pour cimenter la vie en commun. À cet égard, on touche à la dimension sociale du développement durable.

Quelles étapes doivent encore être franchies pour avoir une ville propre, économe et durable ?

La création d'écoquartiers constitue probablement le premier niveau d'une remise en cause de la gestion des villes telle qu'elle existe à présent. Le regroupement de telles structures conduira aux écocités, ce qui mettra d'autant plus en exergue le caractère « ringard » des villes modernes. Il faudra ensuite raisonner et gérer à l'échelle de l'agglomération.

Ainsi, des solutions impossibles à envisager sur des bâtiments isolés pourront être déployées : cogénération, réseau de chaleur, etc. Ces écoquartiers sont de véritables viviers d'idées nouvelles, comme l'ont été à leur échelle les bâtiments HQE® ou les bâtiments à énergie positive.

Quels sont les principaux acteurs pour opérer ces changements ? Comment financer les actions à mener ?

Il est indispensable qu'une autorité unique prenne en main la gestion de la ville pour tout ce qui touche l'énergie, les transports, l'urbanisme, le logement ou l'eau, quitte à remodeler la décentralisation telle qu'elle est conçue actuellement. Il sera alors possible d'organiser une participation citoyenne, car tous ces choix de vie doivent être préalablement discutés et partagés avec les habitants afin d'obtenir leur totale adhésion. Nous devons établir

un dialogue avec les citoyens afin de connaître leurs problèmes réels et ce dont ils ont envie. Ensuite, il sera incontournable de créer une « métrologie de la ville », c'est-à-dire de se doter des instruments nécessaires à la mesure de son empreinte écologique, comme cela existe déjà pour la pollution de l'air. Le financement de ces actions peut se faire via les plus-values foncières réalisées par les communes suite à l'amélioration des bâtiments et des infrastructures de transports en commun, taxes carbone, péages urbains et certificats d'économie d'énergie, etc.

Le modèle urbain européen peut-il survivre et évoluer ?

Actuellement, les 20 % de la population la plus riche de la planète sont responsables de 80 % de l'empreinte écologique. Il est urgent que cela change. Les pays développés doivent s'attacher à cette notion de civilisation urbaine afin de montrer l'exemple au reste de la planète. Dans ce contexte, le modèle européen possède sa chance car, même si actuellement son empreinte écologique représente l'équivalent de trois planètes, il sera moins difficile à « corriger » que le modèle américain qui en requiert cinq ! De plus, on aurait là un juste retour des choses : l'Europe (Orient et Occident) est – avec la Chine – à l'origine de la civilisation des villes. Au niveau de la gestion de l'énergie, les climats froids et tempérés ont trouvé leurs solutions, contrairement – et paradoxalement – aux climats chauds. Il est incompréhensible que

« **IL EST INDISPENSABLE QU'UNE AUTORITÉ UNIQUE PRENNE EN MAIN LA GESTION DE LA VILLE POUR TOUT CE QUI TOUCHE LE LOGEMENT, LES TRANSPORTS, L'URBANISME, L'EAU OU ENCORE L'ÉNERGIE** »

l'on n'arrive pas à convertir en froid et à des prix raisonnables toute l'énergie contenue dans les photons. Il y a là une des problématiques de recherche parmi les plus importantes et un vrai défi à relever. Il est nécessaire de trouver des solutions pour les pays chauds, je suis certain que les technologies viendront nous aider.

Comment envisagez-vous l'avenir ?

Sans conteste, la civilisation urbaine doit perdurer. Il faut continuer avec la ville moderne, mais avant tout régler le péril qu'engendre son empreinte écologique démesurée. Nous devons acquérir une autre vision pour aborder les problèmes liés à la biodiversité, à l'homme. Je maintiens que tout l'enjeu sera de savoir comment nous allons amorcer la spirale du changement et la façon dont nous allons nous-mêmes souhaiter cette évolution et ne pas la subir. Nous devons réfléchir à cette civilisation urbaine nouvelle afin que nous la fassions belle, séduisante et pérenne. □

1- Organisme de droit privé placé sous le contrôle de l'État qui est chargé de la qualification et de la certification des entreprises du bâtiment en France. Qualibat regroupe aujourd'hui plus de 40 000 entreprises.

[Bibliographie]

- [1] « Carte blanche à Alain Maugard, du bâtiment à la ville durable » : conférence organisée par Archinov et le CSTB en octobre 2008.
- [2] « La civilisation urbaine est-elle écoppatible ? » : Conférence à l'Université de tous les Savoirs, juin 2009.

5- Bordeaux, écoquartier les Berges du lac.

6- Les docks de Paris.



© BOUYGUES

5

6

© EIFFEL

UN MONDE D'URBAINS EN MUTATION : REGARD SUR LA CONTRIBUTION D'UNE ENTREPRISE DE LA CONSTRUCTION À LA VILLE DE DEMAIN

AUTEURS : GÉRALDINE THOMAS, CHARGÉE DE MISSION DÉVELOPPEMENT DURABLE, VINCI - CHRISTIAN CAYE, DÉLÉGUÉ DÉVELOPPEMENT DURABLE, VINCI



ALORS QUE LA MOITIÉ DE L'HUMANITÉ RÉSIDE DÉJÀ DANS DES VILLES, NOUS SERONS TROIS MILLIARDS D'URBAINS EN PLUS D'ICI À 2030. ENTRE LE NEUF ET LA RÉHABILITATION, LE CHANTIER GIGANTESQUE DE LA VILLE DE DEMAIN REPRÉSENTE UN MARCHÉ SANS ÉQUIVALENT POUR LES ACTEURS DE LA CONSTRUCTION. MAIS, QUAND LES PROBLÉMATIQUES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE VIENNENT BOUSCULER LES SCHÉMAS ÉTABLIS, LES BÂTISSEURS N'ONT D'AUTRE CHOIX QUE DE SE RÉINVENTER.



1
© AUGUSTO DA SILVA - GRAPHIX IMAGES

1- Rouen, PPP d'éclairage urbain : depuis mars 2007 et pour une durée de 20 ans, Citéos (Vinci énergies) assure la gestion globale des installations rouennaises liées à la circulation, à l'éclairage public, à la mise en conformité de la signalisation lumineuse et à la vidéo-surveillance de trafic, soit un total de 15 700 points lumineux.

1- Rouen, PPP for urban lighting: Since March 2007, under a 20-year contract, Citéos (Vinci Énergies firm) has provided overall management for facilities in the city of Rouen related to traffic management, public lighting, retrofitting of traffic light systems and video surveillance of traffic, representing a total of 15,700 light spots.

TRANSFORMER NOS VILLES : UN IMPÉRATIF ABSOLU

Véritables moteurs de nos économies, les villes concentrent tous les ingrédients qui alimentent les déséquilibres dont souffrent nos sociétés.

Elles ont été et sont toujours le théâtre des principales crises sociales et environnementales.

Bien que ces maux soient diagnostiqués depuis longtemps, c'est l'importance du réchauffement climatique qui a provoqué une prise de conscience des décideurs à l'échelle mondiale.

Pourtant, limiter la nécessité d'une transformation urbaine à des problématiques énergétiques reviendrait à ne regarder qu'une partie du problème. Les pouvoirs politiques et économiques semblent l'avoir compris, puisqu'une dynamique globale de transformation de nos villes est à présent à l'œuvre, caractérisant enfin ce qui est depuis longtemps identifié comme une nécessité absolue.

OPPORTUNITÉS DE BUSINESS

Au-delà de l'impératif qu'elle représente, cette révolution verte, comme certains se plaisent à l'appeler, peut être considérée comme une réelle opportunité de business. Ainsi, tout le secteur de la construction est désormais convaincu que la croissance des années à venir passe inmanquablement par l'élaboration d'offres capables de répondre au défi de la ville durable.

Cette nouvelle donne constitue une occasion extraordinaire de revoir l'ensemble des processus de conception, d'organisation et de construction. La problématique du développement durable nécessite notamment de transgresser les formes traditionnelles de réalisation. De plus, la complexité croissante des projets et la nécessité d'une approche globale du cycle de vie – conception, construction, exploitation, maintenance, déconstruction – demandent de plus en plus aux acteurs privés d'assurer l'entière responsabilité du projet. Ainsi, Vinci ▷



2- Cérémonie de lancement de la chaire « éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures », en novembre 2009, avec MM. Cyrille Van Effenterre, président de ParisTech, et Xavier Huillard, administrateur et directeur général de Vinci.

3- Stade du Mans MMArena, contrat en PPP de 35 ans pour un projet de 100 millions d'euros.

2- Inaugural ceremony for the university chair in «eco-design of building systems and infrastructure», in November 2009, with Messrs Cyrille Van Effenterre, President of ParisTech, and Xavier Huillard, Managing Director of Vinci.

3- MMArena stadium in Le Mans, 35-year PPP contract for a 100 million euro project.



© FRANCIS VIGOUROUX - PHOTOTHÈQUE VINCI

conjugue les métiers de la concession et de la construction pour être capable de maîtriser le projet à tout stade de son développement.

Ces dernières années, le pôle construction a mis l'accent sur le renforcement de l'expertise en amont, au niveau de la conception, phase déterminante pour l'avenir du projet. De manière générale, aucun acteur n'a encore réellement mesuré le centième des conséquen-

ces que la révolution verte aura sur les chaînes de valeur, la vocation et l'organisation des entreprises, mais aussi sur les relations entre les entreprises et leur environnement.

QU'EST-CE QUE LA VILLE DURABLE ?

Plus un bâtiment, plus un quartier, plus un projet n'est annoncé sans être qualifié d'« éco » ou de « durable ».

Mais derrière les mots, quelle est la réalité ? S'il est vrai que le respect de l'environnement est à présent partiellement pris en compte, la durabilité des projets n'est souvent pas à la hauteur des ambitions affirmées. Et pour cause : personne ne sait apporter une définition transposable sur des projets.

Le chantier de la définition est donc le premier défi de la durabilité. Tous les acteurs qui pensent et font la ville doi-



vent y être associés. Architectes, urbanistes, élus, représentants d'administrations, associations et entreprises ont chacun des expériences et des visions complémentaires. Politique, économique et pragmatique, le fruit de ce travail de longue haleine ne peut faire l'économie du dialogue et du débat.

C'est cette pensée qui a motivé Vinci à mettre en œuvre la Fabrique de la cité, un forum de réflexion sur l'urba-

nisme durable et l'éco-mobilité, deux domaines dans lesquels Vinci a un rôle non négligeable à jouer. Ce think tank réunit des acteurs divers, experts français et étrangers issus d'horizons professionnels complémentaires. Au cours des séminaires annuels organisés sous la forme de tables rondes, les participants sont invités à partager leurs réflexions d'anticipation sur des thèmes d'actualité.

Trois rencontres ont déjà été organisées. La première, qui s'est tenue à Londres en avril 2008, avait pour thème la mobilité en ville. Lors de la deuxième, à Paris, en octobre 2008, sur les infrastructures nécessaires pour restaurer la compétitivité du Grand Paris, le modèle urbain Pirandello® a été présenté et a montré les conséquences d'un péage urbain à Paris, tant du point de vue économique que du point de vue social.

La troisième rencontre, à Copenhague, en avril 2009, a porté sur les villes durables.

Plusieurs conclusions peuvent être tirées de ce dernier séminaire : en premier lieu, toute réflexion sur la ville durable, qu'elle soit l'œuvre d'un constructeur, d'un décideur ou d'un chercheur, doit commencer par un travail d'élaboration. Or cela nécessite des outils de diagnostic dont le développement doit-être une priorité.

Le deuxième point concerne l'action sur l'existant : la ville durable ne se fera pas en construisant sans cesse de nouveaux quartiers mais bien en améliorant les performances des anciens.

Enfin, la gouvernance de la ville doit s'adapter pour faciliter l'association entre les acteurs privés, publics et les habitants, qui seront intégrés de façon plus étroite dans les processus de décision.

La multiplication de ce type d'initiatives et de rencontres permettra sans doute à chacun des acteurs de mieux appréhender l'ensemble des enjeux, d'en faciliter la synthèse et, à terme, de faire évoluer les acteurs.

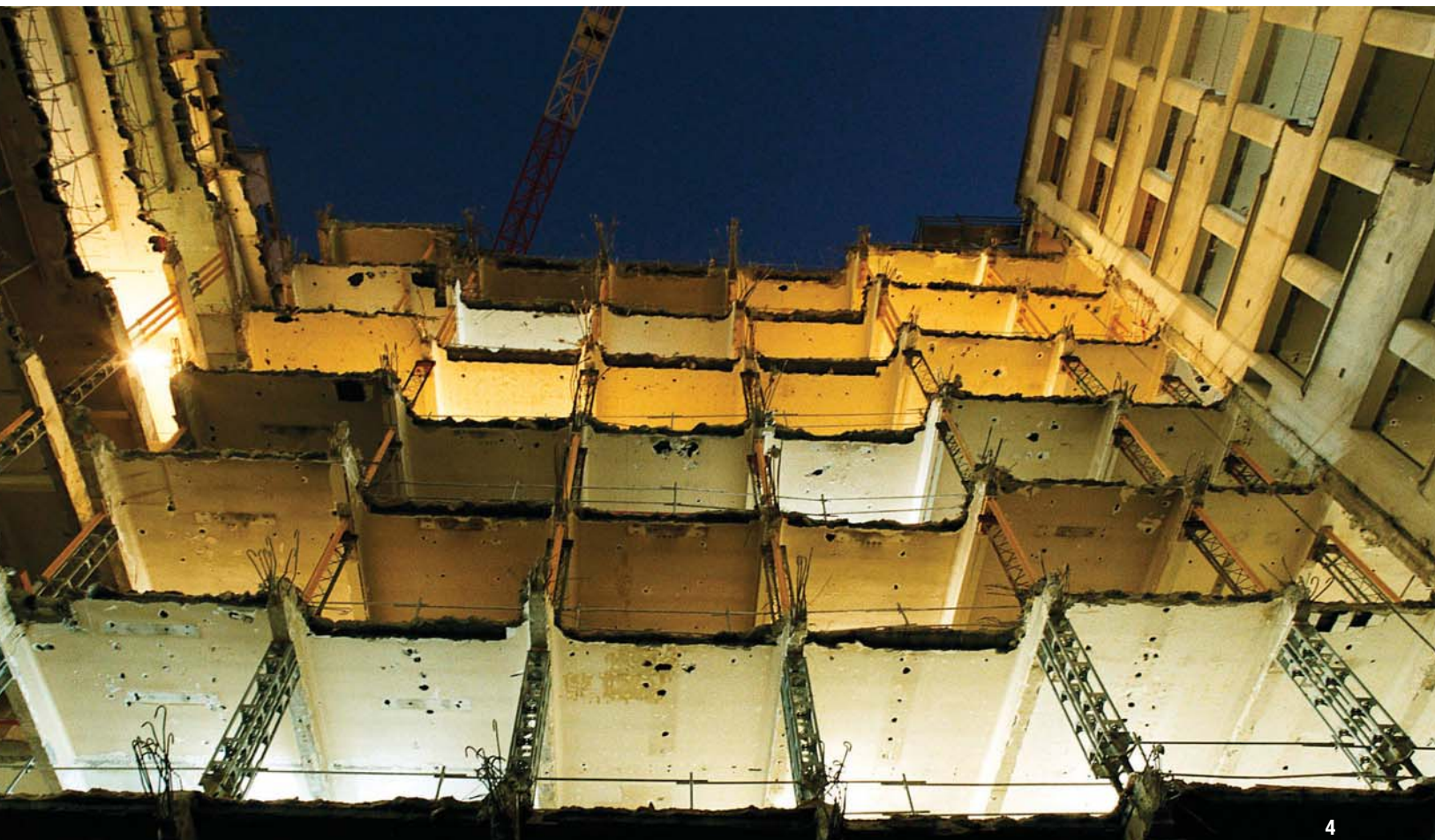
NORMES ET RÉFÉRENTIELS

En parallèle d'une définition presque philosophique de la ville de demain, il est nécessaire d'établir des normes et des référentiels partagés. En effet, les travaux de réhabilitation comme de construction neuve doivent pouvoir répondre au plus tôt aux exigences de développement durable. Cela signifie qu'il faut établir des réglementations qui, au-delà des calculs thermiques, prennent en compte les impératifs de réduction des consommations d'énergie des bâtiments, avec des performances mesurées, la possibilité de production locale d'énergie (à l'échelle du bâtiment ou de l'îlot), ou encore les exigences d'accessibilité.

Au-delà, il faut développer des outils qui permettront d'une part de choisir la meilleure variante environnementale à la conception, et d'autre part de contrôler et d'évaluer les réalisations.

Dans cette logique, l'Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF) a établi une méthodologie de calcul de l'impact environnemental d'une construction de route et développe actuellement un outil associé.

Ce dernier sera non seulement partagé par l'ensemble de la profession, mais aussi mis à disposition des maîtres d'ouvrage. Il s'appuie sur l'expertise déjà développée dans les entreprises de routes comme Eurovia, avec son com- ▷



© GILLES MACUIT-LECONTE - VINCI

parateur environnemental Gaïa.B.E.® Enfin, l'histoire de la construction nous a enseigné qu'aucune théorie ni aucun courant de pensée ne pouvait prétendre à l'universalité. Ainsi, les idées d'aujourd'hui seront-elles probablement dépassées demain en raison de l'évolution du climat ou des technologies.

Dès lors, il convient d'intégrer un principe de bon sens qui fait pour l'instant défaut à nombre de projets urbains ou de bâtiments : la réversibilité (ou adaptabilité).

Il semble incontournable de prendre en compte dès l'origine la possibilité de faire évoluer une réalisation au fil du temps. N'oublions pas qu'en Europe, 20 % des constructions actuelles datent d'avant 1900.

UNE POLITIQUE DE R & D VOLONTAIRE

En parallèle de ces travaux, les entreprises de la construction ont pris conscience de la nécessité de poursuivre une politique de R & D volontaire. C'est ainsi qu'en complément du travail réalisé par ses équipes, Vinci multiplie les partenariats avec le monde scientifique. L'entreprise est présente sur le

pôle de compétitivité ville et mobilité durables Advancity à Marne-la-Vallée, par le financement de projets de recherche technique mais aussi par la réflexion sur la qualité de la ville.

De plus, Vinci a créé la chaire « éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures », en partenariat avec trois écoles : Mines ParisTech, École des Ponts ParisTech et AgroParisTech. En rapprochant le monde des écoles d'ingénieurs et celui de l'entreprise, ce partenariat a l'ambition de faire émerger de nouveaux concepts et outils au service de l'éco-urbanisme (outils de diagnostic et de simulation comme aide à la décision).

Dans ce cadre, une priorité sera accordée aux zones d'ombre identifiées par les équipes de recherche de Paris-Tech avec les opérationnels de Vinci. Par exemple, alors que l'éco-conception d'un bâtiment est déjà relativement bien maîtrisée, une partie des chercheurs étudiera comment cette démarche pourrait être élargie aux quartiers et à la ville.

Les sujets de thèses retenus portent sur « l'extension des méthodologies valables pour un bâtiment à tout un

quartier », « l'amélioration de l'appréhension de la biodiversité dans la ville et son lien avec les formes urbaines » ou encore « l'optimisation d'un programme de réhabilitation de bâtiment et son extension à un ensemble d'immeubles ».

Un autre volet de la chaire porte sur la mobilité en ville et entre les villes.

Les chercheurs tenteront de mesurer ce paramètre complexe de la ville durable et de trouver comment agir efficacement, notamment par le biais d'une meilleure connaissance des impacts écologiques des transports et des politiques de gestion du trafic destinées à améliorer la fluidité et à réduire les nuisances. Mais le champ de la recherche est gigantesque... et les travaux se renforcent. Il est positif – voir déterminant – que se multiplient les équipes mobilisées autour de ces sujets.

Reste qu'il faut veiller à prévenir une appropriation d'un même sujet par plusieurs laboratoires.

Dans le combat contre le réchauffement climatique, le temps est précieux.

Ne le gaspillons pas et favorisons les synergies et les échanges.

« **PRENDRE EN COMPTE DÈS L'ORIGINE LA POSSIBILITÉ DE FAIRE ÉVOLUER UNE RÉALISATION AU FIL DU TEMPS** »



5

© GOVIN SOREL - VINCI



6

4- Hôtel Mandarin Oriental, bâtiment HQE, Paris.

5- Salle des marchés de la Société générale, bâtiment HQE, La Défense.

6- Séminaire de la Fabrique de la cité sur les villes durables, en avril 2009, à Copenhague.

4- Mandarin Oriental Hotel, HQE building, Paris.

5- Société Générale trading room, HQE building, La Défense business area near Paris.

6- Fabrique de la Cité seminar on sustainable cities, in Copenhagen, April 2009.

FINANCER LA VILLE DE DEMAIN

L'adaptation comme la construction de nos villes du futur coûtera cher. Équipements publics, logements, bâtiments fonctionnels, infrastructures de transport, réseaux d'énergie, de communication, d'eau, d'assainissement : les besoins sont énormes. Les équipes de VINCI concessions ont ainsi évalué à 1 260 milliards d'euros le coût de l'adaptation et de réalisations nouvelles pour la seule Ile-de-France sur trente ans. Ce chiffre représente les efforts qu'il faudrait faire sur le logement, les réseaux de transport, les immeubles de bureau, ainsi que pour limiter les émissions de carbone. Même si les foyers et les acteurs économiques prendront naturellement en charge une partie de ce montant gigantesque, celle-ci

demeurera marginale, et la responsabilité des pouvoirs publics colossale. Or, nous le savons bien, les États n'ont plus les moyens de financer l'investissement. L'ampleur des déficits et le poids de la dette ne cessant de croître, le recours aux partenariats avec le secteur privé s'impose comme une solution logique et efficace pour permettre la réalisation des infrastructures que nécessite la croissance urbaine. Pour ce faire, les entreprises de construction doivent apprendre à concilier les logiques de court et de long terme et s'impliquer au maximum dans le projet. La gestion de plusieurs segments de la chaîne de valeur pour gérer plus efficacement les interfaces est un point clef de la réussite des projets complexes de la ville durable.

La ville de demain, à la portée des entreprises ? La question est plus complexe. Construire un urbanisme durable exige que tous les acteurs de la ville se posent ensemble les bonnes questions, qu'ils élaborent des objectifs communs et prennent les décisions appropriées. C'est donc une nouvelle gouvernance qui est à envisager. Mais c'est aux entreprises que revient la responsabilité d'inventer, de diffuser, d'appliquer les techniques et les méthodes qui faciliteront la mutation de nos villes. L'enjeu est de taille pour toutes les parties, et il représente une réelle opportunité. À condition de réagir à temps. □

Pour en savoir plus :
www.lafabriquedelacite.com
www.chaire-eco-conception.com

ABSTRACT

A CHANGING URBAN WORLD: A LOOK AT A CONSTRUCTION FIRM'S CONTRIBUTION TO THE CITY OF TOMORROW

GÉRALDINE THOMAS, VINCI - CHRISTIAN CAYE, VINCI

Demographic growth, social and environmental crises... *our cities are facing major challenges that they are not currently equipped to face. Everyone now agrees that the application of a sustainable development approach to our cities is urgent and absolutely necessary. However, to date, no-one has proved really capable of developing a model or methods to bring about this change, i.e. to make our cities sustainable. The first step towards urban sustainability is therefore to define the concept. To achieve this, it is essential that everyone involved in urban life and development contribute and share their experience, starting with construction companies. But for them, taking a long-term view of the city and the upstream phases in its development requires a profound change. They have to go back up the value chain and adopt an integrated approach to the design and operation of structures. In addition, research, tool development and project financing requirements are areas in which private operators, drawing on their experience, can make sound contributions.* □

UN MUNDO DE URBANOS EN MUTACIÓN: REPASO SOBRE LA CONTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA DE LA CONSTRUCCIÓN PARA LA CIUDAD DEL FUTURO

GÉRALDINE THOMAS, VINCI - CHRISTIAN CAYE, VINCI

Crecimiento demográfico, crisis sociales y medioambientales: *nuestras ciudades se ven confrontadas a diversos retos primordiales a los cuales no pueden afrontarse en el estado. Todos los protagonistas se acuerdan para afirmarlo: la aplicación de las lógicas de desarrollo sostenible a nuestras ciudades es urgente e ineludible. Ahora bien, hasta entonces, nadie ha sido realmente capaz de caracterizar un modelo o los métodos para operar este cambio: transformar nuestras ciudades en ciudades sostenibles. Por consiguiente, la primera etapa de la sostenibilidad urbana parece ser aquella de la definición del concepto. Para lograr semejante objetivo, todos los protagonistas de la ciudad deben contribuir y compartir sus experiencias, empezando por las empresas de la construcción. Pero, para los constructores, considerar la ciudad en el largo plazo y vislumbrar las etapas anteriores corresponde a operar una evolución profunda, volver a integrar la escala de valor y en integrar un modelo que pasa por la concepción hasta la explotación de las obras. Más allá, las necesidades en investigación, en desarrollo de herramientas o en ingeniería financiera constituyen otras tantas obras a las cuales los operadores privados, con la pujanza de su experiencia, pueden contribuir en el momento oportuno.* □

ZAC SEGUIN-RIVES DE SEINE : LE DÉVELOPPEMENT DURABLE EN ACTION

AUTEUR : ANAÏS REYTIER, SAEM VAL-DE-SEINE AMÉNAGEMENT

LA RECONVERSION DES TERRAINS DES ANCIENNES USINES RENAULT, SITUÉES SUR UN SITE REMARQUABLE DE 74 HECTARES MARQUÉ PAR LA PRÉSENCE DE LA SEINE ET DE L'ÎLE SEGUIN, APPELAIT UN PROJET EMBLÉMATIQUE INNOVANT ET DURABLE.

CRÉÉE EN 2003, LA SAEM VAL-DE-SEINE, CHARGÉE DE L'AMÉNAGEMENT, S'EST DONC ENGAGÉE DANS UNE DÉMARCHE RESPONSABLE VIS-À-VIS DE L'ENVIRONNEMENT POUR BÂTIR UN QUARTIER ALLIANT PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES, ATTRACTIVITÉ ÉCONOMIQUE ET CULTURELLE, ET QUALITÉ DE VIE.

UNE DÉMARCHE GLOBALES

Un quartier durable doit être conçu dans le but de préserver les ressources naturelles et d'en limiter la consommation, notamment à travers une utilisation maîtrisée de l'énergie afin de réduire son empreinte sur l'environnement. Cependant, la pérennité d'une opération doit également être envisagée à travers tous les domaines constitutifs d'un quartier : énergie, transports, économie, etc. L'opération Ile Seguin-Rives de Seine s'est donc attachée à développer :

- De nombreux espaces publics de qualité (50 % de la ZAC sont dédiés aux espaces libres), dans le respect de la biodiversité et de l'environnement ;
- Les circulations piétonnes et cyclistes ;
- Une gestion optimisée des ressources en eau ;
- Le recours aux énergies renouvelables, notamment à travers la valorisation

de l'énergie solaire et la mise en place d'un réseau de chaud et de froid sur l'ensemble de la ZAC ;

→ La mixité sociale et fonctionnelle.

La phase chantier fait elle aussi l'objet de toutes les attentions : une charte acoustique vise à réduire les nuisances sonores en phase de chantier et en phase d'exploitation. Les nuisances liées au chantier sont maîtrisées grâce à un contrôle permanent réalisé sur le terrain : traitement des déchets, propreté et organisation du chantier. C'est cette approche globale et transversale qui fait la force du projet. La SAEM Val-de-Seine Aménagement n'est pas intervenue ponctuellement par petites touches mais a privilégié des solutions environnementales globales (comme le réseau de chaud et de froid et la gestion de l'eau), et a systématisé sa démarche, notamment dans son approche de la haute qualité environnementale (HQE) qu'elle a imposée aux bâtiments.

DE LA VOLONTÉ POLITIQUE À LA RÉALISATION CONCRÈTE

Une fois les objectifs fixés, il s'est agi de traduire les ambitions environnementales de l'opération en exigences contractuelles afin d'y soumettre ou de faire adhérer tous les intervenants du projet. A cette fin, la SAEM s'est dotée d'un outil spécifique : le cahier des prescriptions techniques et environnementales (CPTÉ). Ce document définit et précise toutes les exigences environnementales que chaque promoteur, architecte et paysagiste doit respecter pour toutes les constructions réalisées sur la ZAC. Le CPTÉ fournit des prescriptions environnementales très précises et ambitieuses, allant au-delà de la réglementation, et insiste particulièrement sur l'énergie, l'eau, l'acoustique et l'ensoleillement.

Ainsi, la SAEM Val-de-Seine Aménagement a su promouvoir une démarche

HQE à l'échelle de la ZAC, en imposant notamment les éléments suivants :

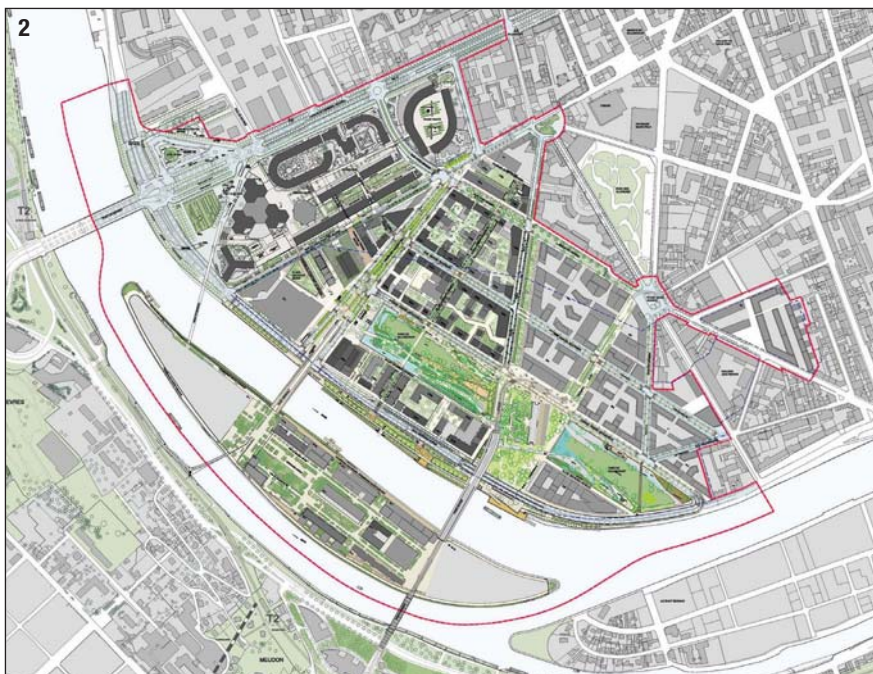
- Le respect de la certification Habitat et environnement pour les logements sociaux, les logements libres et les résidences ;
- Le respect de la certification NF bâtiments tertiaires-démarche HQE® pour les bureaux et les locaux d'enseignement. Les équipements sportifs et culturels seront soumis à la même certification en tant qu'opération pilote ;
- La gestion de la ressource en eau : récupération des eaux pluviales, limitation du débit de fuite à la parcelle, arrosage naturel, bassins à ciel ouvert et noues permettant le tamponnement ;
- La mise en place de chantiers verts : mesures de protection et procédures de contrôle imposées aux maîtres d'ouvrage et aux entreprises pour le bruit, la propreté, les déchets, la qualité des eaux rejetées en Seine.





1- Vue aérienne de l'opération.

1- Aerial view of the project.



2- Plan d'ensemble de l'opération.

2- General project plan.

DES AMBITIONS CROISSANTES

L'actualisation ou le renouvellement des objectifs et des performances énergétiques tout au long de l'avancement de l'opération est un enjeu majeur pour pouvoir se prévaloir d'être un écoquartier exemplaire. Là encore, le CPTe est un outil contractuel incontournable, qui a la particularité d'être évolutif et non figé. Ainsi, sur le Trapèze, les exigences imposées par la SAEM et la Ville n'ont cessé de croître : les premiers bâtiments programmés en 2005 sont à RT 2000 - 8 % ; en 2006, la SAEM programme des bâtiments HPE (RT 2005 - 10 %) ; puis des programmes THPE (très haute performance énergétique) et BBC (bâtiment basse consommation) voient le jour. Aujourd'hui, la SAEM impose pour tous les logements et les bureaux un coefficient de consommation énergétique inférieur de 20 % par rapport au niveau de référence de la



RT 2005, afin d'obtenir le label THPE 2005. Cette exigence minimale est obligatoirement respectée, voire dépassée par certains îlots qui prévoient d'obtenir le label BBC.

Sur les îlots V et Y, la SAEM va encore plus loin et demande que la consommation des bâtiments soit inférieure ou égale à 50 kWh ep/m²/an, pour tous les usages et selon le mode de calcul de la RT 2005. Par ailleurs, la SAEM s'est engagée dans un projet exemplaire de réalisation d'une crèche à énergie zéro, dont elle assure la maîtrise d'ouvrage directe.

L'opération Ile Seguin-Rives de Seine est ainsi l'une des premières ZAC en France à imposer systématiquement la démarche de certification HQE pour toutes ses opérations de construction. Les exigences environnementales portées par l'opération répondent à une démarche globale qui s'applique à tous les domaines, mais également à toutes les échelles du projet, du macro-lot à la ZAC dans son ensemble, et à tous les temps de l'opération, de la phase chantier à la réalisation.

OPTIMISER LA GESTION DE L'EAU

La SAEM a fait le choix d'aménager un cheminement de l'eau à ciel ouvert sur l'ensemble du quartier. Traité par un aménagement paysager de type noues

« **L'OPÉRATION ÎLE SEGUIN-RIVES DE SEINE EST L'UNE DES PREMIÈRES ZAC EN FRANCE À IMPOSER SYSTÉMATIQUEMENT LA DÉMARCHÉ DE CERTIFICATION HQE POUR TOUTES SES OPÉRATIONS DE CONSTRUCTION** »

et jardins en creux, ce réseau permet à la fois de minimiser les coûts qu'aurait occasionné un réseau d'eaux pluviales enterré classique, et de bénéficier d'un environnement paysager de qualité en milieu urbain dense.

La mise en place d'un triple réseau séparatif permet de distinguer les eaux usées, les eaux pluviales claires (issues des zones non circulées et des toitures) et les eaux pluviales chargées (issues des zones circulées). Seules les eaux usées sont rejetées dans le réseau d'assainissement communal existant, limitant ainsi les volumes à traiter en aval, dans les stations d'épuration.

La récupération des eaux de pluie se fait depuis les toitures et les surfaces non circulées par les voitures. En cas de fortes pluies, l'eau est retenue dans les parcelles privées avant d'être rejetée dans les noues des espaces publics. Les eaux de pluie vont également s'infiltrer naturellement dans les jardins en cœur d'îlot, dans les noues et, en cas d'excédent, elles sont dirigées vers le parc du quartier, dernier maillon de la chaîne, puis absorbées. Les eaux pluviales issues des voiries passent classiquement dans des réseaux enterrés. Elles sont traitées sur site, par des décanteurs, puis rejetées directement à la Seine suivant un débit et une qualité contrôlés.

Ce triple réseau séparatif offre les avantages suivants :

- La réutilisation des eaux pluviales claires pour l'agrément et/ou l'arrosage, notamment au sein du nouveau parc de Billancourt ;
- L'optimisation des rendements des décanteurs, qui traitent uniquement les eaux pluviales chargées ;
- La réduction des débits de rejet en Seine, qui ne concerne que les eaux pluviales chargées après traitement. Les eaux pluviales claires seront réutilisées et/ou infiltrées naturellement sur le site ;
- L'économie de canalisations enterrées, puisque les eaux pluviales claires empruntent le réseau végétalisé à ciel ouvert ;
- L'allègement des problèmes d'entretien liés à la maintenance des réseaux souterrains.

LE PARC DE BILLANCOURT, CLEF DE VOÛTE DU SYSTÈME

Situé au cœur du réseau de nature qui structure le nouveau secteur de la Rive-de-Billancourt, le futur parc de 7 hectares présente une gestion innovante de l'eau, qui intègre et met en valeur le paysage. Espace perméable, le parc de Billancourt permet une infiltration directe des eaux de pluie claires dans le sol. Les eaux de pluie sont également



3

3- Parc du Trapèze.
4- Crèche zéro énergie.

3- Parc du Trapèze (park).
4- Zero-energy day nursery.



© HONDELATTE ET LAPORTE
 4

récupérées dans un bassin de stockage en vue de l'arrosage du parc. En cas de crue, le parc fait office de bassin de rétention et régule la montée des eaux. Les crues font donc évoluer le paysage du parc, l'eau envahissant progressivement les fossés et isolant les différents îlots qui forment ainsi des îles et révèlent un « jardin archipel ».

Par temps pluvieux, la fermeture des vannes augmente le niveau de l'eau dans un des jardins en creux du parc, puis les noues successives se remplissent pour enfin acheminer l'eau vers des puits d'infiltration. Lorsque les pluies cessent, l'ouverture des vannes permet de réguler plus rapidement les niveaux d'eau et de protéger les plantations d'une inondation prolongée. Le bassin en eau permanente, alimenté

par les eaux de la nappe phréatique, est sujet à un marnage de 30 cm créant les conditions adéquates pour la végétalisation des berges. D'autre part, les ouvrages d'assainissement situés dans l'emprise du parc permettent de traiter les eaux pluviales chargées de la ZAC, via un décanteur, avant qu'elles ne soient rejetées dans la Seine.

Outre le concept fort lié à la gestion de l'eau et des inondations au sein du quartier, ce parc met en œuvre des objectifs ambitieux de biodiversité et de gestion différenciée. Les différents milieux végétaux qui composent le parc dépendent de la gestion de l'eau et du nivellement qui en découle, et les jardins en creux sont, dans leurs plantations, volontairement différents de l'espace public qui les entoure, créant

ainsi des éléments insolites et distinctifs au cœur du secteur du Trapèze.

UN RÉSEAU DE CHAUD ET DE FROID PERFORMANT

La lutte contre les gaz à effet de serre se traduit également par des actions concrètes menées sur la ZAC. S'étant engagées à privilégier le recours aux énergies renouvelables, la SAEM Val-de-Seine et la Ville de Boulogne-Billancourt ont opté pour un réseau de chaud et de froid mis en place par Idex sur l'ensemble de l'opération. Les logements sont alimentés en chaleur principalement grâce à l'eau chaude produite par le centre d'incinération des déchets ménagers d'Isséane (à hauteur minimale de 33 % du bouquet énergétique global) et transportée par le réseau jusqu'à la ZAC.

Ce système de chauffage permet de réduire de manière significative les émissions de CO₂ par rapport à un réseau de chaleur alimenté au fioul ou même au gaz. La centrale de production de froid sera, quant à elle, implantée dans les volumes vides existants de la culée du pont de Sèvres, situé à proximité immédiate de la ZAC. L'énergie est produite par des groupes froids, couplés avec des stockages de glace (représentant 30 % de la production), lesquels sont refroidis grâce à l'eau de la Seine, évitant ainsi l'utilisation d'aéroréfrigérants. Toutes les potentialités du site sont ainsi exploitées.

D'autre part, le CPTÉ impose aux constructeurs de bâtiments tertiaires de recourir au réseau de froid pour couvrir tous leurs besoins en climatisation. ▷

PARCOURS DE L'EAU DEPUIS LES TOITURES DES MACRO-LOTS JUSQU'AU PARC DU NOUVEAU QUARTIER

ESPACE PRIVÉ

ESPACE PUBLIC



Récupération des eaux pluviales sur les toitures
Descente le long des bâtiments
Récupération en cœur d'îlot (utilisation éventuelle pour l'arrosage)
Rejet dans les noues drainantes des traverses paysagères
Cheminement dans les noues (jardins en creux)
Rejet dans le parc
Arrosage des milieux naturels du parc et stockage en cas de forte pluie
Surverse en Seine

À terme, 300 000 m² de bureaux, de commerces et d'activités pourront être raccordés au réseau, ce qui prohibe l'installation d'aéroréfrigérants en toiture à l'origine de nuisances visuelles, sonores et sanitaires (risques de légionellose). Les constructeurs de logements ont, quant à eux, l'obligation de se raccorder au réseau de chaud.

Enfin, Idex, le délégataire de service public pour la production et la distribution de chaleur et de froid sur le périmètre de la ZAC, s'est engagé à produire une partie de la chaleur consommée à partir d'énergie solaire via des panneaux solaires thermiques (1 500 m²).

Le premier bâtiment qui mettra en œuvre ces panneaux est l'ensemble immobilier du groupe scolaire et de logements sociaux sur B2b. Idex a également pour objectif d'augmenter la part d'énergie renouvelable jusqu'à 60 % pour la production de chaleur.

Des études sont menées pour atteindre rapidement cet objectif. L'implantation d'Idex sur la ZAC permettrait également de desservir en chaud d'autres quartiers existants, à savoir les quartiers du pont de Sèvres et de Sully-Gallieni.

CHANTIERS VERTS

Les chantiers privilégient la réduction des nuisances : approvisionnement et évacuation des gravats et déchets par voie fluviale lorsque cela est possible, gestion différenciée des déchets, limitation des bruits, de l'empoussièrement, contrôles de la qualité des eaux...

Ces exigences pour un chantier à faible nuisance sont décrites dans le cahier d'organisation des chantiers (COC) document contractuel. Celui-ci reprend en outre les exigences liées au chantier à faible nuisance, comme :

- Le contrôle et la qualité des eaux rejetées ;
- Le traitement des déchets ;

→ La propreté et l'organisation du chantier ;

→ La limitation des nuisances acoustiques.

Un bureau d'études techniques spécialisé, Ginger environnement, est chargé par la SAEM de contrôler le respect de ces exigences. Cet assistant à la maîtrise d'ouvrage a pour mission d'assurer le contrôle et le suivi des prescriptions du COC, mais aussi des autorisations délivrées dans le cadre de la loi sur l'eau. Concrètement, deux personnes, en binôme, se rendent au moins une fois par semaine sur les chantiers, effectuent des mesures et vérifient l'état des chantiers. À la suite de ces visites, des comptes-rendus sont transmis à tous les référents environnement des chantiers pour des actions correctives en cas de non-respect des recommandations environnementales (déchets mal triés, niveaux sonores supérieurs au seuil autorisé...).

CRÈCHE ZÉRO ÉNERGIE

Suite au concours lancé par la SAEM en 2008, l'équipe de maîtrise d'œuvre Hondelatte et Laporte, associée au bureau d'étude HQE Gestion conseil bâtiment, a été désignée pour la construction d'une crèche zéro énergie. Cet équipement public de 1 450 m² accueillera 60 berceaux et une Structure Multi Accueil de 20 places.

Du point de vue du développement durable, la solution zéro énergie est plus ambitieuse et plus respectueuse de l'environnement. Les consommations du bâtiment doivent être compensées par une production d'énergie. Au final, le bilan énergétique doit être égal à zéro. Contrairement au label BBC, tous les postes de dépense d'énergie sont pris en compte, y compris la bureautique et les équipements de cuisine.

Pour atteindre une très faible consommation et limiter les déperditions le projet prévoit notamment une enveloppe performante du bâtiment avec une isolation par l'extérieur, du double ou triple vitrage selon les façades.

Il est également envisagé de mettre en place une ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait et, en option, un puits canadien qui apporterait une solution complémentaire au confort d'été et d'hiver. La production de l'eau chaude sanitaire serait assurée par l'énergie solaire thermique. Enfin, des panneaux solaires photovoltaïques viendraient compléter ce dispositif en produisant l'énergie complémentaire nécessaire au fonctionnement du bâtiment qui serait revendu à EDF. Les travaux devraient débuter mi-2010. □

ABSTRACT

ZAC SEGUIN-RIVES DE SEINE (MIXED DEVELOPMENT ZONE): SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ACTION

ANAÏS REYTIER, SAEM VAL-DE-SEINE AMÉNAGEMENT

Redevelopment of the land of the former Renault factories, located on a remarkable 74-hectare site featuring the Seine River and Seguin Island, called for an emblematic project that would be innovative and sustainable. SAEM Val-de-Seine, set up in 2003, is in charge of this development, and has therefore undertaken an environmentally responsible process to build a district combining environmental performance and economic and cultural attractiveness with quality of life. □

ZAC SEGUIN-RIVES DE SEINE: EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN ACCIÓN

ANAÏS REYTIER, SAEM VAL-DE-SEINE AMÉNAGEMENT

La reconversión de los terrenos de las antiguas instalaciones industriales de Renault, ubicadas en un sitio extraordinario de 74 hectáreas que se destaca por la presencia del río Sena y la isla Seguin, precisaba un proyecto emblemático innovador y sostenible. Creada en 2003, la SAEM Val-de-Seine, que tiene a cargo la ordenación, se ha comprometido en un enfoque responsable con relación al medio ambiente para construir un barrio que combina eficiencia medioambiental, atractivo económico y cultural, y calidad de vida. □

UNE TOURBIÈRE ARTIFICIELLE AU PARC DE BILLANCOURT

AUTEUR : ANNE-SOPHIE VERRIEST, INGÉNIEUR PAYSAGISTE ENSNP

NICHÉE AU COEUR DU PARC DE BILLANCOURT, LA TOURBIÈRE ARTIFICIELLE CRÉE UN PAYSAGE INSOLITE OÙ LES VÉGÉTAUX SPÉCIAUX S'OFFRIRONT AUX VISITEURS. LA RECONSTITUTION DE CET ÉCOSYSTÈME EST LE FRUIT D'UN TRAVAIL COMPLEXE, QUI A NÉCESSITÉ UNE ÉTUDE APPROFONDIE DES SOLS, DE LA TOPOGRAPHIE ET DU SUBSTRAT GÉOLOGIQUE. A L'AVENIR, ELLE POURRA SERVIR DE LABORATOIRE D'OBSERVATION, PERMETTANT DE COMPARER SON ÉVOLUTION À CELLE D'UNE TOURBIÈRE NATURELLE.



© A.-S. VERRIEST

PROJET EN ZONE INONDABLE

Le parc de Billancourt se trouve au cœur de la nouvelle ZAC Rives-de-Seine. Situé dans la zone d'expansion de crue de la Seine, il est destiné à l'inondation. Ville et nature s'entendent pour laisser place à l'eau, dans un espace qui adopte une forme capable de subir les caprices des orages et des crues. Proche de la Seine, en connexion avec la nappe phréatique et réceptacle des eaux pluviales de la ZAC, le parc de

Billancourt est donc conçu pour s'imprégner, s'encombrer d'eau, pour une durée déterminée ou non, selon la force de l'événement.

Sa forme oscille en permanence entre bords de fleuve contrôlés et incontrôlables. D'une enveloppe extérieure très architecturée, comparable aux darses, on entre dans une dépression dédiée au vocabulaire des déversoirs, spécifiques aux paysages des fleuves. Son espace interne est ainsi segmenté

1- Tourbière installée, en attente des plantations, entre l'île des cerisiers et la grande pelouse.

1- Placing the bog between cherry trees and large lawn.

entre des fossés, zones d'expansion de crue et d'orage, et des îles qui s'affirment selon le phénomène pluvieux, modifiant ponctuellement la perception quotidienne du quartier et de son rapport à la Seine. Ce condensé des différents écosystèmes que l'on peut retrouver en bord de rivière se décline, à travers le parcours hydraulique qui le compose, des milieux humides aux milieux secs. On passe ainsi du marais à la grève grâce aux milieux intermé-



© Photos n°2, 3, 4 & 5 : A.-S. VERRIEST

diaires que sont la tourbière, le sous-bois humide et la noue sableuse. Le parc est en phase de réalisation depuis août 2008. Le premier périmètre de travaux concentre toute la complexité du projet, tant d'un point de vue structurel et hydraulique que végétal. Après les terrassements et le génie civil viennent les plantations. La maîtrise d'œuvre et l'entreprise terminent actuellement la réalisation de la tourbière, qui devrait voir le jour en octobre 2009.

LES DÉFIS DE LA RECONSTITUTION

Pour comprendre ce qui nous anime, il est utile de rappeler à quel point les tourbières représentent des écosystèmes complexes, fragiles et rares. En milieu naturel, elles mettent des milliers d'années à se constituer. La tourbe est un sol organique, issu de la dégradation incomplète de débris végétaux dans un milieu saturé en eau. En ce sens, c'est une véritable roche végétale fossile qui s'accumule sur plusieurs mètres d'épaisseur, au rythme moyen de 0,2 à 1 mm par an. Une tourbière reste active tant que se poursuivent les processus d'élaboration et d'accumulation de la tourbe à partir

2- Élément de fontainerie.

3- Pose de la couche de protection d'étanchéité dans la tourbière.

4- Entrée de la tourbière depuis le bassin, rétrécissement et rehaussement du fond du bassin.

2- Hydrant.

3- Placing the waterproof protection layer in the bog.

4- Entrance to the bog from the pond, narrowing and elevation of the bottom of the pond.

de ces végétaux qu'on appelle tourbification. Si ces processus cessent, la tourbière devient inactive. Une transplantation d'un pan de tourbière dans le parc n'était donc pas concevable, car elle aurait engendré un bouleversement du biotope risquant de vouer à l'échec la reprise des végétaux. Tout le défi du parc de Billancourt réside donc dans le bouleversement de ce processus, puisque les végétaux seront installés sur un substrat de synthèse, dont ils ne sont pas issus. Tenant compte des contraintes du site (exposition, présence d'une eau calcaire, vent, topographie), nous allons enclencher les processus de tourbification en créant de toutes pièces les paramètres de régénération d'une tourbière inactive (substratum, topographie et suintement hydraulique particulier), afin d'offrir aux végétaux les meilleures conditions d'implantation et de développement. En se posant la question de la création, il fallait se placer sur le terrain de la compréhension de ce milieu complexe et mettre en œuvre les compétences du groupement (Agence Ter, Setec TPI et Biotope) afin de définir le dessin, les matériaux et les végétaux qui composeraient notre tourbière. De cette expérience, nous avons appris à synthétiser

nos savoir-faire respectifs en confrontant la description et l'observation, le calcul et l'intuition.

UN SOL SATURÉ EN EAU

Le premier point caractéristique des tourbières est le sol, saturé en permanence d'une eau stagnante ou très peu mobile. Les micro-organismes sont privés de l'oxygène nécessaire à leur métabolisme. La décomposition de la matière organique n'est plus assurée, et la litière végétale ne se minéralise que très lentement et très partiellement. De cette lente accumulation naîtra la tourbe. La condition indispensable à la formation et au développement des tourbières est donc l'existence d'un bilan hydrique positif : les apports d'eau doivent être égaux ou supérieurs aux pertes. Cette condition sine qua non, qui peut parfois s'avérer la contrainte principale, est parfaitement remplie au parc de Billancourt, qui reçoit continuellement les eaux d'exhaure du parking souterrain adjacent. Cet apport conditionne majoritairement les apports hydriques, alors que la fraîcheur des eaux de nappe agit sur les taux d'évapotranspiration, en même temps qu'elle influence, par ses caractéristiques alcalines, les phé-



© Photos n°6 & 7 : H. STOKES

nomènes de production et de minéralisation de la matière organique.

CONTRAINTES TOPOGRAPHIQUES

Second point caractéristique : la topographie. L'accumulation des eaux dans une dépression du sol ou leur écoulement lent le long d'une faible pente créent en effet des conditions favorables à la genèse de milieux tourbeux. L'emplacement de la tourbière est donc déterminant vis-à-vis du parcours hydraulique global, puisqu'il lui faut un écoulement faible et peu virulent. C'est pourquoi nous l'avons implantée dans le bassin d'agrément de 3 000 m², où l'étanchéité et l'apport des eaux d'exhaure garantissent un contact hydrique perpétuel. Le faible écoulement demandé face au débit d'arrivée des eaux (80 m³/h) a entraîné la création d'éléments de fontainerie qui répartissent le débit sur toute la largeur du bassin. Enfin, la tourbière a été placée dans un bras de bassin au dessin particulier. À cet endroit, il se resserre fortement et le fond remonte de 80 cm. Les modalités d'apports hydriques concilient ainsi les modes d'implantation des tourbières limnogènes, issues de l'atterrissement progressif d'une pièce d'eau à partir de radeaux végétaux flottants, et des tour-

bières fluviogènes, provenant de l'inondation périodique d'une vallée par un cours d'eau ou une nappe alluviale.

UN SUBSTRAT GÉOLOGIQUE COMPLEXE

La nature du substrat géologique joue également un rôle important, à la fois pour ses éléments constitutifs, son acidité, sa perméabilité, mais aussi pour sa morphologie (plate, bombée...) et sa situation géomorphologique (fond de vallon, pente, surcreusement glaciaire...). Il a fallu constituer un mélange fin dans le but de retrouver les caractéristiques nécessaires à l'implantation du processus de tourbification. Au contact du sol, les eaux sont en effet enrichies en substances minérales dissoutes, dans des proportions variables dépendant de la nature du substratum. Dans notre cas, nous avons opté pour un mélange de sable et de résidus de coco, issus du défilage du mésocarpe de la noix de coco.

Le mélange garantit une conductivité de l'eau suffisante et un pH alcalin conforté par les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de nappe.

Pour augmenter la conductivité et l'apport en minéraux dans l'eau tout au long de la tourbière, le fond du subs-

5- Couche de pozzolane et géotextile dans la tourbière avant la pose du substrat coco.

6- Pose de la partie supérieure de la tourbière. Cette zone accueillera des salix, spécifiant la fin de la tourbière et un milieu moins humide.

7- Mise en place des blocs de coco dans la tourbière.

5- Layer of pozzolan and geotextile in the bog before placing the coconut-fibre substrate.

6- Placing the upper part of the bog. This area will receive salix plants, indicating the end of the bog and a less humid environment.

7- Placing coconut-fibre blocks in the bog.

trat est complété par une couche de pozzolane. Le mélange ainsi constitué recrée les conditions physiques de substrat des tourbes blondes, à savoir des matériaux à faible densité, poreux et riches en fibres.

Enfin, la création de zones plus ou moins bombées permet d'interagir avec des palettes végétales riches aux types d'implantation différents (zone immergées, zones plus sèches...), révélant des faciès spécifiques.

UN VÉRITABLE LABORATOIRE VIVANT

L'installation d'une tourbière dans un parc apporte une forte valeur pédagogique. Ce sont en effet des milieux relictuels dont les variétés faunistiques et floristiques présentent des particularités originales. Elles possèdent un fonctionnement que l'on ne rencontre dans aucun autre écosystème, induisant une organisation et un fonctionnement très particuliers, tant du point de vue de leur hydrologie que de la genèse de leur sol ou des communautés vivantes. Les conditions écologiques, souvent très contraignantes, ont nécessité de la part des organismes qui y vivent des adaptations tout à fait remarquables. Comme tout milieu, la tourbière est ▷



© Photos n°8 & 9 : H. STOKES



© Photo n°10 : A.-S. VERRIEST

évolutive et représente un véritable laboratoire vivant. Celle du parc pourra donc être surveillée afin de comparer l'évolution d'une tourbière artificielle à celle d'une tourbière naturelle. En effet, au fur et à mesure de la production et de l'accumulation de tourbe, la surface d'une tourbière s'élève progressivement. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que la surface et la végétation finissent par ne plus être en contact avec la nappe et s'affranchissent de son alimentation. Afin d'éviter l'assèchement de la tourbière, donc son inactivité, et de favoriser un développement perpétuel, il a été prévu de mettre en place un système de goutte-à-goutte. L'apport par ruissellement suffisamment abondant se substituera alors à la nappe pour assurer l'alimentation hydrique de la partie

sommitale de la tourbière. Ce stade est généralement assez stable mais, au terme de son évolution, la tourbière pourra s'assécher progressivement, atteindre son stade minéralisé et, éventuellement, se boisser. Ces processus naturels d'évolution des milieux sont

extrêmement lents, ils s'opèrent à l'échelle de plusieurs siècles ou millénaires, mais peuvent être considérablement accélérés par des actions anthropiques. La tourbière du parc pourrait ainsi devenir un lieu d'observation de la modification de ce faciès végétal. □

PARC DE BILLANCOURT, BOULOGNE-BILLANCOURT

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SAEM Val-de-Seine Aménagement.

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Agence Ter, paysagistes ; Setec TPI, bureau d'études techniques ; Biotope, bureau d'études environnementales.

SUPERFICIE : 11 ha.

MONTANT DE L'OPÉRATION : 13 millions d'euros HT.

8- Les blocs de coco sont installés dans la tourbière. Les berges ainsi recouvertes seront plantées d'espèces de bord de fleuve.

9- Arrosage des blocs de coco : l'humidification décompacte le substrat ; le nivellement de la tourbière sera effectué manuellement afin de créer des zones plus ou moins immergées.

10- Échantillon de bloc de coco.

8- The coconut-fibre blocks are installed in the bog. The banks thus covered will be planted with riverbank species.

9- Watering the coconut-fibre blocks: moistening decompacts the substrate; bog levelling will be performed manually so as to create more or less immersed areas.

10- Coconut-fibre block sample.

ABSTRACT

AN ARTIFICIAL BOG IN BILLANCOURT PARK

ANNE-SOPHIE VERRIEST, ENSNP

In the midst of Billancourt park, the artificial bog creates an unusual landscape in which visitors can view special plants. The reconstruction of this ecosystem is the result of complex work, which required an in-depth study of the soils, topography and geological substrate. In the future, it could act as an observation laboratory, whose development may be compared with that of a natural bog. □

UNA TURBERA ARTIFICIAL EN EL PARQUE DE BILLANCOURT

ANNE-SOPHIE VERRIEST, ENSNP

Ubicada en pleno centro del parque de Billancourt, la turbera artificial crea un paisaje insólito donde los vegetales especiales se ofrecerán a los visitantes. La reconstitución de este ecosistema es el resultado de un trabajo complejo, que ha precisado un estudio exhaustivo de los suelos, de la topografía y del substrato geológico. En el futuro, esta turbera podrá servir de laboratorio de observación, permitiendo la comparación de su evolución con aquella de una turbera natural. □

FONDATEMENTS DES PROJETS MOZART ET FARMAN-PARIS : HARMONISER LE NEUF ET L'ANCIEN

AUTEUR : ROBERT PORET, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, SOLÉTANCHE BACHY

À LA FRONTIÈRE DE PARIS ET D'ISSY-LES-MOULINEAUX, LE PROJET IMMOBILIER MOZART, PILOTÉ PAR BOUYGUES IMMOBILIER, EST EN TRAIN DE PRENDRE FORME. D'IMPORTANTES TRAVAUX SPÉCIAUX ONT ÉTÉ NÉCESSAIRES POUR PERMETTRE LA DÉCONSTRUCTION D'UNE ANCIENNE TOUR, LA RÉUTILISATION DES FONDATIONS EXISTANTES ET LES TRAVAUX DE NOUVELLES FONDATIONS. SOLÉTANCHE BACHY A MIS SON EXPERTISE GÉOTECHNIQUE AU SERVICE DE CE PROJET ET A FAIT COHABITER LE NEUF ET L'ANCIEN EN TOUTE HARMONIE.

Sur le site de l'ancienne tour EDF-GDF, à cheval entre les communes de Paris (XV^e) et d'Issy-les-Moulineaux, Bouygues

Immobilier réalise le projet Mozart, soit 90 000 m² de bureaux repartis en trois bâtiments : l'immeuble Farman-Paris (R+6), l'immeuble Eqwater (R+6) et la

tour IGH Mozart (26 étages). Les travaux de fondations ont été rendus particulièrement complexes par la déconstruction de l'ancienne tour EDF : la

structure, qui représente 130 000 t de matériaux, a été entièrement déconstruite, hormis une partie des structures du parking souterrain au nord du site. ▷



1- Vue d'ensemble de la fouille après déconstruction et terrassement (au fond la rue Barra, à gauche la rue Farman et à droite le poste de relai). Au centre un outillage Starsol exécute un pieu.

1- General view of the excavation after deconstruction and earthworks (in the background, Barra street, on the left Farman street, and on the right the relaying station). In the centre, a Starsol tool executes a pile.

Il s'agissait d'un des plus grands chantiers de déconstruction de l'Hexagone, situé à proximité de mitoyens sensibles et dans un contexte hydrogéologique très productif.

Solétanche Bachy s'est vu confier l'important lot de travaux spéciaux liés à la déconstruction de l'ancienne tour, ainsi que les travaux de fondations pour les projets de la tour Mozart et de l'immeuble Farman-Paris. Les anciennes fondations ont été en partie réutilisées et complétées par des travaux neufs.

DÉCONSTRUCTION DE L'ANCIENNE TOUR ET FONDATIONS DE LA TOUR MOZART

Rabattement de la nappe

L'ancienne tour EDF-GDF date de 1970 et comporte trois niveaux de sous-sol, conservés par le projet Mozart.

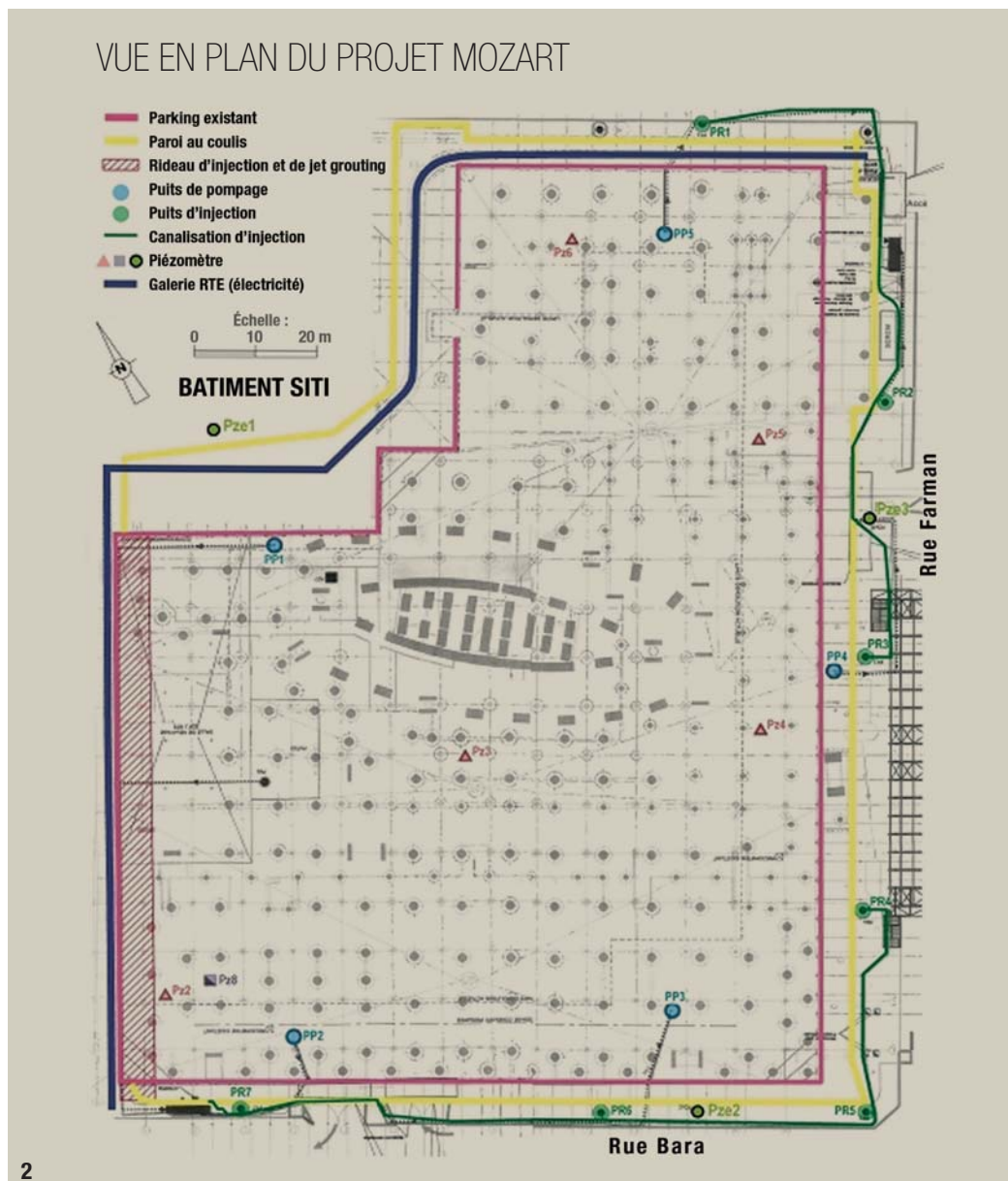
À l'époque, la fouille de 15 000 m² a été réalisée en paroi préfabriquée par l'entreprise Solétanche, sous pompage général dans les alluvions et la craie, sans enceinte périphérique profonde limitant le débit. Les débits pompés pour rabattre la nappe et permettre la construction de l'ancien parking étaient de l'ordre de 4 000 à 5 000 m³/h.

L'approfondissement des parois n'avait pas été jugé nécessaire dans la mesure où la phase de rabattement se limitait à la période de construction des tours, le poids des tours contrebalançant les sous-pressions par la suite. L'opération de déconstruction est venue bouleverser cet équilibre : si le poids des tours disparaissait, les sous-sols risquaient de ressortir de terre sous l'effet de la poussée d'Archimède. Un rabattement de nappe a donc été nécessaire pour la nouvelle phase de travaux. Or le projet se trouve dans un contexte hydrogéologique très productif (alluvions sur craie ; la transmissivité est de l'ordre de 5.10⁻²m²/s). Il n'est plus concevable, à ce jour, de pomper de tels débits (4 000 à 5 000 m³/h).

Création d'une enceinte étanche mixte

La solution choisie consiste à créer une nouvelle enceinte étanche périmétrique aux trois niveaux de sous-sols existants, sur une longueur de 477 m, à une distance de quelques mètres de l'ouvrage existant. La technique de la paroi au coulis est privilégiée sur les trois côtés parallèles aux rues Bara, Farman et au terrain Syctom. Sur le côté ouest, le tracé de l'enceinte (figure 2) croise une galerie RTE et un poste de relai (poste de commande) desservant près de 300 000 foyers. Cet ouvrage très

VUE EN PLAN DU PROJET MOZART

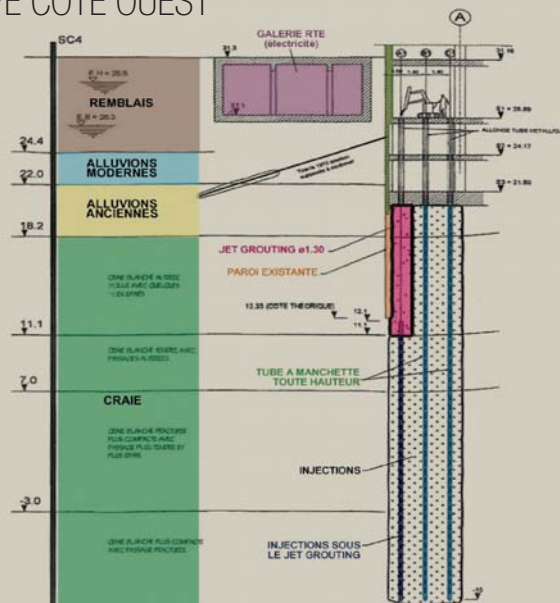


2- Vue en plan du projet Mozart.
3- Principe du rideau étanche en jet grouting et injections.

2- Plan view of the Mozart project.
3- Schematic of the waterproof shield for jet grouting and injection.

COUPE CÔTÉ OUEST

1/100





4

4- Les travaux de l'écran étanche se sont déroulés en même temps que les travaux de déconstruction.



5

5- Excavation de la paroi au coulis.

6- Le soutènement par bracon est utilisé lorsqu'il est impossible de mettre en place des tirants d'ancrage ou des butons.

7- Atelier de jet grouting sous hauteur réduite, dans le sous-sol de l'ancienne structure.

4- The waterproof shield work took place at the same time as the deconstruction work.

5- Excavation of the grout wall.

6- The braced supporting structure is used when it is impossible to install anchor ties or struts.

7- Jet grouting equipment under a low height, in the basement of the old structure.



6



7

sensible interdit l'utilisation de matériel lourd. En conséquence, une solution mixte a été mise en œuvre dans cette zone : un rideau de jet grouting dans les alluvions modernes et anciennes, ainsi que dans la partie sommitale de la craie, et plusieurs lignes d'injections dans le reste de la craie (figure 3). Les travaux dans cette zone ont été menés depuis les sous-sols (photo 4). Tous les travaux (paroi, injections, tirants, pompage) se sont déroulés en même temps que les travaux de déconstruction. L'impératif consistait à terminer l'écran étanche et à mettre en œuvre le pompage avant que les travaux de déconstruction n'atteignent le niveau limite où le poids de la structure ne suffirait plus à contrer la poussée d'Archimède.

Ancrage dans la craie

Trois essais au micromoulinet ont été préalablement réalisés pour identifier la limite supérieure de la craie peu perméable et définir ainsi le niveau d'ancrage du nouvel écran étanche. Ils ont clairement fait apparaître cette limite, mais également ses variations (de - 3,5 NGF à - 8,5 NGF). Les niveaux de fiche hydraulique ont donc été adaptés :

→ Pour le rideau d'injection côté ouest : jusqu'à - 10 NGF ;

→ Pour la paroi au coulis côté rue Barra : jusqu'à - 10 NGF ;

→ Pour la paroi au coulis côté rue Farman : - 8 NGF ;

→ Pour la paroi au coulis côté nord-est : - 10 NGF.

Excavation de la paroi

La paroi de 600 mm d'épaisseur est descendue entre 38 et 41 m.

L'excavation s'est faite à la benne hydraulique KS (photo 5) avec un coulis écologique de type Slagsol permettant d'utiliser des laitiers de fonderie comme liant. Une verticalité de creusement de 0,8 % a été obtenue.

Ancrage de la paroi existante

Afin de pouvoir démolir les planchers des sous-sols, des tirants actifs viennent ancrer la paroi existante sur trois côtés du projet (zone sans avoisinants située sur Issy-les-Moulineaux).

La mise en œuvre des tirants s'est faite depuis les sous-sols existants.

Pour la zone située sur la commune de Paris, qui interdit tout soutènement par tirants, ou près d'avoisnants, des bracons ont été installés (photo 6), de manière suffisamment espacée pour permettre l'évolution des engins de démolition et du matériel de pieux.

Avec ce système, les efforts de poussée sont repris et transmis par un système de liernes métalliques.

Jet grouting et jupe injectée

La solution mixte jet grouting et injections a été appliquée sur une longueur de 120 m, du côté ouest de la fouille, au niveau du poste RTE.

Des capteurs de vibrations ont été placés en périphérie pour surveiller le niveau de vibration près des armoires de relai. Un rideau de 75 colonnes sécantes de jet grouting simple a d'abord été construit. Réalisées à l'aide du système Jet Plus, les colonnes mesurent 1,30 m de diamètre et 17 m de profondeur.

128 forages d'injection de 32 à 40 m de profondeur ont ensuite été réalisés et constituent la voile étanche.

La première ligne d'injection est forée à travers les colonnes de jet grouting.

Une chaîne informatisée (logiciel Spice) a été mise en œuvre pour maîtriser l'ensemble des paramètres forage-injection.

Ces opérations ont été menées sous hauteur réduite et sous charge d'eau, depuis l'ancien sous-sol (photo 7).

Pompage et réinjection

Une fois l'enceinte étanche en place, l'opération de pompage a pu être lancée. L'eau pompée a dû être réinjectée directement dans la nappe à l'extérieur de la fouille, une opération délicate en raison de la nature peu absorbante des terrains (figure 8). Cinq puits de captage dans l'enceinte et huit puits de réinjection à l'extérieur ont été forés. L'opération de réinjection s'est déroulée en phase travaux, pendant 18 mois.

Le débit de pompage et de réinjection était de 160 m³/h.

Fondations sur pieux Starsol

Au cœur de la fouille obtenue après ces travaux et la déconstruction, des travaux neufs de fondations ont été nécessaires pour accueillir la future tour IGH Mozart (26 étages).

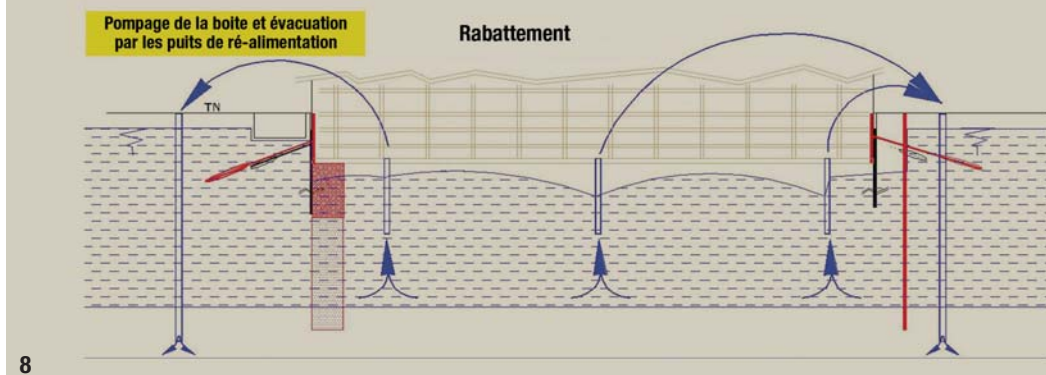
Les fondations sont composées de 285 pieux Starsol. Ces pieux, de 62 à 102 cm de diamètre, sont forés à la tarière continue et viennent s'ancrer dans la craie entre 18 et 30 m de profondeur (photo 1).

Le radier a été entièrement détruit au droit de la tour pour permettre l'exécution des pieux, et un nouveau radier de 2 m d'épaisseur a été mis en place.

Sur le secteur hors tour, les pieux ont été forés à travers l'ancien radier.

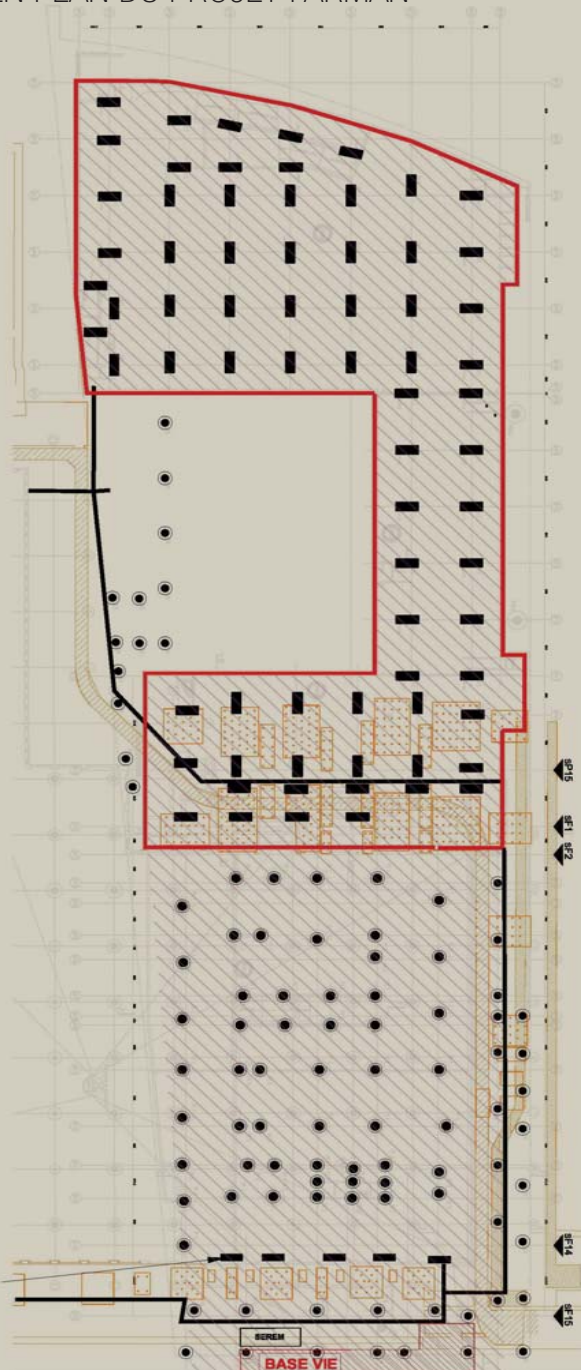
Il a été nécessaire de réaliser des carottages ou de scier puis de démolir l'ancien radier au brise-roche hydraulique pour permettre l'exécution des pieux. Un sur-radier de 60 à 80 cm d'épaisseur, liaisonné à l'ancien radier, coiffe l'ensemble.

PRINCIPE DES OPÉRATIONS DE POMPAGE ET DE RÉINJECTION



8

VUE EN PLAN DU PROJET FARMAN



9

8- Principe des opérations de pompage et de réinjection.

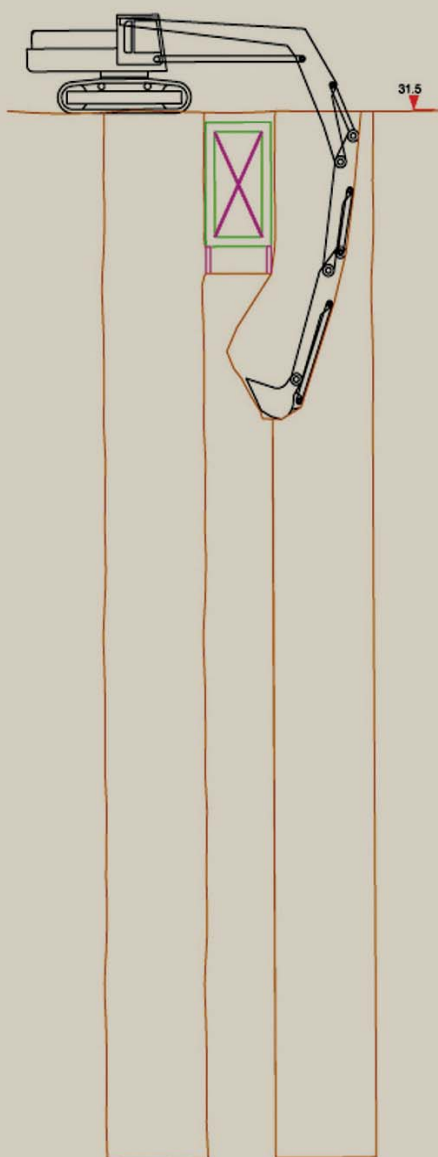
9- Vue en plan du projet Farman. Le projet est à cheval entre le projet Mozart et une partie de la commune d'Issy-les-Moulineaux.

8- Schematic of pumping and reinjection operations.

9- Plan view of the Farman project. The project spans the Mozart project and part of the Issy-les-Moulineaux district.

EXCAVATION MERLON À L'AIDE D'UNE PELLE À BRAS LONG SOUS LA GALERIE RTE

LARGEUR 0.80



**10- Méthode
d'excavation sous
la galerie RTE.**

**11- Excavation
d'une barrette
depuis le niveau 0
de l'ancienne
structure.**

**12- Mise en place
d'un poteau
profondé.**

**10- Method for
excavation under
the electrical
cable tunnel.**

**11- Excavation of
a supporting wall
unit from level 0
of the existing
structure.**

**12- Placing a
drilled-shaft
column.**

IMMEUBLE FARMAN-PARIS : INTÉGRATION DE L'ANCIEN

Deux secteurs distincts

Le nord de la fouille Mozart, situé sur la commune de Paris, accueille le projet immobilier Farman-Paris. Cet immeuble R+6 en forme de lame chevauche deux secteurs (figure 9) :

→ Un secteur situé en dehors de la fouille Mozart, où un ancien bâtiment (immeuble Siti) de 28 m de hauteur est conservé et entièrement intégré à la future structure, et où six niveaux de sous-sol sont prévus ;

→ Un secteur situé sur la fouille Mozart, où une partie du parking de l'ancien site EDF est conservée. Le parking existant comporte deux niveaux de grande hauteur, réaménagés en trois niveaux et raccordés aux six niveaux de sous-sol neufs par des rampes d'accès.

Croisement des parois

Le projet utilise pour partie l'ancien soutènement de la zone Mozart mais nécessite la construction d'une nouvelle fouille en paroi moulée sur la partie qui accueille les six niveaux de sous-sol. Une paroi moulée, longue de 400 m et profonde de 43 m, a été exécutée à l'aide de deux bennes hydrauliques. Son tracé croise l'enceinte étanche et la galerie RTE pour se terminer sur l'ancien soutènement (figure 9).

Des travaux spéciaux ont donc été nécessaires à chaque croisement d'ouvrages.

Au niveau de la paroi au coulis, un sas au coulis a été mis en œuvre pour permettre de couper la paroi sans risque de débouillage. Au niveau de la galerie RTE, la paroi moulée devait passer sous cet ouvrage haut de 3 m : deux panneaux de paroi, situés de chaque côté de la galerie, ont tout d'abord été exécutés, puis la partie sous la galerie a été terrassée à l'aide d'une pelle à long bras (figure 10).

Conservation du bâtiment Siti

Le bâtiment Siti, un immeuble datant de 1938, est intégré à la nouvelle structure en raison de son intérêt architectural. La cage d'escalier extérieure et les fondations sont conservées en l'état. La paroi moulée a donc été mise en œuvre au ras du bâtiment.

Au niveau de l'escalier extérieur, afin de permettre le passage de la paroi entre le bâtiment et la cage d'escalier, il a été nécessaire de terrasser, de démolir partiellement puis de remblayer par grave ciment les fondations existantes qui débordaient.

Au cours des travaux, d'anciens pieux ont été découverts sur le tracé de la paroi. Comme le tracé ne pouvait être dévié pour contourner l'obstacle, un rideau de jet grouting (27 colonnes) et d'injection (41 forages) a été réalisé entre la paroi moulée et les fondations du bâtiment Siti pour assurer la continuité du soutènement et de l'étanchéité.

© EMMANUEL GAFFARD



10



11



12

Soutènement de la paroi

Dans la zone concernée par les trois sous-sols, située sur la partie Mozart, 73 bracons ont été mis en place pour assurer le soutènement de la paroi.

Fondations par pieux et barrettes

Sur la partie du projet située dans la zone Mozart, les fondations du bâtiment sont assurées par 64 pieux Starsol (diamètre de 60 cm à 1 m), réalisés au travers du radier.

Les barrettes classiques, quant à elles, ont été exécutées sur la zone où la structure de l'ancien parking est conservée.

Les planchers de la structure ont été découpés, et l'excavation s'est faite depuis le niveau 0 (photo 11).

À cet endroit, la descente de charges étant élevée, une solution de barrettes a été privilégiée aux dépens d'une augmentation du nombre de pieux.

Une benne hydraulique a été utilisée pour l'excavation, en ayant pris soin d'étayer les planchers inférieurs afin de faire évoluer les engins en sécurité sur le plancher du rez-de-chaussée.

La campagne de pieux comprenait également une série de 17 pieux à réaliser depuis le terrain naturel aux abords immédiats de la galerie RTE.

Réalisation de poteaux profonds

Sur la zone hors Mozart, 69 poteaux profonds ont été réalisés. Les poteaux, de section 1,50 x 0,45 x 21 m, sont ancrés à environ 40 m de profondeur (photo 12). Les tolérances d'exécution pour ces éléments demandaient 0,5 % de verticalité, soit un écart de 9 cm en fond de fouille, à 18 m de profondeur. □

« **LE PROJET UTILISE POUR PARTIE L'ANCIEN SOUTÈNEMENT DE LA ZONE MOZART MAIS NÉCESSITE LA CONSTRUCTION D'UNE NOUVELLE FOUILLE SUR LA PARTIE QUI ACCUEILLE LES SIX NIVEAUX DE SOUS-SOL** »

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MOZART

MAÎTRE D'OUVRAGE : Bouygues Immobilier

MAÎTRE D'OEUVRE : architecte Arquitectonica - Arup Sustainable Design

ENTREPRISE : Lot 00 (rabattement de nappe), Solétanche Bachy

FARMAN - PARIS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Bouygues Immobilier

MAÎTRE D'OEUVRE : architecte Willmotte & Associés

ENTREPRISE : lot 01 (parois moulée) et lot 02A (poteaux profonds), Solétanche Bachy

PRINCIPALES QUANTITÉS

MOZART

PAROI AU COULIS : 13 000 m³ (profondeur : 38 à 40 m)

JET GROUTING : 75 colonnes (17 m de profondeur)

INJECTION : 128 forages, soit 1 900 m³ de coulis injecté

PIEUX STARSOL : 285 unités

BRACONS : 84 u (82 t)

TIRANTS : 70 unités

FARMAN - PARIS

PAROI MOULÉE : 14 500 m³

POTEAUX PROFONDS : 69 unités (1,50 x 0,45 m)

JET GROUTING : 27 colonnes (17 m de long)

INJECTION : 41 forages soit 850 m³ de coulis injecté

BARRETTES : 7 unités (340 m² excavés)

PIEUX STARSOL : 81 unités

BRACONS : 73 u (77 t)

ABSTRACT

FOUNDATIONS OF THE MOZART AND FARMAN-PARIS PROJECTS: HARMONISING THE NEW AND THE OLD

ROBERT PORET, SOLÉTANCHE BACHY

On the boundary between Paris and Issy-les-Moulineaux, the Mozart real estate project, managed by Bouygues Immobilier, is currently taking shape. Major special works were needed for the deconstruction of an old high-rise building, re-use of the existing foundations and the new foundation works. Solétanche Bachy brought its geotechnical expertise to the project and enabled the new and the old to coexist in complete harmony. □

CIMENTACIONES DE LOS PROYECTOS MOZART Y FARMAN-PARIS: ARMONIZAR LO NUEVO Y LO ANTIGUO

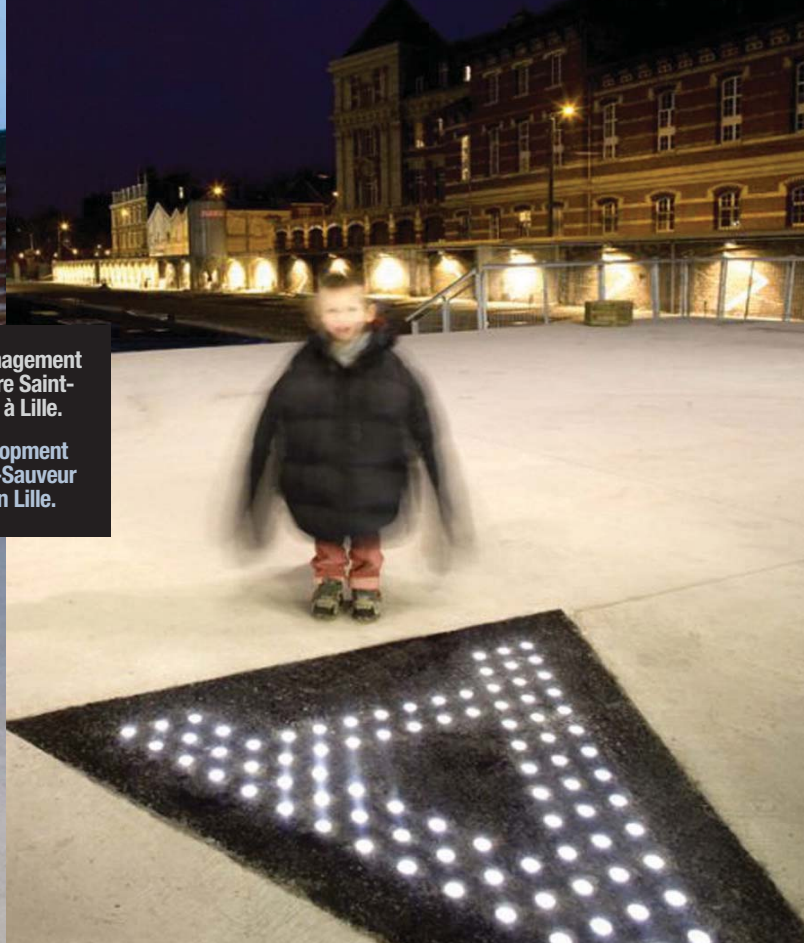
ROBERT PORET, SOLÉTANCHE BACHY

En la parte limítrofe de París y de Issy-les-Moulineaux, el proyecto inmobiliario Mozart, pilotado por Bouygues Immobilier, ya se encuentra en su fase operativa. Fueron necesarios importantes trabajos especiales para permitir la desconstrucción de una antigua torre, la reutilización de las cimentaciones existentes y los trabajos de nuevos cimientos. Solétanche Bachy ha puesto su pericia geotécnica al servicio de este proyecto y ha permitido la cohabitación de lo antiguo y lo nuevo con toda armonía. □



1- Aménagement de la gare Saint-Sauveur à Lille.

1- Development of Saint-Sauveur station in Lille.



ÉCLAIRER, SÉCURISER, VALORISER : LES MATÉRIAUX COMPOSITES LUCIOLE®

AUTEURS : FRÉDÉRIC LOUP, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS, DIVISION RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT - GILLES SEVIN, DIRECTEUR DE FORCLUM ÉLECTRONIQUE

DÉVELOPPÉS PAR UNE ÉQUIPE LARGEMENT PLURIDISCIPLINAIRE, LES MATÉRIAUX COMPOSITES LUMINEUX LUCIOLE CONVIENNENT IDÉALEMENT À L'AMÉNAGEMENT ET À LA VALORISATION D'UN SITE PAR LA LUMIÈRE, LEUR MISE EN ŒUVRE SIMPLE ET LEUR FAIBLE ÉPAISSEUR FAVORISENT LEUR INTÉGRATION AU SEIN D'UN SITE.

TENIR COMPTE DE LA LUMIÈRE EN AMONT

Les collectivités locales, maîtres d'ouvrages, concepteurs et utilisateurs sont de plus en plus sensibles aux ambiances lumineuses créées pour identifier, sécuriser, valoriser ou décorer les espaces publics ou privés.

Mais, paradoxalement, leur réflexion autour de la fonction lumière intervient souvent au terme de la phase de construction, ce qui occasionne, dans certains cas, une intégration peu satisfaisante de la composante lumineuse. Les matériaux composites lumineux Luciole® permettent de conduire une réflexion globale, car ils associent un ou plusieurs matériaux de construction

à une multitude de sources lumineuses. L'aspect de surface, la nature du matériau ainsi que le nombre et la couleur des sources lumineuses sont laissés à l'appréciation du donneur d'ordre.

Les solutions relatives à la construction et à l'aménagement (éclairage, signalétique) ne sont plus considérées séparément mais conjointement. Le maître d'œuvre ou d'ouvrage organise alors sa réflexion autour d'un matériau de construction lumineux.

Les matériaux composites lumineux développés par le groupe Eiffage consistent à couler un matériau de construction (asphaltes coulés à chaud ou à basse température, bétons auto-plaçants, enrobés et résines épaisses)

autour de modules lumineux constitués de diodes électroluminescentes, de cartes électroniques et d'une connectique appropriée, le tout étant protégé par des enveloppes en matière plastique surmontées d'un bouchon diffuseur de lumière. Le développement de tels produits est le fruit des travaux d'une équipe pluridisciplinaire et transversale regroupée autour des métiers de la construction routière, du bâtiment, du génie civil, de l'électronique, de l'électricité, de l'optique, de la plasturgie, des matériaux et des méthodes industrielles. L'accompagnement par un organisme de conseil en éclairage architectural a permis d'aboutir aux matériaux Luciole® dans leur forme actuelle.

DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES

Afin d'intégrer la fonction lumière dès la construction, il est nécessaire d'élaborer des matériaux composites lumineux modulaires, de faible épaisseur (environ 30 mm), disposés suivant un calepinage précis et associés à différents matériaux de construction coulés en place.

Les sources lumineuses privilégient la technologie des diodes électroluminescentes (Leds) en raison de leur faible consommation d'énergie, de leur durée de vie supérieure à 50 000 heures, de leur faible encombrement et de leur coût peu élevé. Les Leds sont constituées de semi-conducteurs qui, sous l'excitation d'un courant électrique, émettent des ▷

photons, donc de la lumière (figure 2). La protection des sources lumineuses est assurée par une enveloppe constituée d'un socle en matière plastique fibrée surmonté d'un bouchon diffuseur de lumière (figure 3).

Le bouchon diffuseur et le socle constituent une protection thermique des diodes et de la carte électronique lors du coulage à chaud de l'asphalte.

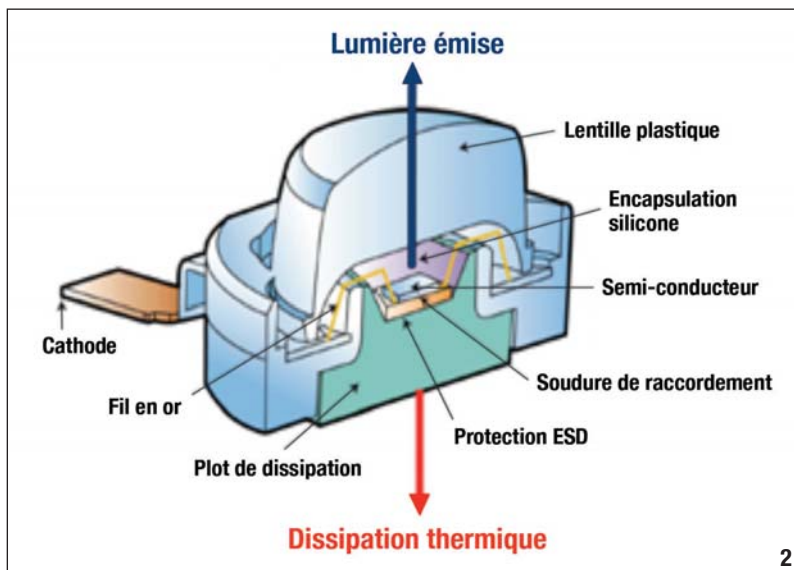
Ils assurent également la pérennité des modules lumineux face aux agressions mécaniques, chimiques et environnementales après la mise en service.

UNE MISE EN ŒUVRE SOUPLE ET RAPIDE

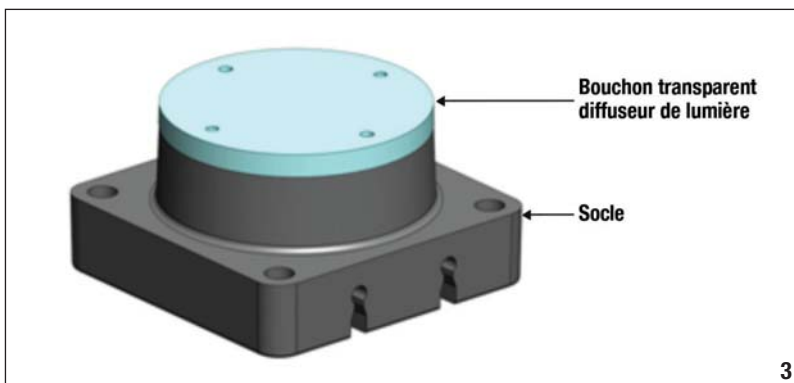
La mise en œuvre consiste à couler, à chaud ou à température ambiante, un matériau de construction (asphaltes coulés, BSI - béton fibré ultra performant -, bétons autoplaçants, enrobés, résines) autour de modules lumineux préalablement disposés et connectés suivant un calepinage précis.

Cette technique permet de réaliser rapidement de grandes surfaces ou, au contraire, des éléments isolés.

Les matériaux de construction utilisés doivent être étanches, coulables, autoplaçants, et d'épaisseur de mise en œuvre voisine de 30 mm. Au regard du cahier des charges, l'asphalte coulé



2- Composition et fonctionnement d'une diode électroluminescente, ou Led.
3- Enveloppe de protection des sources lumineuses.



2- Composition and functioning of a light-emitting diode (LED).
3- Protective shell for light sources.

LUCIOLE®

ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DES PRODUITS

- 1- Établissement du cahier des charges et étude concurrentielle du produit.
- 2- Choix des matériaux de coulage, sources lumineuses, composants électroniques et connexes.
- 3- Réalisation de prototypes lumineux.
- 4- Tests de validation.
- 5- Réalisation de pré-séries industrielles et applications pilotes.
- 6- Production industrielle des modules lumineux.
- 7- Réalisation de chantiers à partir d'asphaltes coulés à chaud ou à basse température.

PRINCIPALES APPLICATIONS DES MATÉRIEAUX COMPOSITES

- Signalisation et signalétique : création, réfection et mise en valeur de voiries, de sites publics ou privés (pistes cyclables, voies piétonnes, aires sportives, aires de stationnement).
- Ornements, parements, mise en valeur architecturale, logos commerciaux.
- Paysagisme public ou privé.
- Route intelligente.

QUELQUES AVANTAGES DES MATÉRIEAUX COMPOSITES LUMINEUX

- Faible épaisseur du produit fini : 30 mm en moyenne.
- Facilité de mise en œuvre par coulage d'un matériau de construction autour de modules lumineux.
- Longévité, étanchéité et qualités d'intégration optimales.
- Modularité : possibilité de faire varier, dans de larges proportions, le nombre de sources lumineuses (une à plusieurs centaines), ainsi que leur couleur et leur intensité.
- Possibilité d'associer les sources lumineuses à différents matériaux de coulage, dont l'asphalte.
- Faible consommation d'énergie : une source lumineuse consomme ~ 1 W (5 V / 220 mA).
- Évolutivité des produits : technologie permettant d'envisager, d'une part, une alimentation par panneaux photovoltaïques ou éoliennes, et, d'autre part, une interactivité entre l'utilisateur et le produit.

ACTEURS CONCERNÉS

- Architectes, paysagistes, bureaux d'études VRD, éclairagistes, concepteurs lumière, clients privés et particuliers, artistes, publicitaires.
- Maîtres d'ouvrages et prescripteurs.
- Services techniques d'urbanisme et de voirie, services culturels.
- Concessionnaires autoroutiers.

à chaud (température > 200°C) ou à basse température (< 200°C) ainsi que les bétons autoplaçants semblent les plus adaptés (photos 4, 5, 6 et 7).

QUELQUES CHANTIERS

Le développement, toujours d'actualité, des matériaux composites lumineux Luciole® nous a conduit à la réalisation de chantiers pilotes afin de valider nos choix technologiques. Citons par exemple la réalisation du logo lumineux

du groupe Eiffage à l'entrée du Centre d'études et de recherche Eiffage travaux publics de Corbas France (photos 8 et 9), ainsi que l'aménagement, dans le cadre du projet culturel Europe XXL, de la gare Saint-Sauveur, à Lille (photo 1).

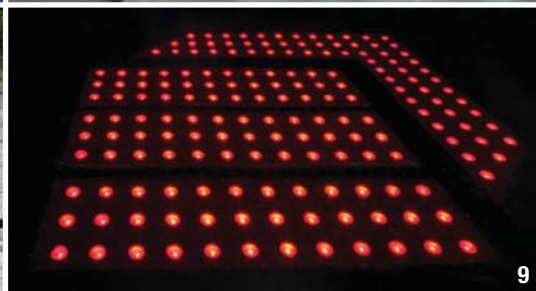
PERSPECTIVES

Les évolutions techniques prometteuses dans les domaines de l'électronique (diminution sensible de la taille des

composants, performances croissantes en termes de puissance, de longévité et de consommation d'énergie), des énergies renouvelables (photovoltaïque, éolien), des matériaux et des biomatériaux (liants végétaux, asphaltes basse température) nous amènent d'ores et déjà à imaginer de multiples applications au faible impact environnemental. Ces avancées permettront d'envisager rapidement des applications sur des linéaires et des surfaces beaucoup plus

importantes, à des coûts énergétiques moindres. La modularité et l'intégration seront alors maximales, et le passage d'informations simplifié.

Par ailleurs, les développements engagés par Eiffage dans le domaine de l'éclairage intérieur et de la signalétique, sur la base des composites lumineux Luciole, sont amenés à prendre une place importante dans la réflexion autour des constructions à haute qualité environnementale (HQE). □



4 et 5- Coulage d'asphalte à chaud (220 °C) autour de modules lumineux.

6 et 7- Coulage de béton fibré ultra performant (BFUP) pour la réalisation de dalles lumineuses.

8 et 9- Logo lumineux Eiffage à l'entrée du Centre d'études et de recherche Eiffage travaux publics de Corbas France, à base d'asphaltes rouge et noir coulés à chaud (220 °C).

4 et 5- Pouring hot asphalt (220°C) around lighting modules.

6 et 7- Pouring ultra-high-performance fibre-reinforced concrete (UHPC) for the execution of luminous slabs.

8 et 9- Luminous Eiffage logo at the entrance to the Eiffage Travaux Publics Engineering and Research Centre in Corbas, France, with a base of hot-cast (220°C) red and black asphalts.

ABSTRACT

LIGHTING, SECURITY, ATTRACTIVENESS: LUCIOLE® COMPOSITE MATERIALS

FRÉDÉRIC LOUP, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS - GILLES SEVIN, FORCLUM ÉLECTRONIQUE

Developed by a highly multi-disciplinary team, *Luciole* luminous composite materials are ideally suitable for the development and enhancement of a site through light (security, decoration, information, etc.), which is allowed for as of the construction stage. The thinness of these products also simplifies their installation, and facilitates perfect integration of lighting fixtures into the site. □

ALUMBRAR, PROTEGER, VALORIZAR: LOS MATERIALES COMPUESTOS LUCIOLE®

FRÉDÉRIC LOUP, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS - GILLES SEVIN, FORCLUM ÉLECTRONIQUE

Desarrollados por un equipo ampliamente pluridisciplinario, los materiales compuestos luminosos *Luciole* convienen idealmente para la ordenación y la valorización de un sitio mediante la luz (protección, decoración, información, etc.), que se integra desde la etapa de construcción. Además, el reducido espesor de estos productos permite simplificar la implementación, y propicia una perfecta integración de los aparatos de alumbrado eléctrico en el sitio. □

PIRANDELLO® , UN MODÈLE POUR LANCER DES PROJETS RENTABLES

AUTEURS : VINCENT PIRON, DIRECTEUR DE LA STRATÉGIE ET DES INVESTISSEMENTS, VINCI CONCESSIONS - JEAN DELONS, DIRECTEUR DE LA CELLULE ÉCONOMIE ET TRAFIC, COFIRROUTE

PRENANT EN COMPTE LES TROIS PILIERS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE – ÉCONOMIQUE, SOCIAL, ENVIRONNEMENTAL –, PIRANDELLO® MODÉLISE LE COMPORTEMENT DES ENTREPRISES ET DES MÉNAGES POUR DÉGAGER LES PROJETS D'URBANISME ET DE TRANSPORTS LES PLUS RENTABLES. DÉJÀ APPLIQUÉ À L'AGGLOMÉRATION FRANCILIENNE, IL REPRÉSENTE UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION PUBLIQUE INNOVANT.

LA FIN DES ANCIENS MODÈLES

Après la fin de la dernière guerre, la France a connu un développement rapide dans tous les domaines, notamment la construction de logements, de bureaux et de transports routiers et ferroviaires. Cette période de forte croissance démographique et économique, connue sous le nom des Trente Glorieuses, s'est achevée autour de 1973. L'industrialisation, la production d'acier et de logements étaient à leur plus haut. Le développement de la France s'est ensuite poursuivi, mais à un rythme de plus en plus lent. Depuis 1995, la croissance est essentiellement basée sur celle de la dette publique, des ménages et des entreprises. Pour pallier les risques financiers liés à la crise récente, les pouvoirs publics ont encore augmenté leur dette.

Lancée en 1982, la décentralisation a eu pour conséquence de réduire progressivement le rôle de l'État, donc de ses services techniques et de leur capacité à aider à l'élaboration de projets. C'est pourquoi il est indispensable que les entreprises s'impliquent de plus en plus dans la définition des projets, ainsi que le fait Vinci. L'apparition du contrat de partenariat en est un exemple, tout comme les techniques de prise en compte des nouvelles contraintes de durabilité. L'amélioration des modèles de transport et d'urbanisme dans le secteur privé procède de la même logique.

PRENDRE EN COMPTE LE LONG TERME

Que ce soit pour les projets nouveaux ou pour la transformation des villes

actuelles, le développement durable se décline sous ses trois aspects : économique, social et environnemental. L'analyse des projets se doit de refléter les trois domaines.

Or, en général, les investissements sont portés par le ministère sectoriel concerné (transports, logement, environnement, affaires sociales...), d'où une analyse partielle et déformée des conséquences de tel ou tel investissement public.

Le modèle Pirandello® a été précisément conçu pour regrouper les trois aspects du développement durable.

La prise en compte de plus en plus importante du temps long dans la décision publique a été prouvée par la baisse importante du taux d'actualisation de l'État, passé de 8 % à 4 % en janvier 2005 (groupe de travail D. Lebeque au commissariat général au plan). Pour calculer leur rentabilité, l'évaluation de l'utilité des investissements doit donc être faite avec plus de précision et sur un temps plus long.

En observant l'histoire des projets

« **LE MODÈLE PIRANDELLO® REPRÉSENTE UNE ÉTAPE SUPPLÉMENTAIRE DANS LA RECHERCHE DE LA QUALITÉ EN MATIÈRE DE PRÉVISION À LONG TERME** »

urbains, nous nous sommes rendu compte que les outils de prévision ne couvraient pas une période suffisamment longue. C'est pourquoi nous avons développé le modèle Pirandello®, qui représente une étape supplémentaire dans la recherche de la qualité en matière de prévision à long terme.

MIEUX PRÉVOIR LES IMPACTS URBAINS DES PROJETS DE TRANSPORTS

De 1990 à 1995, de nombreux projets de voirie à péage ont été étudiés avec les décideurs de trois grandes villes : l'agglomération francilienne, l'agglomération lyonnaise et Marseille.

Certains projets ont vu le jour, à Marseille d'abord (le tunnel Prado-Carnage), puis à Lyon (le contournement nord de la ville). En Ile-de-France, dans un environnement politique et administratif beaucoup plus complexe, seuls deux projets ont été décidés et réalisés : l'A14 et l'A86 ouest (le Duplex), ouvrages inscrits dans les plans d'urbanisme depuis des décennies.

Cette situation nous a fait réfléchir sur le rôle du transport en Ile-de-France en relation avec la structure urbaine.

Le nombre de projets qui échouaient ou qui nécessitait un ajustement de la politique tarifaire initialement prévue nous a conduits à examiner systématiquement l'impact d'une infrastructure de transport sur la structure des déplacements et la façon de vivre dans la ville. Pour étudier la réalité des ouvrages routiers à péage en service sous leurs différents aspects, il a fallu d'une part améliorer la méthodologie de modélisation du trafic en zone urbaine ▷

LE MODÈLE PIRANDELLO® PRÉSENTE DEUX CARACTÉRISTIQUES IMPORTANTES :

Il est possible de l'utiliser sans recourir à des enquêtes complexes (sinon irréalisables) telles que le suivi longitudinal des localisations des ménages, et il est compréhensible par les décideurs publics. Pirandello® se démarque ainsi de nombreux cas où les modélisations théoriques nécessitent des données et des hypothèses très nombreuses, ce qui ne permet pas d'approche globale à l'échelle d'une agglomération de grande taille.

(Ile-de-France), et d'autre part se pencher sur la clientèle habituelle de ce type d'ouvrage. La modélisation du transport seul a ainsi évolué vers un modèle de prévision de la modification de la ville induite par ces ouvrages.

ÉQUILIBRE ENTRE FORCE CENTRIPÈTE ET FORCE CENTRIFUGE

Le modèle Pirandello® trouve son origine dans la théorie de l'accessibilité¹.

En résumé, celle-ci suppose qu'une agglomération crée d'autant plus de richesses que les interactions entre les différents partenaires habitant la ville y sont nombreuses et peu coûteuses en temps et en argent.

L'accessibilité se calcule et peut s'exprimer en euros. C'est la grandeur que les personnes maximisent lorsqu'elles désirent aller « en ville », où tendent à se concentrer tant les populations que les emplois.

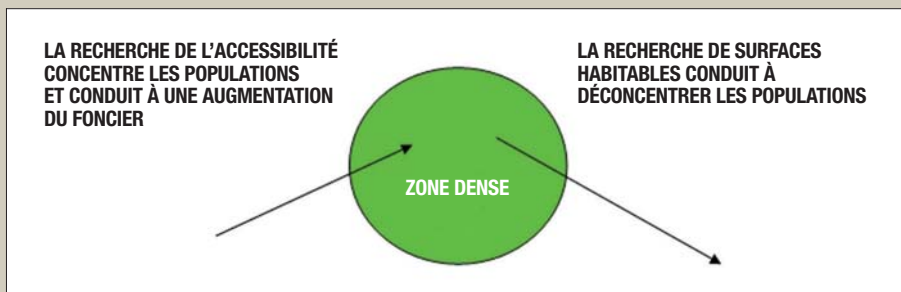
Cependant, les ménages ont besoin de surface pour vivre. Leur confort domestique sera d'autant plus grand qu'ils disposeront de surfaces importantes pour habiter et pour les différentes activités de la vie courante telles que l'école, les espaces ludiques et culturels, les espaces réservés aux activités sociales communes... Il en va de même pour les entreprises.

Si l'accessibilité aux emplois et aux marchés est fondamentale, la localisation d'une entreprise sera décidée en fonction de plusieurs autres paramètres, dont le coût des surfaces louées ou achetées.

Là encore, nous avons représenté le processus de décision des entreprises par une équation d'équilibre très simple. Bien entendu, les aspects fiscaux jouent un rôle important dans les décisions d'implantation, tant pour les entreprises que pour les ménages, et sont introduits comme éléments complémentaires des équations.

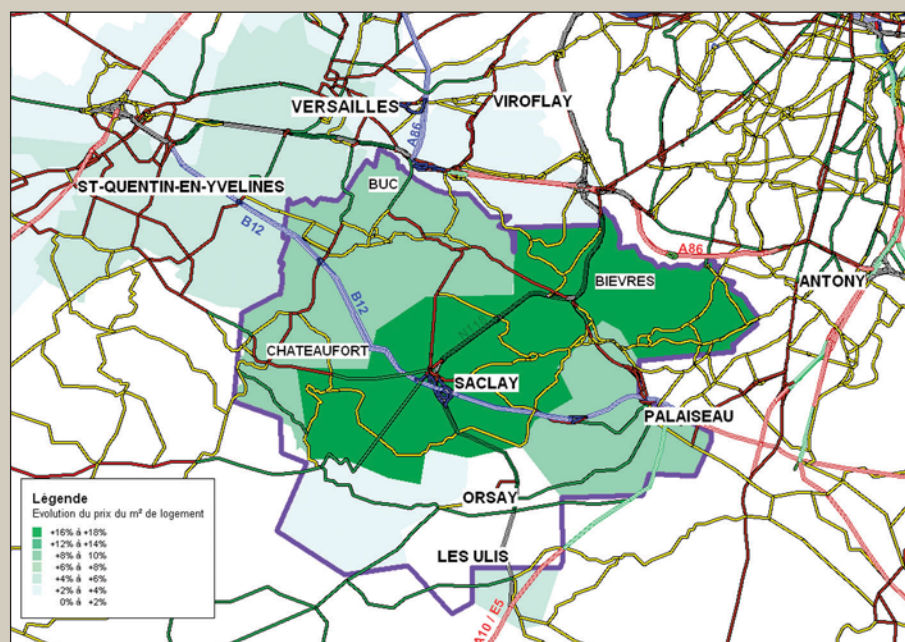
Par ailleurs, tout le monde sait que les ménages et les entreprises qui veulent s'offrir la surface qu'elles désirent tout en respectant leur contrainte budgétaire vont s'éloigner du centre, jusqu'à trouver leur point d'équilibre entre le désir de centralité et le désir de surface.

Le principe du modèle Pirandello® est le suivant : nous avons supposé que l'agglomération était à l'équilibre, c'est-à-dire que les forces centripètes tendant à concentrer les ménages et les entreprises en ville sont équilibrées par les forces centrifuges (principalement sociales et économiques) tendant à les chasser du centre.



2

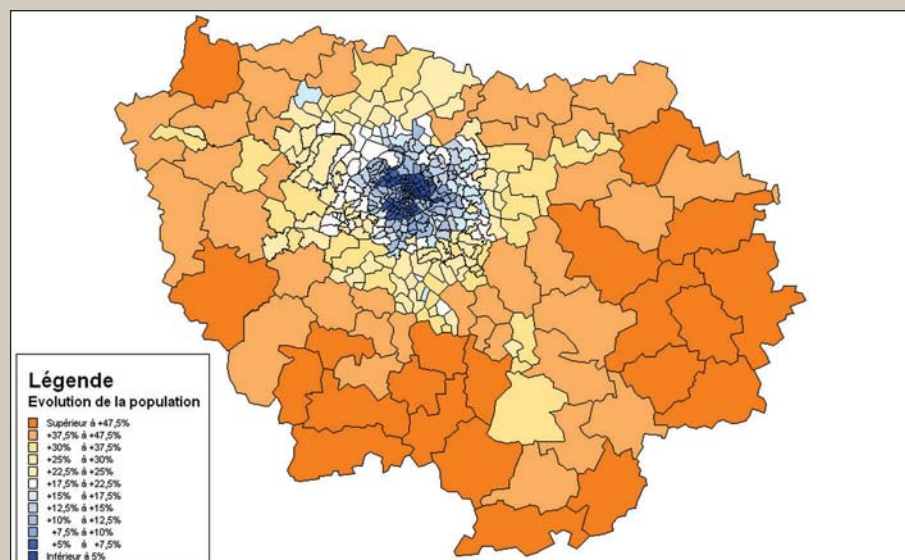
DÉVELOPPEMENT DU PLATEAU DE SACLAY



3

POPULATION (+ 20 %) ET EMPLOI (+ 20%)

ÉVOLUTION DE LA RÉPARTITION DE LA POPULATION



4

SIMULER LE COMPORTEMENT DES MÉNAGES ET DES ENTREPRISES

Bien entendu, tous les ménages n'ont pas les mêmes contraintes budgétaires. Nous avons donc divisé la population en huit niveaux de revenus, correspondant à une approximation de la dimension sociologique du problème. De même, dans une première phase, nous avons réparti les emplois en deux familles de volume identique selon le niveau de revenu.

Pour trouver cet équilibre, Pirandello® simule le comportement des ménages et des entreprises avec une hypothèse centrale : ils cherchent, par leurs choix d'implantation géographique, à maximiser leurs bénéfices (richesse financière pour les entreprises, bien-être pour les ménages) sous contrainte budgétaire. Il faut donc prendre en compte trois

mécanismes importants dans les représentations des comportements des usagers-riverains :

→ La sélection des destinations des trajets, en fonction des temps et des coûts de transport : une augmentation des temps réduit la portée des déplacements mais pas leur nombre ; c'est la déclinaison de la théorie de l'accessibilité qui permet de prendre en compte la constance de la mobilité ;

→ Le choix de la localisation des ménages, en fonction du prix du mètre carré, de l'accessibilité et de leur revenu, les ménages cherchant un lieu de résidence qui maximise leur satisfaction en tenant compte de l'accessibilité, de la surface du logement et de son prix ;

→ La formation des prix de l'immobilier et des constructions neuves, les prix et les constructions étant liés au niveau de la demande.

De cette manière, on obtient une représentation de l'équilibre urbain, qui prend en compte l'ensemble des comportements classiques des ménages (sauf le choix de l'heure de départ), des entreprises et des propriétaires immobiliers, et qui permet de réaliser une représentation des déplacements de l'équilibre urbain. Nous sommes actuellement en train de poursuivre le développement de ce modèle dans le but de simuler la rapidité avec laquelle cet équilibre s'établit à partir d'une perturbation, par exemple l'ouverture d'un axe de transport supplémentaire ou la suppression d'une capacité de transport, comme on l'a vu à Paris intra-muros ces dernières années. La mise en place d'un péage urbain engendre également un impact mesurable sur la répartition des habitants de l'agglomération.

APPLICATION DU MODÈLE À L'ILE-DE-FRANCE

L'agglomération parisienne (environ 9 millions d'habitants) fournit le point d'application privilégié du modèle urbain, initialement mis au point à partir du modèle de transports fait pour l'A86 ouest (le Duplex). Nous avons ainsi simulé quelques possibilités de l'avenir francilien, telles qu'un développement volontariste du plateau de Saclay (projet datant de presque vingt ans et porté à nouveau dans le cadre du Grand Paris – figure 2), ou au contraire une absence de décision publique conduisant à un rythme d'investissement trop lent, comme celui qu'on observe depuis quinze ans (figure 3).

Nous avons supposé que le réseau routier était celui d'aujourd'hui avec l'A86 ouest terminée, le réseau de transport en commun augmenté des investissements prévus au contrat de plan, une croissance de 20 % de la population ainsi qu'une croissance de 20 % des emplois, avec une loi de répartition des nouvelles surfaces de logement obtenue dans la continuité de la tendance des années 1990 à 1999 (30 000 logements de plus par an).

On observe alors une perte de richesse : le PIB croît moins vite que la population (- 1,3 %), l'accessibilité et le confort domestique décroissent également.

Le trafic croît plus vite que la population. Après ce que nous avons établi pour l'agglomération francilienne, et grâce à l'excellente coopération avec les organismes publics sur ces sujets, nous travaillons à une approche similaire pour l'agglomération lyonnaise et pour celle de Montpellier. La difficulté est d'ordre statistique : les découpa-

ges administratifs sont trop petits par rapport aux bassins de vie réels des habitants. Par exemple, il faut faire des enquêtes complémentaires pour traiter comme un seul bassin de vie le Grand Lyon (Rhône), Saint-Etienne (Loire) et l'Isle-d'Abeau (Isère).

AIDE À LA DÉCISION

Plutôt qu'un modèle complexe et réservé à des experts, Pirandello® est utilisable et compréhensible par tous.

Sa nouveauté consiste à relier logements, transports, emplois et développement économique, fournissant une estimation chiffrée de l'impact sur toutes ces grandeurs de telle ou telle décision publique réglementaire ou d'investissements nouveaux.

Nous espérons qu'il aidera à améliorer la qualité de la décision publique sur ces sujets essentiels dans la période de restriction budgétaire qui s'annonce pour les prochaines années, et donc à lancer les opérations les plus rentables. Pour évaluer la rentabilité des investissements, la prévision des flux de transports dans un futur proche ne suffit pas. Il faut également prendre en compte ceux qui découlent de l'évolution de la forme de la ville autour des axes structurants. L'absence de prise en compte de cet effet explique la saturation des transports en commun observée aujourd'hui en zone dense. En effet, la rentabilité des transports en commun vient sur un temps plus long que celle des transports routiers, ce que Pirandello® permettra de mettre en évidence de façon chiffrée. □

1- Développée par J. G. Koenig et J. Poulit, et simultanément par McFadden aux États Unis.

ÉVOLUTION DU PRIX

POUR LES ZONES DU PLATEAU DE SACLAY SI LA RÉALITÉ CORRESPONDAIT AUX HYPOTHÈSES PRISES EN COMPTE DANS LA SIMULATION

Communes	Évolution du prix du m ² de logement
Gif-sur-Yvette	+ 2,3 %
Orsay	+ 2,6 %
Palaiseau	+ 13,5 %
Saclay, Saint Aubin, Vauhallan, Villers-le-Bâcle	+ 17,6 %
Toussus-le-Noble, Châteaufort, Les-Loges-en-Josas, Buc	+ 6,2 %

ABSTRACT

PIRANDELLO®, A MODEL FOR LAUNCHING ECONOMICALLY VIABLE PROJECTS

VINCENT PIRON, VINCI CONCESSIONS - JEAN DELONS, COFIROUTE

Taking into account the three pillars of sustainable development (economic, social and environmental), Pirandello® models the behaviour of companies and households to define the most economically viable transport projects. Already applied to the Ile-de-France urban area, it represents an innovative tool to aid public decision-making. □

PIRANDELLO®, UN MODELO PARA INICIAR PROYECTOS RENTABLES

VINCENT PIRON, VINCI CONCESSIONS - JEAN DELONS, COFIROUTE

Teniendo en cuenta los tres pilares del desarrollo sostenible –económico, social, medioambiental–, Pirandello® permite establecer el modelo del comportamiento de las empresas y de los hogares para conseguir los proyectos de transportes más rentables. Este modelo que ya se aplica para la aglomeración de Ile-de-France, representa una herramienta innovadora de ayuda para la decisión pública. □

COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES TOURS DE GRANDE HAUTEUR

AUTEURS : JEAN MARC JAEGER, CHRISTIAN RICHÉ, JOSEPH ABOUEZZI, PATRICK MUGNIER, JULIEN TANANT, YANN KRYSINSKI,
DIRECTION DES STRUCTURES COMPLEXES SETEC TPI

L'IMMEUBLE DE TRÈS GRANDE HAUTEUR (ITGH), ÉLÉMENT PROPICE À LA DENSIFICATION URBAINE, EST DEVENUE QUASI INCONTOURNABLE DANS LE PAYSAGE D'UNE MÉTROPOLE MODERNE. DE NOMBREUX BÂTIMENTS RÉCENTS PRÉSENTENT UNE FAÇADE STRUCTURELLE EN DIAGRID QUI, SI ELLE EST EFFICACEMENT CONNECTÉE AUX PORTEURS DU NOYAU DE LA TOUR, CONFÈRE AU BÂTIMENT UN INCRÉMENT DE RAIDEUR IMPORTANT. NOTRE ÉTUDE PROPOSE UN OUTIL SIMPLE PERMETTANT D'ESTIMER ANALYTIQUEMENT LE COMPORTEMENT DYNAMIQUE D'UNE TOUR DE GRANDE HAUTEUR, PLUS PRÉCISÉMENT DE PRÉVOIR L'EFFET RAIDISSANT D'UNE CONNEXION HORIZONTALE OPTIMISÉE ENTRE LES STRUCTURES PORTEUSES INTERNE ET EXTERNE DU BÂTIMENT. LA MÉTHODE EST ILLUSTRÉE PAR PLUSIEURS EXEMPLES DE PROJETS DE TOURS CONÇUES PAR SETEC TPI.

OPTIMISER LA QUANTITÉ DE MATIÈRE

Notre objectif consiste à optimiser la quantité de matière utilisée pour la construction dans le cadre d'une démarche HQE.

Il s'agit également de pouvoir déceler en avant-projet d'éventuels problèmes dynamiques, et de se donner un outil de contrôle des résultats du futur modèle de calcul par éléments finis.

Sont présentés des résultats analytiques et la comparaison avec les valeurs du calcul par éléments finis, illustrant la thématique de l'optimisation de la répartition de la matière.

En complément, une approche par ratios de prédimensionnement permet d'affiner l'analyse initiale de faisabilité et de coût d'un projet.

Elle se base sur la vaste expérience de Setec TPI dans le domaine de la tour de grande hauteur.

Il sera fait référence aux projets suivants, où Setec TPI est bureau d'études structure : la tour Majunga (maître d'ouvrage MOA : Unibail-Rodamco, agence d'architecture JP Viguier), la tour Phare (MOA Unibail-Rodamco, agence Morphosis), la tour Triangle (MOA Unibail-Rodamco, agence Herzog et de Meuron) et la tour Rotana (MOA Emirates Tourism Investment Company, agence Architecture Studio).

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONCEPTION D'UN ITGH

DESCENTE DE CHARGE ET CONTREVENTEMENT

La fonction première de la structure d'une tour est de descendre jusqu'au sol la charge des éléments horizontaux (planchers et poutres) et des éléments verticaux (voiles et poteaux). La structure verticale est constituée d'un noyau situé au centre de la tour et de poteaux intérieurs et de façade. L'importance relative de chacun de ces éléments dépend du choix de fonctionnement structurel adopté. Prenons l'exemple de la tour Majunga. Cet ITGH de 171 m de hauteur pour 69 500 m² Shon possède 42 étages de superstructure et 8 étages d'infrastructure. La tour est signée J.P. Viguier. Setec TPI en assure la maîtrise d'œuvre structure pour le compte d'Unibail-Rodamco (photo 2). Le noyau central possède les dimensions suivantes : 13,5 x 33 m soit 445,5 m², pour une superficie de plancher de 1 600 m².

Les voiles transversaux ont une épaisseur de 40 cm dans la zone basse de la tour, les voiles longitudinaux de 80 cm. Cette dernière valeur est réduite à 60 cm dans la zone intermédiaire et à 45 cm en zone haute. Les poteaux de façade ont un diamètre de 1 m en partie basse, 80 cm en partie intermédiaire et 60 cm en partie haute (figure 3).

« DÉCELER EN
AVANT-PROJET
D'ÉVENTUELS
PROBLÈMES
DYNAMIQUES
ET CONTRÔLER
LES RÉSULTATS
DU FUTUR
MODÈLE DE
CALCULS PAR
ÉLÉMENTS FINIS »

La répartition de la descente de charge entre le noyau et les poteaux dépend de la géométrie retenue et des raideurs relatives de chacun des éléments. Par exemple, dans le cas de la tour Majunga, 55 % des charges verticales descendent par le noyau, 45 % par les poteaux. Le contreventement d'une tour est l'ensemble des dispositifs destinés à résister aux efforts horizontaux, essentiellement le vent et le séisme. Pour certaines tours aux États-Unis, où la descente de charge et le contreventement sont réalisés par des éléments dissociés, on peut représenter les quantités d'acier spécifiques à chaque fonction (figure 4).

On constate par exemple qu'à partir d'un nombre d'étages supérieur à 40, la quantité d'acier nécessaire au contreventement dépasse celle nécessaire à la descente de charge, ce qui montre toute l'importance du bon calcul des dispositifs de contreventement d'une tour de grande hauteur (photo 5).

La proportion des efforts horizontaux repris par le noyau et les poteaux de façade varie suivant le système de contreventement retenu. Elle est par exemple de 50/50 entre le noyau et la façade de la tour Phare. La tendance actuelle s'oriente en effet vers une plus grande participation des façades structurelles, ce qui autorise un noyau plus élancé et un gain de surface utile. ▷

© JP VIGUIER



Tour Majunga

CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT

Plusieurs critères interviennent dans le dimensionnement d'un ITGH. Ils sont détaillés dans les normes de construction. On retiendra en guise d'introduction ce qui n'est pas véritablement une norme mais plutôt une règle, celle d'un procédé de construction qui favorise la répétitivité des actions.

Descente de charge et taux de travail

Le concept même d'une tour consiste à démultiplier le nombre de planchers afin de rentabiliser le foncier. De ce fait, plus de la moitié du poids de l'ouvrage est dû aux planchers. Le choix d'un système structurel de plancher qui soit à la fois léger et qui respecte les critères de bon fonctionnement est alors crucial. Celui-ci a également une conséquence

directe sur le dimensionnement des éléments verticaux. Dans une première approche d'avant-projet, on dimensionne les éléments verticaux en limitant leur contrainte ou taux de travail sous poids propre et charges dues à l'occupation des planchers (charges d'équipement et d'exploitation). Pour un ouvrage en béton, on dimensionne le plus souvent la section des poteaux ou des voiles afin que le taux de travail en combinaison ELS (poids propre, charges d'équipement et d'exploitation) soit au plus égal à une valeur proche du tiers de la résistance caractéristique à la compression à 28 jours employée.

Stabilité au feu

Le code de la construction et de l'habitation définit un immeuble de très grande hauteur de la manière suivante : « Constitue un immeuble de très grande hauteur tout corps de bâtiment dont le plancher bas du dernier niveau est situé à plus de 200 mètres par rapport au niveau du sol le plus haut utilisable pour les engins des services publics de secours et de lutte contre l'incendie. » Dans le cas de la conception d'un ITGH, les éléments de construction primaires porteurs doivent être stables au feu pendant trois heures (seulement deux heures dans le cas d'un IGH). Sous le terme « éléments de construction primaires porteurs » sont généralement compris les poteaux et les structures de transfert de charges. Lorsque la stabilité de ces poteaux dépend également de la présence de structures horizontales comme



John Hancock Center

© MORPHOSIS



Tour Phare

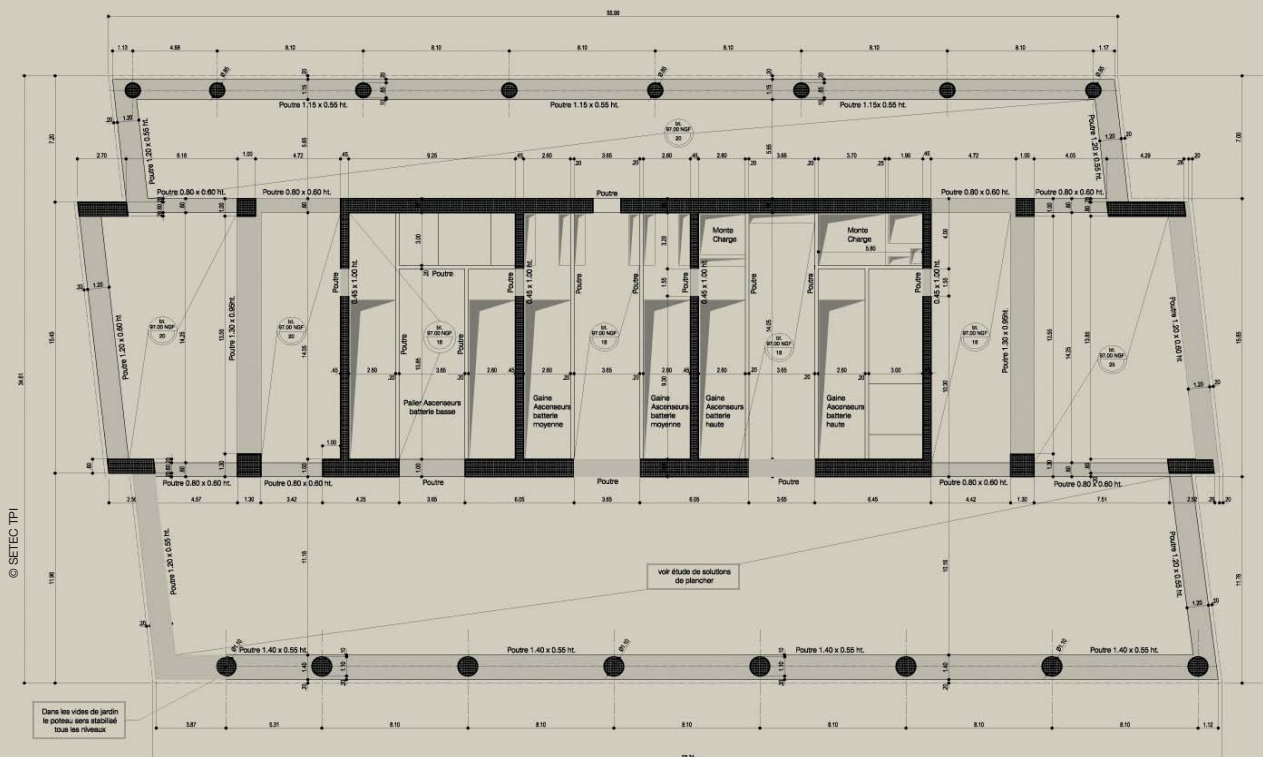
© HERZOG ET DE MEURON



Tour Triangle

NOYAU CENTRAL ET POTEAUX DE FAÇADE, PH7 DE LA TOUR MAJUNGA

3



2- Tour Majunga.

3- Noyau central et poteaux de façade, PH7 de la tour Majunga.

4- Quantités d'acier spécifiques aux éléments verticaux, horizontaux et de contreventement [1].

5- John Hancock Center : les poteaux descendent les charges, les diagonales résistent au vent.

6- Tour Phare.

7- Fondations de la tour Phare : radier et files de pieux.

8- Bâtiment est de la tour Phare, zone des planchers en acier.

9- Tour Triangle.

10- Tour Triangle, vue de côté.

2- Majunga Tower.

3- Core and facade columns, PH7 of Majunga Tower.

4- Specific steel quantities for vertical, horizontal and wind bracing elements.

5- John Hancock Center: The columns carry loads to the ground, while the diagonal braces resist the wind.

6- Phare Tower.

7- Foundations of the Phare Tower: foundation raft and rows of piles.

8- East building of the Phare Tower, steel flooring area.

9- Triangle Tower.

10- Triangle Tower, side view.

c'est le cas pour des poteaux inclinés), il y a lieu d'inclure ces structures dans les éléments stables pendant trois heures. Pour un ouvrage en béton, cela implique la prise en compte d'une épaisseur de béton neutralisée par le feu plus importante dans la justification au flambement des poteaux. En conséquence, les poteaux de diamètre inférieur à 1 m doivent souvent être renforcés.

Le critère de dimensionnement de descente de charge (voir ci-dessus) passe alors en second plan. Pour les structures horizontales, il faut augmenter l'enrobage des aciers, ce qui n'est pas sans conséquence sur le taux de ferrailage des éléments, celui des dalles notamment. Pour un ouvrage en acier, les méthodes de protection passive pouvant assurer une stabilité au feu pendant trois heures sont limitées : à ce jour, une protection par flocage des profilés permet de respecter ce critère ou une étude spécifique globale doit être menée à terme.

Il convient enfin de noter que, dans le cas où l'un des planchers qui assurent le contreventement d'un poteau stable au feu pendant trois heures est lui-même stable au feu pendant seulement deux heures, il faut justifier le poteau en cas de charge de feu avec une hauteur de flambement doublée (pour la troisième heure du sinistre durant laquelle

le plancher n'assure plus sa fonction de contreventement), ce qui oblige à augmenter son diamètre. Aussi, pour maintenir la qualité architecturale du projet, il peut être judicieux de rendre homogène la stabilité au feu de la structure et de dimensionner les planchers pour être stables pendant trois heures pour tout ou partie de ces planchers.

Flèches de plancher

La maîtrise des flèches est un critère important qui participe à la qualité de la construction : un plancher qui fléchit trop peut gêner, nuire au fonctionnement des équipements qu'il supporte, endommager les éléments non porteurs tels que les cloisons de plâtre.

Pour les planchers mixte acier-béton, les flèches sont contrôlées en imposant une contre-flèche aux profilés métalliques, ce qui annule généralement la flèche sous charges permanentes. Ce système mixte étant raide tout en étant léger, il devient alors plus crucial de maîtriser ses vibrations.

La maîtrise des flèches est en revanche plus critique pour les planchers de béton armé, du fait du fluage du béton. On cherche alors à maîtriser les flèches « nuisibles ». En effet, lorsqu'on installe les cloisons sur un plancher en béton armé, le plancher fléchit instantanément sous ce nouveau chargement, et les cloisons sont construites « avec »

cette flèche. Mais, parce que le béton flue, le plancher continue à fléchir sous le poids des cloisons longtemps après leur mise en place. Il se déforme, ce qui peut entraîner un endommagement des cloisons, d'où la dénomination de flèche nuisible. Les éléments identifiés comme fragiles vis-à-vis de ces déformations sont généralement les cloisons ou les revêtements de sol.

À l'échelle d'un plancher, la problématique n'est pas différente entre un ITGH et un bâtiment bas. En revanche, à l'échelle d'une tour, elle devient plus critique, car les appuis des planchers eux-mêmes tassent avec des amplitudes différentes.

Tassements

Tassements différentiels

Dans un bâtiment courant, les porteurs sont dimensionnés en résistance et en déformation, cette dernière étant souvent négligeable pour les verticaux. En revanche, dans les ITGH, du fait de charges permanentes et d'exploitation élevées, les déformations verticales ne peuvent pas être négligées.

À titre d'exemple, dans le cas de la tour phare, l'ordre de grandeur de la déformation cumulée d'un porteur sur toute la hauteur de la tour est de 20 cm.

À cette valeur s'ajoute le tassement du sol à la base du porteur (environ 6 cm en moyenne pour la tour Phare).

On définit ainsi l'affaissement d'un porteur comme la somme du raccourcissement du porteur et du tassement du sol. Des sinistres et désordres ont été observés dans des tours dans le cas d'un affaissement différentiel trop important entre porteurs voisins, par exemple des panneaux de façade brisés ou l'apparition de planchers en pente. D'autres risques sont à envisager après livraison, tels que l'inversion de pente de réseaux gravitaires ou la détérioration des revêtements de sol des cloisons fragiles.

Tassement du sol, impact sur les avoisinants

Il existe deux types de fondations pour un ITGH : des fondations superficielles par radier et des fondations profondes par pieux ou barrettes. Les tassements du sol dans le premier cas sont plus importants que dans le second, où la profondeur des fondations permet d'atteindre des couches très raides. La prévision des tassements du sol a toute son importance dans l'évaluation de l'impact de la construction de l'ITGH sur les avoisinants : une cuvette de tassement trop étendue risquera d'entraîner des dommages (fissuration) dans les bâtiments à proximité.

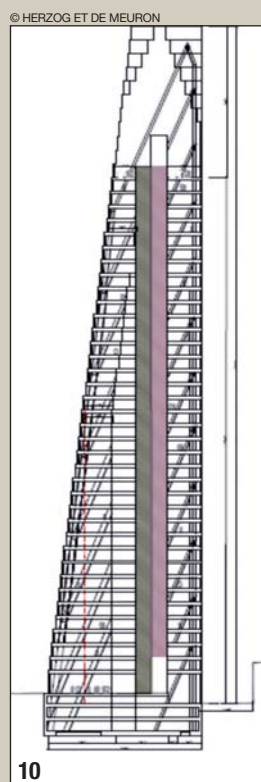
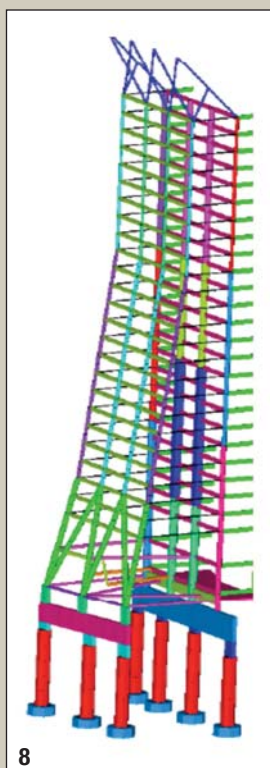
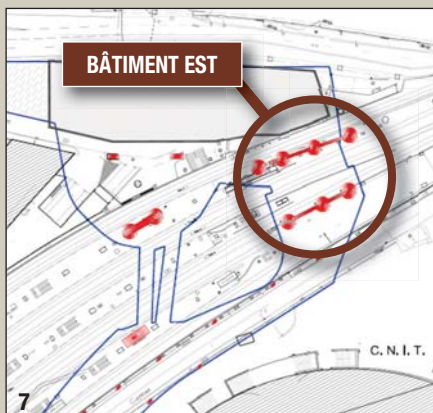
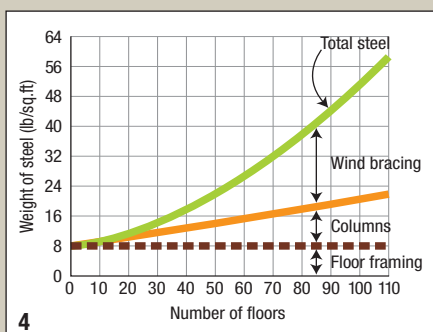


TABLEAU A : SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS CRITÈRES ET NORMES EXISTANTS APPLIQUÉS AU CAS PARTICULIER D'UN ITGH DE BUREAUX, DE FRÉQUENCE PROPRE 0,2 HZ.

Critère	Période de retour (en années)	Accélération (en mg)	Seuil de perception atteint pour
ISO 6897	5	18	2 % des occupants
ISO TC 98/SC	1	14	-
AIJ H-10	1	2.5	10 % des occupants
AIJ H-30	1	4	30 % des occupants
CECM	-	14	-

Par exemple, la valeur 18 mg correspond, selon la norme ISO 6897, à un seuil en dessous duquel moins de 2 % des occupants perçoivent le mouvement horizontal du bâtiment. La réponse résonante d'une tour à une excitation de fréquence égale à sa première fréquence propre présente un déplacement en $\frac{1}{k \cdot \xi}$ et une accélération en $\frac{1}{m \cdot \xi}$ où k , ξ et m sont respectivement la raideur, l'amortissement et la masse du premier mode de vibration de la structure. Le comportement dynamique peut ainsi être optimisé si l'on assure, à masse fixée, une raideur et/ou un amortissement suffisamment importants pour ne pas dépasser les limites de déplacement et d'accélération en tête de tour.

TABLEAU B : TOUR PHARE

Nombre d'étages	Super 70
	Infra 6
Hauteur par rapport au parvis	274,4 m
Hauteur des infrastructures	28,6 m
Hauteur d'étage	3,8 m
Shon Totale	146 300 m ²
Surface du radier	2140 m ²
Surface du noyau (niveau 0)	674 m ²
Poids propre de la tour (G) hors fondations	249 000 t
Volume de vide enserré par la tour	756 200 m ³

TABLEAU C : TOUR TRIANGLE

Nombre d'étages	Super 41
	Infra 3
Hauteur par rapport au parvis	184 m
Hauteur d'étage	3.8 m
Shon Totale	93 000 m ²

TABLEAU D : TOUR MAJUNGA : COMPARAISON DE LA PRÉCISION DE DIFFÉRENTES FORMULES DONNANT LA FRÉQUENCE PROPRE EN BLEU : ÉCART À LA VALEUR EF

Tour	H(m)	$f_1 = \frac{46}{H}$ (Hz)	$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{12.4EI}{\rho H^4}}$ (Hz)	f_{1_th} (Hz)	f_{1_EF} (Hz)
Majunga	171	0.270 / 30%	-	0.216 / 3.9%	0.208

TABLEAU E : FRÉQUENCES PROPRES : COMPARAISON DES RÉSULTATS DU MODÈLE ANALYTIQUE ET DU MODÈLE EF (PHASE PRO DÉCEMBRE 2008)

Méthode	Notre modèle	EF	% écart
f_1 (Hz)	0.134	0.137	2.1
f_2 (Hz)	0.47	0.479	1.3
f_3 (Hz)	1.02	1.066	4.2

Effets dynamiques

On définit l'élançement d'une tour comme le rapport de la hauteur de la tour sur le diamètre équivalent de son noyau.

Il n'est pas rare aujourd'hui de concevoir des tours possédant un élançement atteignant 15 ou 20.

Ces fortes valeurs rendent l'objet flexible, au sens que sa réponse dynamique à une sollicitation peut prendre une valeur importante par rapport à sa réponse statique.

Le dernier critère de dimensionnement, qui se révèle souvent le plus contraignant, est le confort des occupants de l'ITGH. En effet, le corps humain est relativement sensible au mouvement horizontal, plus précisément à l'accélération qui y est associée.

Un mouvement trop important en tête de tour provoquerait des troubles, voire des malaises chez les occupants, et rendrait le bâtiment inutilisable.

En accord avec les bureaux de contrôle, on retient pour les tours construites sur le site de la Défense le critère d'une accélération maximale en tête de tour de 18 mg pour un bâtiment de bureaux, de 11 mg pour un bâtiment d'habitation. Il est difficile de définir un critère unique vis-à-vis des seuils tolérables d'accélération.

Ces derniers dépendent en effet du type d'activité des occupants, de leur position, de leur sensibilité individuelle, mais aussi de la fréquence du mouvement (tableau A).

MÉTHODES DE CALCUL D'UN ITGH

CALCUL MANUEL

Le calcul manuel de la descente de charge et du contreventement d'un ITGH constitue le cœur du travail de dimensionnement des structures.

Il se doit d'être le plus précis possible, et ainsi de permettre les bons choix structurels dans les phases déterminantes d'esquisse et d'avant-projet sommaire.

Il est par la suite complété par un modèle de calcul par éléments finis, dont il permet une analyse critique.

Exemple de la tour Phare : descente de charge et choix d'un type de plancher

La tour Phare, projet de 70 étages, s'implante sur le site de La Défense.

Il est développé par l'agence d'architecture Morphosis pour le compte d'Unibail-Rodamco (tableau B - photo 6).

La tour repose sur deux types de fondations : un radier (figure 7, en gris) et des pieux (figure 7, en rouge).

Ces derniers se situent à la verticale d'une gare souterraine. Dans la descente de charge vers le sol, on a tout intérêt à minimiser la résultante des efforts sur les pieux, de façon à ne pas surcharger les piles existantes de la gare.

D'une manière générale, il s'agit de minimiser la descente de charge en dehors de l'enceinte de la paroi moulée. À ce stade, il a été choisi, après analyse de la descente de charge manuelle, de privilégier pour le bâtiment est, s'appuyant sur deux files de poteaux, un système structurel léger de plancher en acier (figure 8).

Exemple de la tour Triangle : descente de charge et efforts horizontaux

La tour Triangle est un projet implanté porte de Versailles, à Paris (tableau C, photo 9 et figure 10).

Conçue par l'agence d'architecture Herzog et Meuron pour le compte d'Unibail-Rodamco, la tour atteint 184 m de haut, avec des dimensions à sa base de 36 m de largeur pour 170 m de longueur (données issues de la phase esquisse de mars 2009). Sur les quatre façades, trois sont inclinées pour donner au bâtiment sa forme originale de triangle.

Les inclinaisons de façade provoquent l'introduction d'efforts horizontaux dans les planchers de chaque étage. Cette complexité de conception a pu être diagnostiquée dès la phase esquisse, au moment de la descente de charge manuelle, en faisant la somme des efforts arrivant à chaque intersection poutre-poteau (figure 11).

Grâce à cette première analyse, on a pu prévoir l'effet des efforts horizontaux sur le comportement de la structure, avec l'introduction d'une torsion d'ensemble (figure 12).

Les efforts horizontaux localisés au niveau des bords doivent être transmis au noyau, ce qui impose des planchers renforcés aux extrémités (figure 13).

Ainsi, une bonne analyse de la descente de charge permet de valider le choix d'un principe structurel général et d'orienter en fonction la nature des planchers et autres éléments de structure. Ces premiers éléments de choix seront confirmés par l'analyse plus détaillée par éléments finis.

Unité de contreventement et mouvement latéral

Un ITGH est une structure élançée, dont il faut prévoir le mouvement sous chargement horizontal de vent ou de séisme. La résistance au déplacement

horizontal est assurée en grande partie par le noyau, mais également par la structure externe qui participera efficacement au contreventement si elle est liée de manière adéquate au noyau. La raideur de l'ITGH suivant son premier mode de vibration (qui est le mode le plus excité par la sollicitation de vent) peut être évaluée par différentes méthodes manuelles, confirmées par la suite par un modèle de calcul par éléments finis.

Différentes méthodes d'analyse

L'Eurocode propose pour le calcul de la première fréquence propre d'un ITGH la formule empirique $f_1 = 46/H$ (H hauteur de la tour). Son application à différentes réalisations de tours donne des résultats souvent peu précis. Cette formule présente néanmoins l'avantage de mettre en valeur la dépendance de la fréquence en $1/H$. Une seconde approche consiste à considérer la structure de l'immeuble comme une poutre encastrée travaillant en console, à la flexion pure. La première fréquence propre s'écrit alors $f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{12.4EI}{\rho H^4}}$.

Au-delà de résultats assez peu satisfaisants, l'approche par une poutre à la flexion pure prévoit une dépendance de la fréquence en $1/H^2$, ce qui est en contradiction avec le résultat empirique en $1/H$. Il semble donc que la modélisation

d'un comportement vibratoire de poutre à la flexion pure ne soit pas suffisamment proche des phénomènes mécaniques mis en jeu.

En effet, suivant la forme du bâtiment, la répartition de la matière et la nature des connexions entre le noyau et une éventuelle façade structurelle, on peut observer des comportements radicalement différents, traduisant dans certains cas une prédominance de déformation à la flexion, dans d'autres cas une déformation de cisaillement (figures 14, 15 et 16).

On se propose alors d'utiliser un modèle analytique plus élaboré, qui prend en compte le comportement à la flexion et au cisaillement du bâtiment.

L'analyse qui suit se base sur la théorie des voiles couplés (coupled shear wall theory), qui consiste à assimiler deux voiles couplés – par exemple par un linteau – à un élément de poutre verticale travaillant simultanément à la flexion et au cisaillement.

Plus généralement, cette théorie s'étend à toute structure dont une partie travaille à la flexion et une partie au cisaillement : un portique relié à un voile, un treillis, un noyau couplé à des poteaux de façade peuvent être traités d'après [3] comme des cas particuliers de voiles couplés, respectant la même équation du mouvement.

11- Descente de charge de la tour Triangle représentée sur une maquette.

12- Torsion introduite par les efforts horizontaux à chaque plancher.

13- Renforcement des planchers de la tour Triangle aux extrémités.

14- Treillis : flexion prédominante [2].

15- Portique : cisaillement prédominant [2].

16- Voiles couplés travaillant majoritairement au cisaillement ou à la flexion [2].

17- Une tour de grande hauteur est modélisée par une structure de deux voiles couplés.

11- Loads carried to the ground from Triangle Tower, shown on a model.

12- Torsion introduced by horizontal forces on each floor.

13- End reinforcement of Triangle Tower floors.

14- Strut-and-tie: predominant flexure.

15- Portal structure: predominant shear.

16- Coupled shells subjected mostly to shear or flexural stresses.

17- A high-rise building is modelled by a structure of two coupled shells.

Modèle analytique de flexion-cisaillement : notion d'unité de contreventement

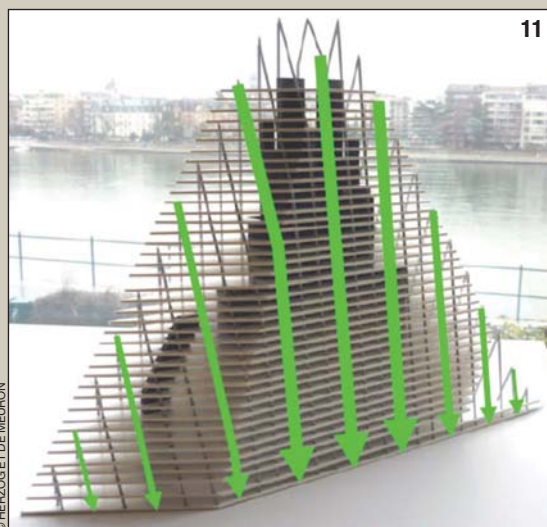
La notion de couplage entre éléments verticaux de structure fait référence au degré de rigidité de la connexion entre deux voiles, entre un voile et un poteau de façade, entre deux éléments d'une résille de façade... Le modèle que l'on se propose d'utiliser prend donc explicitement en compte la nature de la connexion entre les éléments porteurs. Par exemple, dans le cas classique, des poutres de façade relient les éléments porteurs de la façade et créent une unité de contreventement à l'origine de la composante de cisaillement dans le comportement global.

Les hypothèses du modèle analytique proposé sont les suivantes. On suppose que les planchers sont rigides et que la structure n'est pas sujette à la torsion. Les éléments travaillant à la flexion et au cisaillement sont alors contraints d'adopter le même déplacement : des éléments se trouvant dans des plans parallèles travaillent comme s'ils étaient dans le même plan.

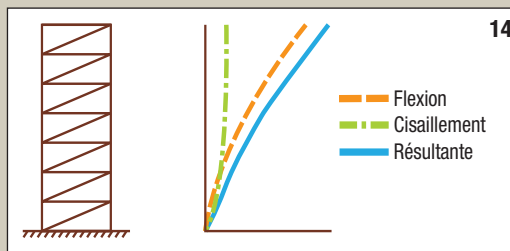
Plus précisément, d'après [4] :

→ Les voiles couplés travaillent à la flexion et au cisaillement (cas de référence des voiles couplés) ;

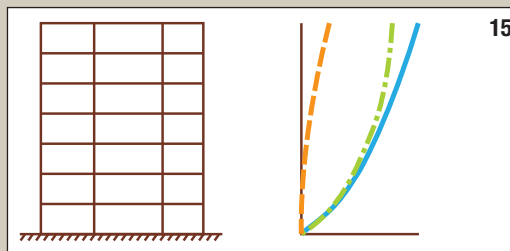
→ Les voiles isolés travaillent essentiellement à la flexion (cas du « treillis ») ; ▷



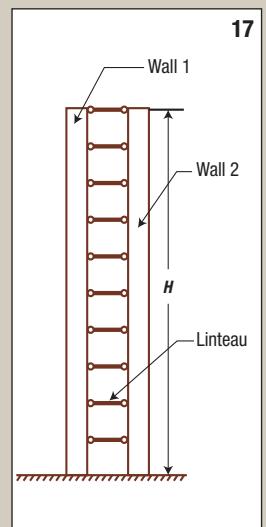
11



14



15



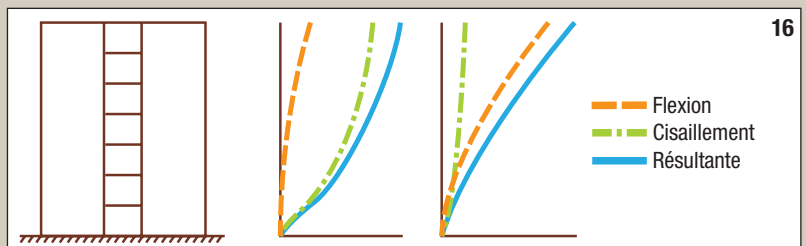
17



12



13



16

© HERZOG ET DE MEURON

→ Les parties d'ossature (poutres-poteaux) travaillent essentiellement au cisaillement (participation à la flexion négligeable – cas du « portique »).

La rigidité globale à la flexion de la structure s'obtient en sommant les rigidités EI des voiles isolés et des voiles couplés. La rigidité au cisaillement s'obtient quant à elle en sommant les contributions des rigidités (GA) des parties d'ossature à celles des voiles couplés. Le paramètre clé de l'étude du modèle continu est la proportion relative des deux modes de déformation, caractérisée par la grandeur $\alpha = H\sqrt{\frac{GA}{EI}}$.

Une valeur de α égale à 0 correspond à un modèle travaillant exclusivement à la flexion (Euler-Bernoulli), et une valeur de α très grande représente un modèle travaillant essentiellement au cisaillement. Les valeurs intermédiaires caractérisent les bâtiments dont le comportement inclut de la flexion et du cisaillement.

Calcul de la raideur au cisaillement

La difficulté du calcul du paramètre α réside essentiellement dans le calcul de l'aire de cisaillement A . D'après l'article [4] complété par [1], la valeur de la rigidité (GA) peut être obtenue comme somme des contributions (GA_i) de chacune des unités de contreventement (indice i) de la tour au niveau du plan d'un étage : $GA = \sum_i (GA_i)$ où H

est la hauteur d'un étage, I_{ci} l'inertie du poteau i , I_{bi} l'inertie de la poutre i de couplage des éléments verticaux, b_i la longueur de la poutre i . Une démonstration de cette formule est proposée par Stafford Smith et Coull dans [1].

Equation du mouvement et étude modale

Dans notre approche continue, le bâtiment à étages est modélisé par une structure de deux voiles couplés travaillant à la flexion et au cisaillement (figure 17).

Pour cette structure, l'équation du mouvement libre s'écrit, d'après [5] :

$$\frac{EI}{H^4} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} - \frac{GA}{H^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

dans le cas d'une structure non amortie, et pour des rigidités EI et GA constantes sur la hauteur du bâtiment H (ρ sa masse linéique). On fait en outre l'hypothèse que l'amortissement a une influence négligeable sur les fréquences propres et les déformées modales. On se contente donc de l'étude de l'équation du mouvement non amorti. Remarquons qu'il ne s'agit pas là de l'équation classique à la flexion-cisaillement d'une poutre de Timoshenko :

en effet, l'inertie I envisagée est une inertie de flexion interne et non pas l'inertie totale [6]. En introduisant le paramètre $\alpha = H\sqrt{\frac{GA}{EI}}$ définissant

le comportement flexion-cisaillement du modèle continu, on obtient d'après [5] l'expression générique de la pulsation propre du mode i de la tour :

$$\omega_i^2 = \frac{EI}{\rho H^4} \gamma_i^2 (\gamma_i^2 + \alpha^2)$$

On peut montrer que la fréquence fondamentale f_1 est alors proportionnelle à $\frac{\sqrt{A}}{H}$ (γ_i est en effet sensiblement constant). Ainsi, à ce stade de l'étude, on retrouve la dépendance en

$\frac{1}{H}$ de la formule empirique $f_1 = \frac{46}{H}$.

Par rapport à cette dernière, notre approche apporte le raffinement d'explicitement la dépendance de la fréquence propre dans la donnée des éléments structuraux de la tour, à travers la valeur A de l'aire de cisaillement.

Exemple de la tour Majunga (figure 3)

On obtient : $GA_{moy} = 0.338 E$

$$EI_{moy} = 152 E$$

$$\alpha = 9.5$$

$$f_1 = 0.216 \text{ Hz}$$

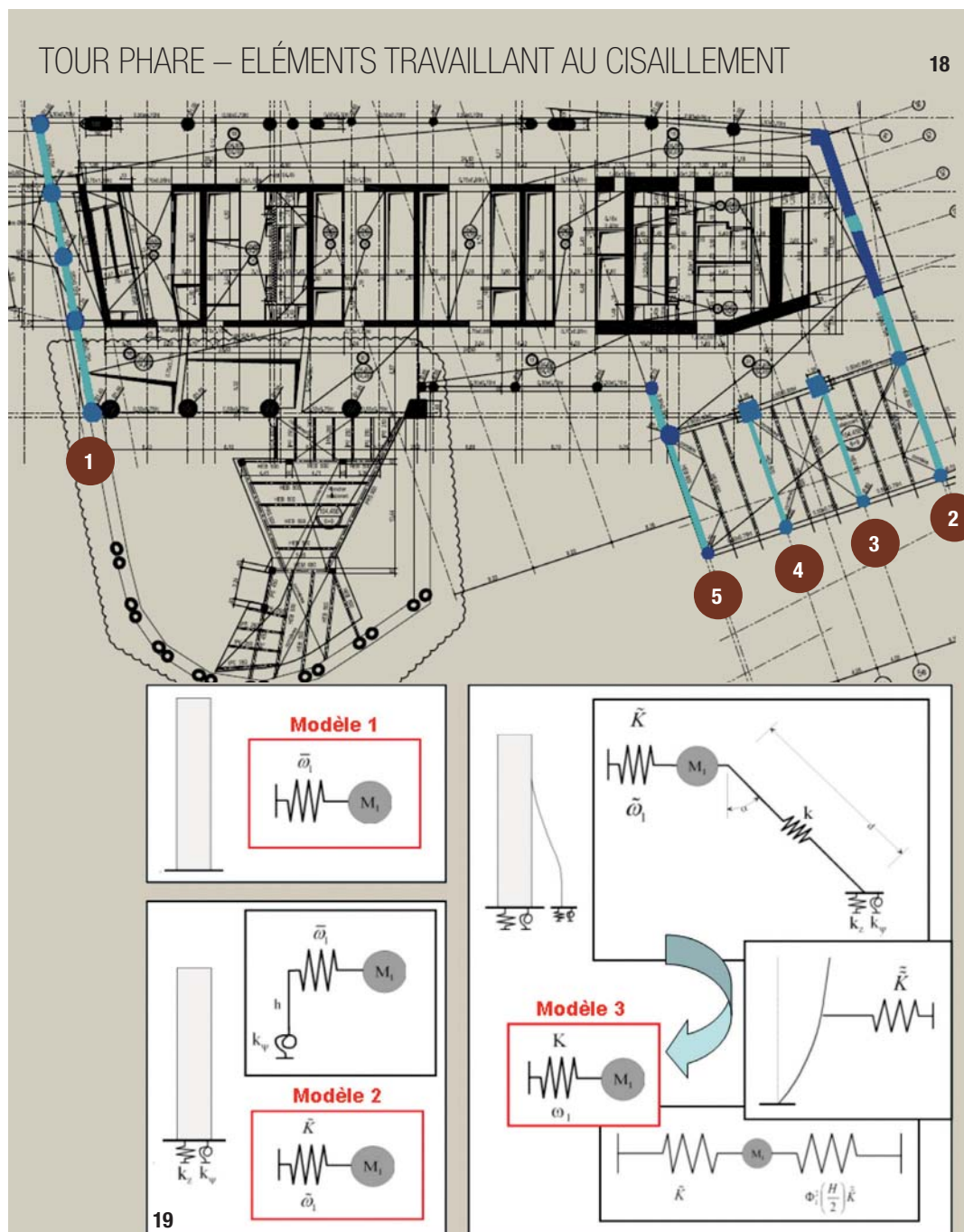
à comparer à la fréquence fournie par le modèle EF (APS de mars 2007) : 0.208 Hz (tableau D).

Déformées et masses modales

L'approche menée présente l'avantage de donner accès aux expressions analytiques des déformées modales, ainsi qu'au calcul des facteurs de participation et masses modales.

Application au cas de la tour Phare

La tour Phare est un bâtiment particulièrement élancé, dont il faut pouvoir prévoir le mouvement latéral sous chargement de vent (le site de la Défense n'est pas en zone sismique). On cherche à déterminer la première fréquence propre de vibration d'après la méthode analytique présentée ci-dessus. On utilise pour cela comme plancher représentatif le PH n° 9.



L'inertie locale I est aisément calculée en sommant les contributions des différents voiles et poteaux.

Concernant le cisaillement, on repère, sur la figure 18, cinq unités de contreventement. Chacune va donner une contribution $(GA)_i$. On en déduit la rigidité au cisaillement $(GA)=0.106E$ et ainsi : $\alpha=3.30$; $f_1=0.084$ Hz ; $f_2=0.373$ Hz ; $f_3=0.904$ Hz.

On s'intéresse dans une première approche à la fréquence propre $f_1=0.084$ Hz. Cette dernière valeur n'inclut pas les deux phénomènes suivants :

→ L'interaction sol-structure entre la tour et ses fondations, dont la prise en

18- Tour Phare – Éléments travaillant au cisaillement.

19- Trois degrés de raffinement du modèle analytique de la tour Phare.

20- Taux d'amortissement pour des bâtiments de différentes hauteurs [7].

21- Principe de l'ADA pendulaire.

22- Efficacité de l'ADA en fonction de sa masse – Cas de la tour Rotana.

23- Torsion d'un étage courant de la tour Triangle.

18- Phare Tower – Elements subjected to shear stress.

19- Three degrees of refinement of the analytical model of Phare Tower.

20- Damping ratio for buildings of different heights.

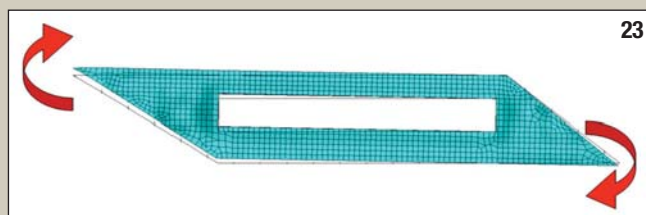
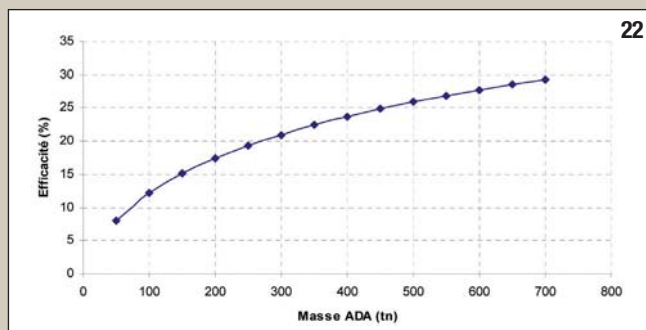
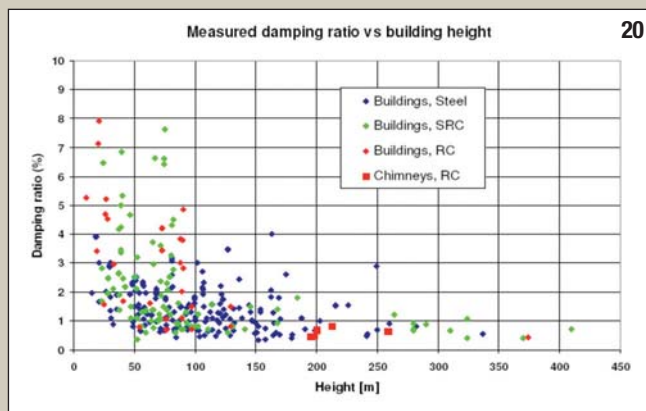
21- Principle of pendular ADA.

22- Efficiency of ADA as a function of weight – Example of Rotana Tower.

23- Torsion of a standard floor of Triangle Tower.



© TAYLOR DEVICES



compte a tendance à faire légèrement diminuer f_1 ;

→ L'effet sur le contreventement de la présence d'un diagrid et de son pied béton (figure 18), qui rigidifie la structure et fait ainsi augmenter f_1 .

Les raffinements successifs du modèle analytique sont les suivants :

→ Introduction d'une raideur de sol en série avec la raideur de contreventement de la tour (figure 19, modèle 2) ;

→ Modélisation du diagrid par un ressort disposé en béquille contreventante (figure 19, modèle 3).

Finalement, la prise en compte de ces deux phénomènes aboutit à $f_1=0.134$ Hz.

En utilisant la formule analytique donnant la pulsation ω_1 , on peut définir un coefficient α_{eff} prenant en compte l'interaction sol-structure ainsi que la présence du diagrid :

$$(2\pi \cdot 0.134)^2 = \frac{EI}{\rho H^4} \gamma_1^2 (\gamma_1^2 + \alpha_{eff}^2)$$

Il vient $\alpha_{eff}=5.7$; on en déduit le calcul de f_2 et f_3 : $f_2=0.47$ Hz ; $f_3=1.02$ Hz. Ces valeurs seront à comparer aux résultats de l'analyse dynamique effectuée à l'aide du modèle de calcul par éléments finis que nous étudierons un peu plus loin.

Conclusion

La méthode analytique proposée permet d'évaluer le comportement dynamique d'ensemble du bâtiment. En particulier, elle peut être utilisée dans le cadre du contrôle externe d'un modèle de calcul. Elle permettra également de tester l'influence de certains paramètres sur la dynamique en vue d'une optimisation de la répartition de matière.

Amortissement d'un ITGH

Amortissement selon l'Eurocode : origine et enjeux

Du fait de l'importance et de la diversité des phénomènes intervenant dans l'amortissement d'une structure, la prédiction des valeurs d'amortissement est difficile. À la résonance du premier mode, le déplacement et l'accélération en tête de tour sont inversement proportionnels au taux d'amortissement, d'où l'importance de la bonne prédiction de sa valeur. La dissipation d'énergie, qui est le phénomène physique correspondant à la notion d'amortissement, provient généralement de trois sources distinctes :

→ L'amortissement structurel, lié à la dissipation interne entre les éléments, au niveau des connexions, des fissures... On peut distinguer deux composantes : l'amortissement à amplitude nulle et la composante dépendant de l'amplitude du mouvement ;

→ L'amortissement aérodynamique, lié à la différence de vitesse entre la façade de la tour et la masse d'air en mouvement ;

→ L'amortissement lié à l'interaction sol-structure, correspondant au transfert d'énergie opéré par le bâtiment vers le sol. Sa valeur est faible devant la composante structurelle, d'autant plus dans le cas des tours de grande hauteur.

L'Eurocode (EC) fournit des recommandations sur la valeur du taux d'amortissement, pour le cas des bâtiments en béton armé ou béton et acier.

Mais gardons à l'esprit que la majorité des codes actuels (dont l'EC) sont fondés sur de nombreuses mesures faites sur des bâtiments de hauteur moyenne, et non des tours de grande hauteur ($H>200$ m), ce qui peut être considéré comme peu sécuritaire puisque le taux d'amortissement décroît avec la hauteur du bâtiment. Il s'agira donc, dans un projet de tour, de justifier précisément le choix d'une valeur d'amortissement (figure 20).

Amortisseur viscoélastique et amortisseur dynamique accordé

On peut choisir lors de la phase de conception d'adjoindre à la structure une source externe d'amortissement, qui, parce qu'elle augmente l'amortissement global de la structure, autorise des économies de matière : le critère d'une raideur suffisante pour ne pas dépasser le déplacement admissible devient en effet moins contraignant.

On peut classer les amortisseurs en deux catégories. Les amortisseurs à dissipation directe d'énergie (ou amortisseurs viscoélastiques) sont basés sur la force de retour créée par la déformation d'un polymère ou d'un composé caoutchouteux. En l'absence de toute caractéristique de type « ressort », ce type d'amortissement n'est pas spécifique à une fréquence particulière.

Il est réparti sur toute la hauteur du bâtiment. Les amortisseurs à dissipation indirecte d'énergie sont des systèmes dynamiques accordés (notés ADA) sur la fréquence de vibration principale de la tour. Ce second type d'amortisseur est placé en tête de tour (où se rencontre l'accélération maximale), ce qui peut poser un conflit d'intérêt du fait de la suppression d'une précieuse surface située en hauteur. Un bon compromis réside dans l'installation de configurations moins classiques de ce type d'amortisseur, par exemple un système de pendule sur plusieurs étages.

C'est la solution qui a été retenue pour la tour Rotana (à Amman, en Jordanie, dans ▽

une zone sismique) avec un amortisseur dynamique accordé pendulaire qui pèse environ 1 % du poids de la tour.

Dimensionnement de l'amortisseur de la tour Rotana

La tour Rotana, projet implanté à Amman en Jordanie, fait 188 m de hauteur, 49 étages en superstructure et 7 étages en infrastructure, pour une surface Shon de 45 000 m².

Elle est conçue par le cabinet Architecture Studio pour le compte de Emirates Tourism Investment Company (photo 1).

La masse pendulaire notée M_a , élément principal du dispositif d'amortissement dynamique accordé (noté ADA), est suspendue à un plancher de la tour par des câbles dont la longueur est réglée pour accorder la pulsation propre de l'ADA $\omega_a = \sqrt{\frac{g}{L}}$ (notation de la fréquence propre : f_a) sur celle de la tour. L'énergie transmise par le vent au bâtiment se transmet à la masse suspendue, qui est alors dissipée au travers d'amortisseurs de dissipation d'énergie (figure 21).

Une étude paramétrique donne les conclusions suivantes (on note μ le rapport de la masse de l'ADA sur la masse de la tour) :

→ Position en hauteur : plus l'ADA est situé en hauteur dans la tour, plus son efficacité est grande ;

→ Masse de l'ADA : plus la masse de l'ADA est importante, plus son efficacité est grande (les autres paramètres étant fixés). L'effet diminue pour des masses importantes ;

→ Taux d'amortissement α de l'ADA : il existe une valeur optimale de α dépendant du seul paramètre μ ;

→ Fréquence f_a de l'ADA : il existe une valeur optimale de f_a dépendant du seul paramètre μ .

Ainsi, en fixant la hauteur de l'ADA, il apparaît que son efficacité dépend du seul rapport μ entre la masse de l'ADA et la masse de la tour (figure 22).

On peut alors proposer la méthode de dimensionnement d'un ADA suivante : pour une efficacité χ recherchée, on déduit d'après le graphe précédent la masse M_a optimisée ; la valeur de μ ainsi fixée détermine les valeurs optimales d'amortissement et de raideur de l'ADA permettant effectivement d'atteindre l'efficacité souhaitée χ .

Ce type de dispositif peut être implanté dans une tour pour augmenter la valeur de l'amortissement global de son premier mode, et ainsi permettre des économies de matière (critère de raideur minimale moins contraignant).

LE MODÈLE PAR ÉLÉMENTS FINIS

Un modèle de calcul par éléments finis permet de modéliser avec précision le comportement d'un ITGH. En raison de sa grande complexité, il doit être précédé d'une analyse manuelle permettant de s'approprier les phénomènes mis en jeu.

Par exemple, dans le cas de la tour Triangle, le mouvement de torsion visualisé en figure 23 s'explique par les effets des efforts horizontaux détectés lors de la descente de charges manuelle. Le modèle par éléments finis de la tour Phare a permis d'introduire des éléments de modélisation aussi raffinés que le phasage de construction (figures 24 et 25). Il s'agit en effet d'estimer au mieux les conséquences du fluage des porteurs sur la répartition des efforts verticaux entre le noyau et le diagrid (figure 26), qui dépend de l'histoire du chargement. La construction comprend trois phases :

→ Phase 1 : élévation de l'ensemble de la structure béton. Le coefficient de fluage est de 0.5 à la fin de cette phase ;

→ Phase 2 : mise en place et connexion du diagrid (phase instantanée, le fluage reste à 0.5) ;

→ Phase 3 : mise en charge du diagrid correspondant à la poursuite du fluage.

L'adoption d'un tel phasage permet de réduire la valeur des efforts circulants par le diagrid, ce qui est un enjeu particulièrement important dans le cas présent puisque le diagrid s'appuie sur les poteaux d'une gare souterraine qui ont une résistance en compression limitée. Sont également modélisées dans le modèle EF les fondations de l'ITGH, ainsi que l'interaction des fondations avec le sol (introduction de raideurs de sol) (figure 27).

L'ensemble du modèle permet d'évaluer statiquement et dynamiquement le respect des critères de dimensionnement. On obtient par exemple les valeurs des déplacements et accélérations en tête de tour sous chargement de vent, ainsi que les fréquences propres qui sont comparées aux valeurs calculées analytiquement (figure 28 et tableau E).

**VERS L'OPTIMISATION DE LA MATIÈRE EMPLOYÉE
CONNEXION HORIZONTALE ET FRÉQUENCE PROPRE**

La capacité des éléments horizontaux, de type planchers ou poutres, à faire travailler conjointement le noyau d'une tour et sa façade est restée longtemps inexploitée. Ce n'est que dans les

années 1960, grâce aux travaux de Fazlur Rahman Khan [8], ingénieur chez Skidmore Owings and Merrill (SOM), qu'apparaissent les premières tours contreventées par l'action conjointe d'un noyau et d'une façade structurale : on parle de shear wall-frame interaction (auparavant, les deux systèmes shear-wall et frame existaient de manière indépendante). Khan a signé plusieurs tours contreventées suivant ce principe d'interaction, telles le Chicago civic center (1965, photo 29), qui atteint 198 m de haut pour 31 étages, ou le Brunswick building (1964, 145 m de haut pour 35 étages, photo 30), également à Chicago.

La volonté de créer des surfaces de plateaux toujours plus libres, avec une perspective continue, a mis en évidence le gain à faire participer la façade au contreventement, conjointement au noyau : le nombre de poteaux intérieurs est réduit, le noyau est moins massif. La façade structurelle participe du principe architectural même de l'édifice, elle donne à « voir » la descente de charge. Par exemple, elle se pare d'un diagrid comme dans le cas du Gherkin londonien de Sir Norman Foster. Parfois même, les diagonales particulièrement sollicitées sont ostensiblement épaisses ou plus densément réparties (photo 31).

24 et 25- Modèle EF de la tour Phare – Phases 1 et 3.

26- Modélisation du diagrid.

27- Infrastructures et fondations de la tour Phare.

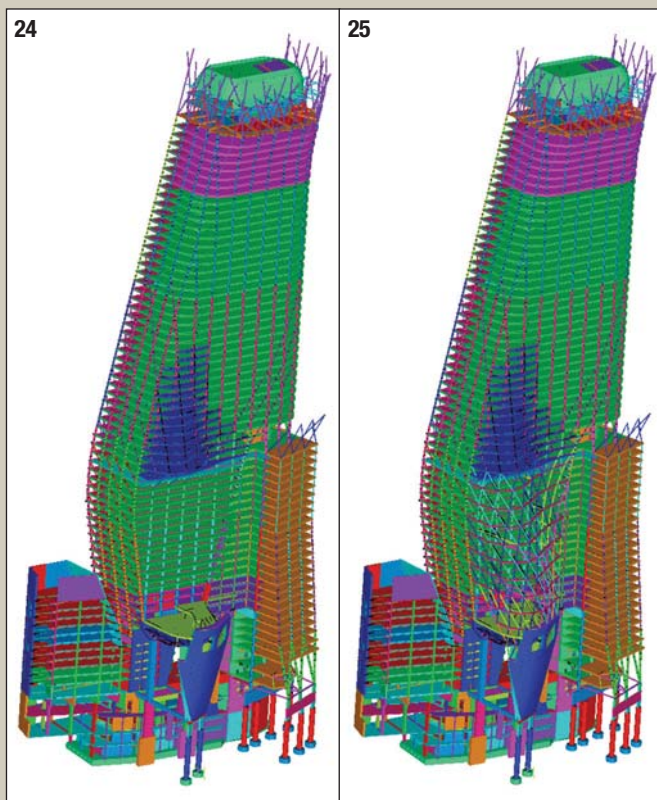
28- Visualisation du premier mode de torsion de la tour Phare.

24 et 25- FE model of Phare Tower – Phases 1 and 3.

26- Model of the diagrid.

27- Infrastructure and foundations of Phare Tower.

28- Visualisation of the first torsion mode of Phare Tower.



Cette rationalisation de la conception d'une tour présente un double avantage. Tout d'abord, une forme de façade improbable possède en elle-même la justification structurelle de son existence, puisqu'elle fournit la matière en périphérie permettant le nécessaire accroissement de la rigidité d'ensemble. Le second avantage est l'intérêt renaissant pour la capacité d'une connexion rigide à faire travailler ensemble une façade structurelle et un noyau, et la perspective d'optimisation de matière qui va de pair avec la bonne évaluation de l'incrément de raideur globale associé.

SE FIXER DES OBJECTIFS DE RATIOS DE DIMENSIONNEMENT

Avec l'expérience de nombreuses tours de grande hauteur en France et à l'étranger, il nous est possible d'analyser les différentes quantités de matière utilisées pour chaque ouvrage, et d'en déduire des ratios de dimensionnement. L'application est double :

- Prévoir au plus juste, à un stade amont du projet, les quantités de matière mises en jeu, de façon à avoir une estimation pertinente des coûts ;
- Se fixer, en fonction des ratios constatés sur les tours précédentes, de nouveaux objectifs d'optimisation sur les constructions à venir.

Évaluation du poids propre de la superstructure d'une tour

L'objectif est de se faire une idée aussi précise que possible de la masse d'une tour en phase amont d'un projet, à partir d'une quantité réduite de données disponibles. On s'intéresse en particulier au poids des superstructures de la tour.

Soit $P(x)$ le poids des étages situés au-dessus de la hauteur x (le niveau du sol est pris comme référence à $x = 0$). On décompose $P(x)$ en deux composantes :

- Le poids des éléments horizontaux (planchers et poutres) ;
- Le poids des éléments verticaux (voiles et poteaux).

On pose $S_v(x)$ la section des éléments verticaux à la hauteur x , S_h la superficie d'un plancher (supposée constante sur la hauteur de la tour), S_H la superficie totale (Shon). h est la hauteur d'un étage, H est la hauteur de la tour (à partir du niveau 0 des superstructures). α est le poids surfacique des éléments horizontaux (planchers et poutres). Il se calcule à partir de l'épaisseur moyenne de ces éléments.

On considère dans un premier temps que la surface $S_v(x)$ des éléments verticaux à la hauteur x est optimisée en terme de descente de charge : si la contrainte admissible dans les

voiles et poteaux est notée f_y , on a

$$S_v(x) = \frac{P(x)}{f_y}$$

On obtient alors l'expression du poids linéique de la tour :

$$\frac{dP(x)}{dx} = \alpha \frac{S_H}{H} + \alpha \frac{S_H}{H} \left(e^{\frac{\rho g H}{f_y} (H-x)} - 1 \right)$$

Le premier terme est le poids linéique des horizontaux ; le second correspond aux verticaux. Celui-ci met en valeur le fait que les verticaux ont un poids linéique proportionnel au poids linéique des horizontaux à porter. À cela s'ajoute une dépendance exponentiellement décroissante à la hauteur, car les verticaux, en plus de porter les horizontaux, doivent se porter eux-mêmes.

La formule du poids des superstructures a été déterminée en considérant qu'à chaque hauteur x , la section des verticaux est fixée de manière optimale par la descente de charge.

Cela n'est que partiellement exact pour les immeubles de grande hauteur, où le contreventement induit des quantités de matière (notamment en verticaux) plus importantes.

On se propose donc de modifier la formule en y introduisant un facteur de contreventement noté f_c .

Finalement on retient :

$$P_{super} = \alpha \cdot S_H \frac{f_y}{\rho g H} \left(e^{f_c \frac{\rho g H}{f_y}} - 1 \right)$$

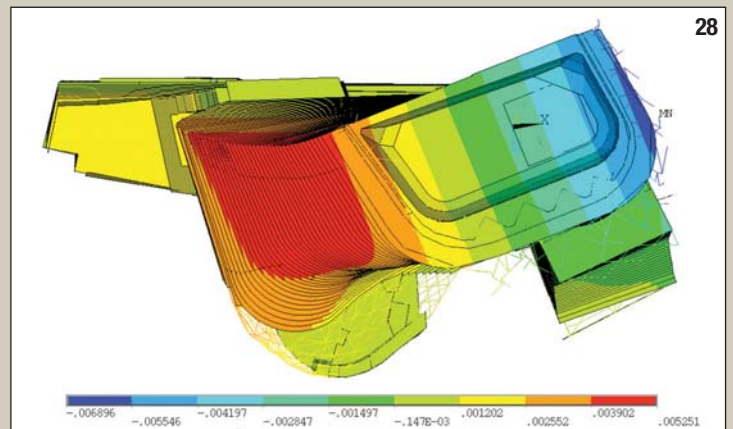
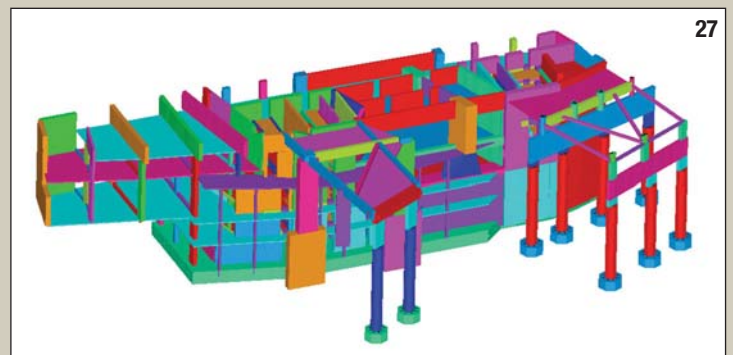
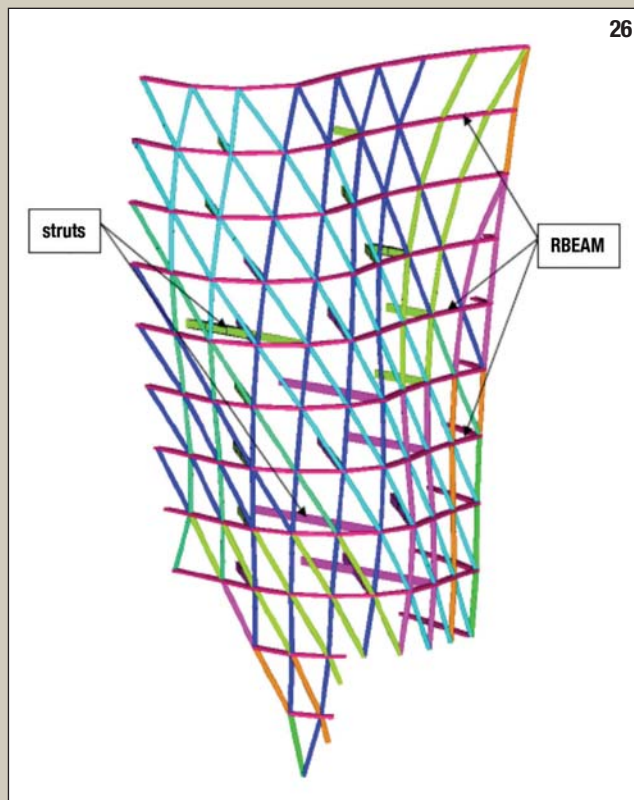
Cette formule est mise en pratique et testée sur plusieurs tours de grande hauteur récemment conçues par Setec TPI. Une étude paramétrique permet de caler le facteur de contreventement. Celui-ci rappelle le caractère primordial de la résistance au contreventement et de l'étude des mouvements horizontaux dans le cas de la grande hauteur. L'erreur commise dans la prédiction du poids des superstructures d'une tour avec la formule proposée est faible.

Issue d'une approche théorique complétée par une application aux cas concrets de plusieurs tours, cette formule permet de déterminer, avec un nombre de données limitées (Shon des superstructures, épaisseur moyenne des horizontaux liée notamment au type de plancher retenu, hauteur des superstructures), le poids propre des superstructures d'un projet de tour de grande hauteur.

Épaisseur moyenne

Elle est définie comme le rapport du volume de béton total utilisé dans la construction (infrastructures et fondations incluses) sur la surface Shon totale.

Ce rapport peut par exemple être notablement influencé par la nature des fondations (radier ou fondations profondes) ou par la présence d'un contexte sismique (cas de la tour Rotana). ▷



On peut extraire de ces épaisseurs moyennes la part des horizontaux, donnant une épaisseur moyenne des horizontaux qui est utile dans l'application de la formule du poids propre des superstructures d'une tour.

Une variante de ce ratio est le rapport du volume de vide enserré par la tour sur le volume de béton utilisé pour la construction. Il est intéressant d'avoir ce ratio à l'esprit : pour 1 m³ de béton investi dans la construction, on peut espérer obtenir entre 6 et 7 m³ de volume disponible.

Grâce à l'approche globale par ratios de prédimensionnement, il nous est possible de juger un projet de tour à l'aune des précédentes réalisations. Une telle manière de procéder ouvre la voie à l'optimisation des quantités mises en jeu, donc du coût.

CONCLUSION

L'optimisation de la quantité de matière employée doit être une préoccupation

29- Chicago civic center [8].

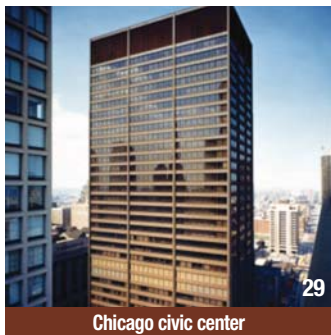
30- Brunswick building, Chicago [8].

31- Tour CCTV à Pékin : la résille de façade est plus dense dans les zones fortement chargées [9].

29- Chicago Civic Center.

30- Brunswick Building, Chicago.

31- CCTV Tower in Beijing: the facade lattice is denser in heavily loaded areas.



Chicago civic center



Brunswick building



Tour CCTV

constante de l'ingénieur structure.

Elle intervient dès la phase d'esquisse d'un projet d'ITGH, au moment où des choix structurants sont faits.

Deux outils d'analyse ont été présentés à cet effet. Le premier prend la forme d'une méthode analytique continue, qui permet de tenir compte de l'effet bénéfique d'une connexion suffisamment rigide entre structures externe et interne d'un ITGH. L'ingénieur structure retiendra qu'il peut être plus efficace pour rigidifier un ITGH d'augmenter les dimensions des éléments horizontaux que d'épaissir les porteurs verticaux.

Le second outil est un ensemble de ratios de prédimensionnement qui permettent d'intégrer dans chaque nouveau projet le retour d'expérience acquis au fil des réalisations antérieures. D'autres pistes d'optimisation existent, telles que l'exploitation de l'amortissement naturel d'une structure ou l'ajout d'une source supplémentaire d'amortissement. Elles sont couramment exploitées dans le souci constant de l'amélioration du fonctionnement structurel d'un ITGH. □

[Bibliographie]

[1] Tall building structures, analysis and design, B.S. Smith, A. Coull, éd. John Wiley & Sons, 1991.

[2] « Generalized method for estimating drift in high rise structures », B. Stafford Smith, M. Kuster, J.C.D. Hoenderkamp, The journal of structural engineering, 1984.

[3] « A generalized approach to the deflection analysis of braced frame, rigid frame, and coupled wall structures », B. Stafford Smith, M. Kuster, J.C.D. Hoenderkamp, The Canadian journal of structure engineering, 1981.

[4] « Approximate analysis of tall wall-frame structures », A.C. Heidebrecht, B.S. Smith, Journal of the structural division, 1973.

[5] « Approximate floor acceleration demands in multistory buildings. Part I : Formulation », E. Miranda, S. Taghavi, The journal of structural engineering, 2005.

[6] « Dynamics of multi-framed structures, unified homogenized description », S. Hans, C. Boutin, à paraître dans Computers and geotechnics.

[7] « Damping evaluation using full-scale data of buildings in Japan », N. Satake, The journal of structural engineering, avril 2003.

[8] « Tendances actuelles dans la construction des immeubles de grande hauteur à structure en béton armé et en acier », F. Khan, Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics, mai 1971, n° 281, p. 37-56.

[9] « Case study: CCTV Building », CTBUH Journal, 2008 Issue III.

ABSTRACT

DYNAMIC BEHAVIOUR OF HIGH-RISE BUILDINGS

JEAN MARC JAEGER, CHRISTIAN RICHÉ, JOSEPH ABOUEZZI, PATRICK MUGNIER, JULIEN TANANT, YANN KRYSINSKI, SETEC TPI

The ever increasing use of high-rise buildings in modern cities is part of the answer to the growing need for denser city planning. In recent diagrid buildings, the major load-resisting components are located on their perimeter, on the façade. The more efficiently the structural façade is connected to the interior vertical elements, the greater will be the stiffness of a high-rise building.

Our research focuses on the effect on a building's stiffness of optimised horizontal connection between inner and outer vertical elements.

An analytical tool has been developed which allows early yet precise assessment of the dynamic behaviour of a high-rise building, and more precisely of the shear-wall/frame interaction stiffening effect.

Several examples are given from actual high-rise building projects carried out by SETEC TPI, such as Thom Mayne's Tour Phare at la Défense, Paris.

The ultimate purpose of such a method is to optimise material quantities as part of an "HQE" environmental approach, to allow early spotting of future dynamic problems, and be able to check the accuracy of the results of the future finite element calculation model. Analytical calculations are presented to illustrate the issue of the optimisation of material allocation and are compared with finite element results. This dynamic analysis is complemented by preliminary design tools - such as dimensioning ratios - used to improve the accuracy of initial project feasibility and cost analysis, drawing on SETEC TPI's wide experience in the field of high rise buildings. □

COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LAS TORRES DE GRAN ALTURA

JEAN MARC JAEGER, CHRISTIAN RICHÉ, JOSEPH ABOUEZZI, PATRICK MUGNIER, JULIEN TANANT, YANN KRYSINSKI, SETEC TPI

La torre de gran altura, elemento propicio a la densificación urbana, ha llegado a ser casi ineludible en el paisaje de una metrópoli moderna.

Numerosos edificios recientes presentan una fachada estructural en diagrid, que, si está eficazmente conectada a los portadores del núcleo de la torre, confiere al edificio un importante incremento de rigidez.

El presente estudio propone una herramienta simple que permite evaluar de forma analítica el comportamiento dinámico de una torre de gran altura, y con mayor precisión de prever el efecto de refuerzo de una conexión horizontal optimizada entre las estructuras portadoras interna y externa del edificio.

El método va ilustrado por varios ejemplos de proyectos de torres diseñadas por SETEC TPI, como por ejemplo, la Torre Phare del arquitecto Thom Mayne, en el barrio de la Défense.

El objetivo final de semejante método consiste en la optimización de la cantidad de materia utilizada para la construcción, en el marco de un planteamiento HQE. Además, se trata de poder detectar en el anteproyecto los eventuales problemas dinámicos, y procurarse una herramienta de control de los resultados del futuro modelo de cálculo por Elementos Finitos. En este artículo se presentan diversos resultados analíticos y la comparación con los valores del cálculo por Elementos Finitos, ilustrando la temática de la optimización de la distribución de la materia.

Como complemento, un enfoque por ratios de predimensionamiento permite pulir el análisis inicial de factibilidad y de coste de un proyecto, que se funda en la amplia experiencia de SETEC TPI en el ámbito de la torre de gran altura. □

LE NOUVEAU CENTRE HOSPITALIER D'ANNEMASSE ET BONNEVILLE (CHIAB) EN HAUTE-SAVOIE : UN PROJET DE RENFORCEMENT DE SOL HORS NORME

AUTEURS : STÉPHANE BRÛLÉ, RESPONSABLE DE L'AGENCE RHÔNE-ALPES, MÉNARD - EMMANUEL JAVELAUD, INGÉNIEUR TRAVAUX, MÉNARD - OLIVIER PAL, DIRECTEUR DU BET GÉOTECHNIQUE, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS - ANNE-VÉRONIQUE RIZZO, INGÉNIEUR D'ÉTUDES AU SEIN DU BET GÉOTECHNIQUE, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS - ELODIE BRUNET-MANQUAT, INGÉNIEUR D'ÉTUDES AU SEIN DU BET GÉOTECHNIQUE, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

LE CENTRE HOSPITALIER INTERCOMMUNAL D'ANNEMASSE-BONNEVILLE (CHIAB) SE DOTE D'UN NOUVEL HÔPITAL SUR LA COMMUNE DE CONTAMINE-SUR-ARVE. LE PROJET SE RÉALISE DANS LE CADRE D'UNE PROCÉDURE DE PARTENARIAT PUBLIC PRIVÉ (PPP), RENDUE POSSIBLE PAR L'ORDONNANCE DU 4 SEPTEMBRE 2003 DITE « ORDONNANCE SANTÉ » ET SE CONCRÉTISANT PAR UN BAIL EMPHYTÉOTIQUE HOSPITALIER (BEH) SUR UNE DURÉE DE L'ORDRE DE 30 ANS. LE CHIAB A CONFIE LE FINANCEMENT, LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION ET UNE PARTIE DE L'EXPLOITATION TECHNIQUE DU BÂTIMENT AU GROUPE EIFFAGE QUI A DÉFINI UN CONSORTIUM DE FINANCEURS, CONCEPTEURS, CONSTRUCTEURS, EXPLOITANTS ET MAINTENEURS. L'OUVERTURE DU NOUVEL HÔPITAL EST PRÉVUE EN 2012.



1- Vue aérienne du projet lors de la réalisation des travaux d'amélioration de sol.
1- Aerial view of the project during the performance of soil improvement work.

© PHOTOTHÈQUE MÉNARD - EIFFAGE

DATES CLÉS

OUVERTURE DU NOUVEL HÔPITAL : 2012

DÉLAI AVANT L'OUVERTURE AU PUBLIC : 4,5 ans à partir de la sélection du candidat chargé de construire l'hôpital

PRÉPARATION DU CHANTIER : 8 mois

DURÉE DES TRAVAUX : 35 à 40 mois

EMMÉNAGEMENT : 6 mois

UN PROJET INTÉGRÉ DANS SON ENVIRONNEMENT

Les concepteurs ont souhaité un bâtiment s'insérant dans l'environnement existant grâce à sa faible hauteur (R+2), ses matériaux de façades « neutres » (panneaux de résine de bois) et grâce au « camouflage » des zones techniques et logistiques (figure 2).

La démarche de qualité environnementale et sanitaire est un axe fort du projet, notamment en termes de ▷



© PHOTO THÈQUE MÉNARD - EIFFAGE

2- Intégration paysagère du CHIAB.

3- Vue en plan du découpage structurel en blocs du bâtiment principal.

2- Integration of the CHIAB into the landscape.

3- Plan view of the structural breakdown of the main building by blocks.

sobriété énergétique (recours à des énergies renouvelables), de limitation des émissions polluantes ou allergènes (arbres plantés autour de l'hôpital, revêtements intérieurs ne dégradant pas la qualité de l'air intérieur...) et de gestion économe de l'eau. Quant à la dimension accueillante du site pour les futurs patients, elle est le fruit d'une recherche autour de la simplicité de la conception architecturale, de la multiplication des patios, et de la création d'espaces de services et de convivialité.

Le nouvel Hôpital s'articule autour d'un Bâtiment Principal, d'une plate-forme Urgences, d'un pôle Energie et d'une crèche. L'ouvrage principal représente l'enjeu majeur de cette construction tant du point de vue de son usage

d'hébergement que de sa complexité structurelle.

D'une part, les contraintes liées à son fonctionnement en font un bâtiment sensible (présence des blocs opératoires, passages de chariots, imagerie, accueil du public...). D'autre part, la structure s'articule autour de 8 blocs indépendants mécaniquement par des joints de dilatation et fondés sur des niveaux évoluant entre les cotes 444,48 NGF et 448,80 NGF (figure 3). En termes de charges, la plage de variation est comprise entre 275 kN et 3560 kN sous les porteurs isolés, entre 20 kN/ml et 741 kN/ml sous les voiles, et atteint une valeur maximale de 10 kPa en exploitation courante. Globalement, l'ensemble représente une contrainte moyenne de l'ordre de 65 kPa uniformément répartie.

LE CONTEXTE HYDRO-GÉOTECHNIQUE

LA GÉOLOGIE DU SITE ET LES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES SOLS

Le choix du site place le projet au sein de formations quaternaires, décrites

par la carte géologique du BRGM comme étant constituées de moraines, sédiments glacio-lacustres et fluvio-glaciaires liés à l'histoire glaciaire de la région.

Entre 2006 et 2008, le site a fait l'objet de 3 campagnes de reconnaissances suivant le déroulement des missions d'ingénierie géotechnique définies dans la norme NF P 94-500 :

→ Étude géotechnique préliminaire de site (G11) avec investigations conduites par le BE Equaterre en avril 2006.

→ Étude géotechnique d'avant projet (G12) avec investigations réalisées en juin 2007 par le BE Fugro Géotechnique.

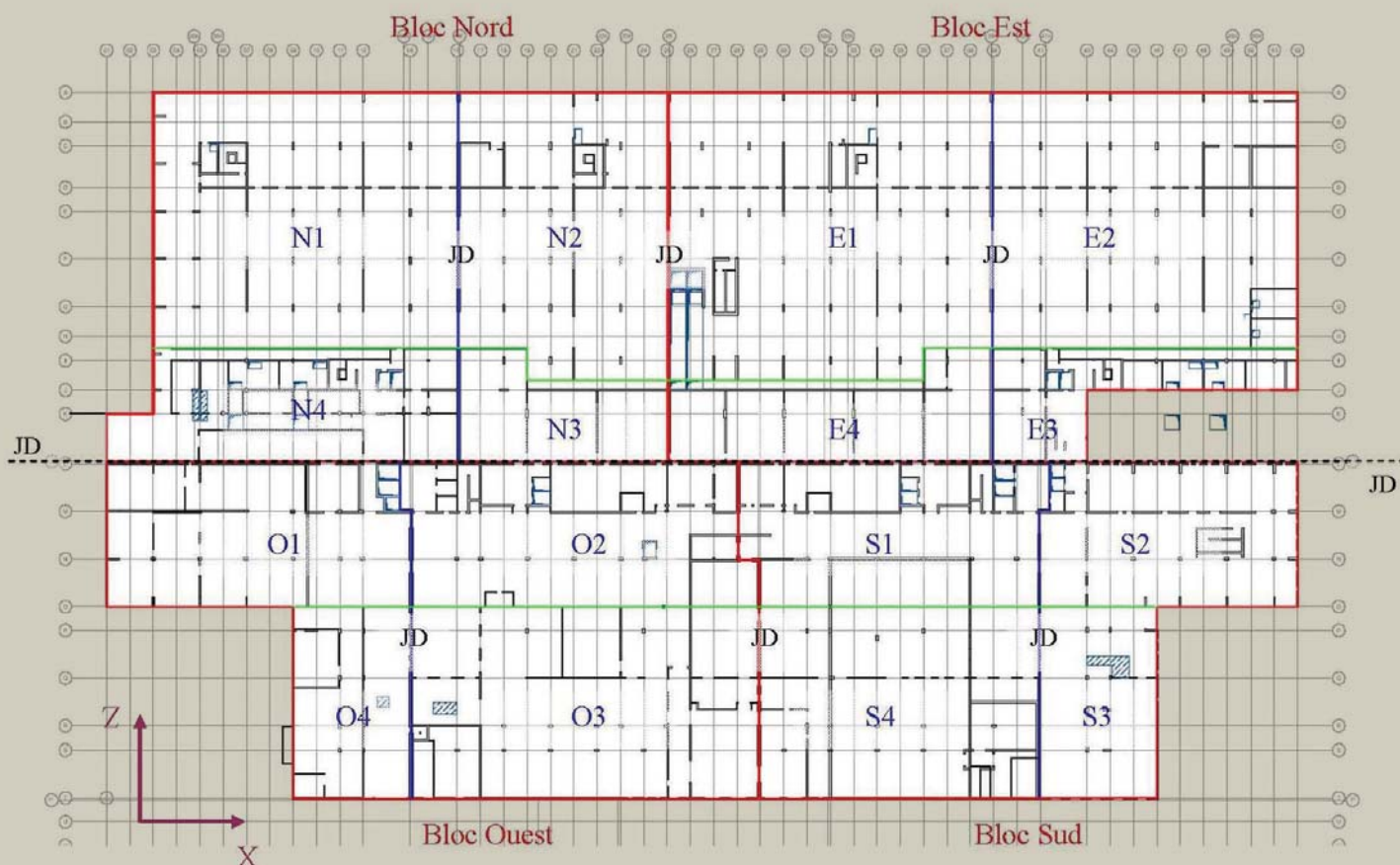
→ Une étude de projet G2 partielle, axée sur une solution de fondations par pieux et dallage sur terre plein, a été effectuée en août 2008 par le bureau d'études géotechniques Confluence.

L'ensemble de ces investigations a permis de mettre en évidence les horizons suivants :

→ De la terre végétale sur une épaisseur moyenne de 20 cm.

→ Des remblais divers formés d'une matrice argilo-graveleuse comportant des débris de végétaux, des planches

VUE EN PLAN DU DÉCOUPAGE STRUCTUREL EN BLOCS DU BÂTIMENT PRINCIPAL



de bois et autres déchets sur une épaisseur de 3,10 m à 4,50 m.

→ Des formations limoneuses superficielles d'épaisseur limitée à un mètre.

→ Des formations argilo-limoneuses, d'origine glacio-lacustre, à passées +/- caillouteuses de compacité moyenne à bonne. Cet horizon est constitué en quantité très variable de cailloux, voire de blocs de taille pluri décimétrique à pluri métrique. Des lentilles d'argile de faible consistance, ainsi que des lentilles sablo-graveleuses, sont également présentes. La répartition de ces lentilles est anarchique.

→ Un horizon compact caractérisé par une moraine argilo-caillouteuse ou une molasse gréseuse qui constitue le substratum géotechnique. Le toit de ce niveau a été identifié à des profondeurs variant de 6 m à 10 m par rapport au terrain naturel, avec un pendage orienté vers le Sud-Ouest, et a été reconnu jusqu'en fin de sondages à une profondeur maximale de 20 m.

Les campagnes de sondages ont mis en évidence les problématiques suivantes : présence d'alluvions argileuses compressibles sur des épaisseurs varia-

« **LES
CONTRAINTES
GÉNÉRÉES DANS
LES COLONNES
À MODULE
CONTRÔLÉ
DOIVENT
RESPECTER
LES LIMITATIONS
DU CAHIER
DES CHARGES** »

bles à l'échelle du projet et occurrence de blocs pouvant atteindre un diamètre plurimétrique.

Les trois faciès majoritairement représentés sur le site ont été caractérisés à partir de l'ensemble des sondages de reconnaissance (Tableau A).

LES CONTRAINTES SPÉCIFIQUES

*Enjeux des terrassements
et du drainage face au contexte
hydrogéologique*

Les travaux de terrassement se sont opérés au sein des formations argilo-limoneuses : le bâtiment se trouve en effet enterré jusqu'à 6,00 m environ dans le sol. La caractérisation piézométrique ainsi que la définition de la perméabilité de ces sols constituaient donc une étape indispensable.

Lors des études réalisées par le BET Conseil Archambault (missions d'étude géotechnique de projet ou G2 et supervision géotechnique d'exécution ou G4), le niveau piézométrique a été observé à faible profondeur sous le terrain naturel, avec un écoulement s'effectuant vers le Sud-Ouest (gradient hydraulique de 4 % suivant la pente générale du

terrain) : en septembre 2008, le niveau d'eau stabilisé se situait entre 0,5 et 1,5 m de profondeur par rapport au terrain naturel. Les perméabilités au sein du faciès argilo-limoneux sont très variables : les franges argileuses présentent une perméabilité moyenne de 1.10^{-7} m/s alors que les chenaux sablo-graveleux sont caractérisés par une perméabilité moyenne de 5.10^{-5} m/s, favorisant ainsi des écoulements préférentiels. Les perméabilités étant relativement faibles, les débits attendus et avérés en fond de fouille sont restés limités. Par contre, compte tenu de la saturation du faciès argilo-limoneux et de sa très forte sensibilité à l'eau, tout l'enjeu des travaux de terrassement résidait en une bonne gestion du drainage en vue d'assainir les plateformes de circulation et pour limiter la dégradation des caractéristiques mécaniques du sol argileux en place. Par ailleurs, pour assurer le fonctionnement de l'ouvrage en phase définitive sous le niveau d'eau et garantir la pérennité du sol d'assise, la mise en œuvre d'un tapis drainant sous le bâtiment a été retenue.

Au final, pour faire face à ces problématiques, un réseau dense de drains maillant l'ensemble du projet a été conçu.

Un hôpital en zone sismique

La commune de Contamine-sur-Arve est classée en zone sismique 1b (sismicité faible) d'après les décrets du 15 mars 1993 (J.O. du 20 mars 1993) et du 26 février 1997 (J.O. du 27 février 1997). L'ouvrage est quant à lui de classe D (accélération nominale = $2,5 \text{ m/s}^2$). Cette classe concerne les ouvrages et installations dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, la défense ou l'ordre public. En général, au sens de la protection parasismique, il n'est pas nécessaire d'assurer l'intégrité de l'ouvrage après séisme, sauf spécifications contraires du Maître d'Ouvrage, mais de garantir la protection des personnes.

La catégorie du sol est S_1 (sol de catégorie b d'épaisseur inférieure à 15 m) et localement, S_0 , dans le cas où l'horizon compact de bonne compacité est affleurant. Les formations sont par ailleurs identifiées comme non liquéfiables.

**CHOIX DU MODE DE
FONDATION SUR RADIER
AVEC RENFORCEMENT
DE SOL PAR INCLUSIONS
RIGIDES**

PROBLÉMATIQUES ET OBJECTIFS

L'analyse géotechnique de l'ouvrage principal fondé superficiellement sur ▷

TABLEAU A : SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉCANIQUES OBTENUES LORS DES INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES

Paramètre	Minimum	Maximum	Moyenne	Valeur caractéristique	Écart type	Nombre de valeurs
Formations argilo-limoneuses à passées +/- caillouteuses						
Pression limite P_1	0,36 MPa	1,87 MPa	0,81 MPa	0,73 MPa	± 0,33	45
Module pressiométrique E_m	2,0 MPa	17,7 MPa	8,1 MPa	7,1 MPa	± 4,09	45
Résistance dynamique q_d	1 MPa	≥ 10 MPa	-	-	-	-
Résistance de point q_c	1 MPa	≥ 10 MPa	-	-	-	-
Horizons morainiques compacts						
Pression limite P_1	1,87 MPa	6,28 MPa	≥ 4,21 MPa	≥ 3,94 MPa	-	28
Module pressiométrique E_m	10,6 MPa	1284 MPa	286 MPa	200 MPa	-	28
Résistance dynamique q_d	≥ 10 MPa	-	-	-	-	-
Résistance de point q_c	≥ 5 MPa	-	-	-	-	-
Horizons grès molassique compact						
Pression limite P_1	2,15 MPa	5,61 MPa	≥ 3,84 MPa	≥ 3,94 MPa	-	16
Module pressiométrique E_m	14,1 MPa	477 MPa	130 MPa	68,2 MPa	-	16
Résistance dynamique q_d	≥ 10 MPa	-	-	-	-	-
Résistance de point q_c	≥ 5 MPa	-	-	-	-	-

le sol en place a fait apparaître que la portance du sol est assurée, mais que les objectifs de tassements n'étaient pas atteints. Les contraintes liées au fonctionnement du bâtiment imposent en effet le respect de critères de tassements fixés à 15 mm en absolu et au 1/500 de la portée entre appuis en différentiel, sans toutefois dépasser 10 mm (règle de BAEI 91 article B5.2). Par ailleurs, la présence de blocs de tailles significatives identifiés dans le terrain a conduit à l'abandon d'une solution de type pieux pour plusieurs raisons :

→ En cas d'arrêt prématuré sur un bloc, la modification de l'implantation du pieu aurait amené à des adaptations dont l'impact sur la superstructure aurait

pu être important (longrines de redressement, doublement des pieux...); → Avec cette solution, les délais auraient été moins bien maîtrisés alors qu'ils constituent un enjeu financier majeur face aux engagements pris.

L'option renforcement de sol par inclusions rigides avec radier s'est alors présentée comme permettant de contrôler les tassements tout en apportant une souplesse d'adaptation plus large vis-à-vis du transfert des charges.

Ce choix présentait également l'avantage de répondre de manière globale aux problématiques de drainage en permettant entre autres l'adaptation du réseau d'inclusions à celui des drains. Pour un ouvrage de classe D à justifier en zone sismique, ce mode de fondation

4- Coupe de principe du renforcement de sol réalisé par Colonnes à Module Contrôlé.

5- Coupe type du complexe matelas de répartition / radier.

6- Modélisation 3D aux éléments finis d'une succession de poteaux.

4- Schematic cross section of soil reinforcement performed with Controlled Modulus Columns.

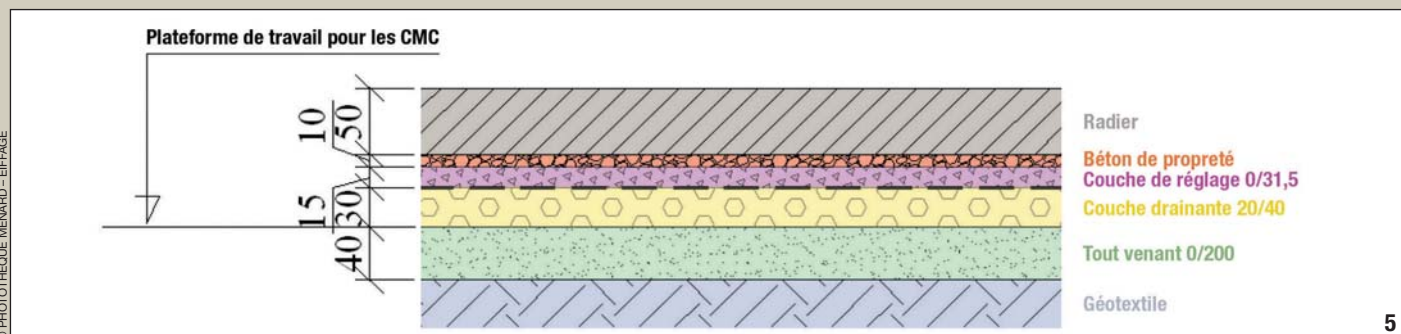
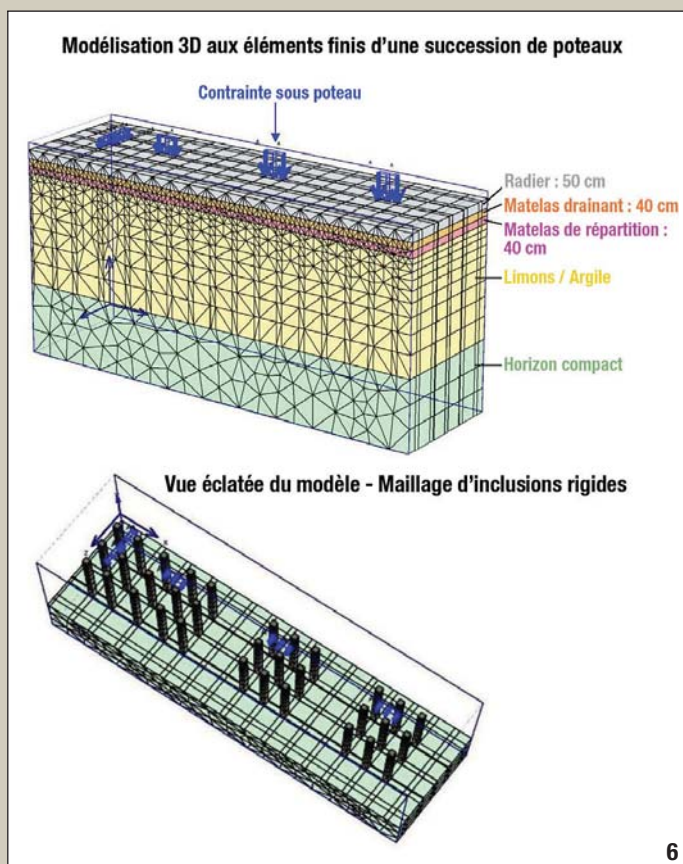
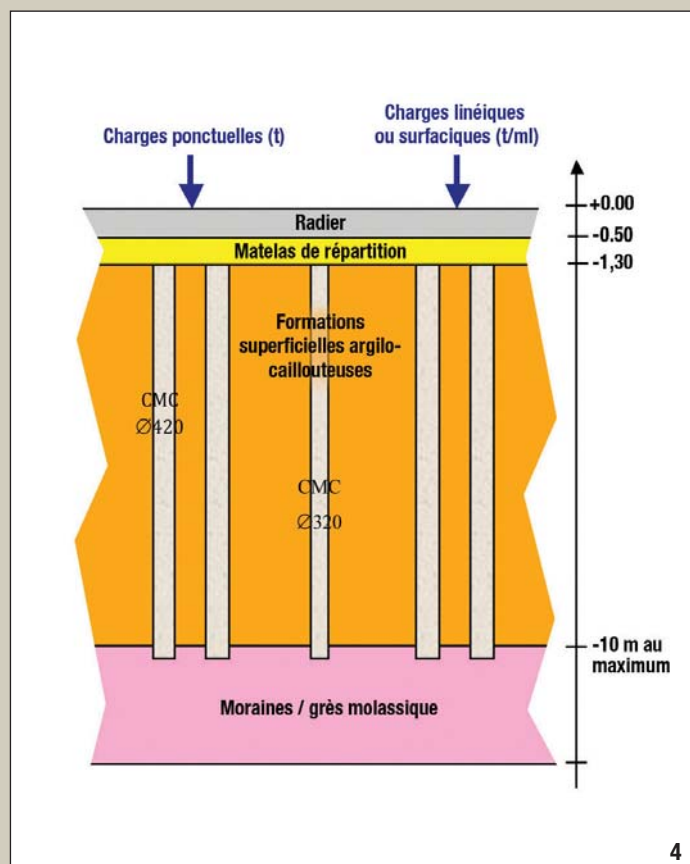
5- Typical cross section of the load distributing mattress/foundation raft system.

6- Finite element 3D modelling of a series of columns.

s'inscrit dans un contexte assez inédit en France. L'analyse de la pertinence de ce renforcement a bénéficié de l'expertise du bureau d'études Géodynamique & Structure, au travers de M. Alain Pecker. Il est rappelé que les inclusions rigides pour ce projet s'inscrivent dans une action de réduction des tassements uniquement, la portance étant assurée par le sol en place (même d'un point de vue sismique, il est démontré que la stabilité globale du bâtiment est vérifiée sans les inclusions rigides).

PRINCIPE DU RENFORCEMENT PAR INCLUSIONS RIGIDES MIS EN PLACE

La technique des Colonnes à Module Contrôlé (CMC) proposée par Ménard



© PHOTO THÉRIE MENARD - EIFFAGE

consiste à améliorer le sol de manière globale par la mise en place d'un réseau d'inclusions verticales semi-rigides (figure 4). À la différence de pieux devant supporter la totalité de l'ouvrage, ce type de renforcement vise à réduire le tassement total et différentiel en soulageant le sol d'une partie des charges.

Les inclusions rigides permettent ainsi de transférer une partie des charges de surface vers les couches de sol plus résistantes à travers le sol renforcé. La diffusion se fait par l'intermédiaire d'un matelas de répartition granulaire intercalé entre l'ouvrage et la tête des inclusions.

Le matelas mis en place pour ce projet a la particularité d'être constitué de plu-

sieurs couches (figure 5), ce qui permet d'apporter une double réponse face aux problématiques de diffusion des charges et de drainage :

→ La première couche vise d'une part des objectifs de portance pour constituer la plateforme de travail, et d'autre part assure l'assainissement et la pérennité du sol en place en phase travaux. Les CMC ont été réalisées une fois la première couche de matelas de répartition mise en place.

→ La deuxième couche a, outre des caractéristiques mécaniques, des propriétés drainantes et forme ainsi le tapis drainant sous le radier.

Dans le cadre de la validation de cette solution par le Contrôleur Technique SOCOTEC, les dispositions constructives

suivantes ont été suivies :

→ Le transfert des charges s'effectue par l'intermédiaire d'un radier général, puis au travers d'un matelas de répartition de 80 cm d'épaisseur minimum (complexe décrit en figure 5), avant de se répartir entre la tête des inclusions et le sol en place.

→ Les inclusions sont plus particulièrement concentrées sous les porteurs et un maillage général d'environ 3 x 3 m est appliqué en zone courante.

UNE APPROCHE CONJOINTE BET GÉOTECHNIQUE, BET STRUCTURE ET ENTREPRISE POUR LA JUSTIFICATION DES OUVRAGES

Une collaboration très étroite s'est établie entre le BET géotechnique d'Eiffage, les BET Structures Martin et Plantier, et l'entreprise Ménard pour proposer au Client un dimensionnement optimum du complexe sol amélioré par CMC – matelas de répartition – radier (épaisseur, ferrailage).

Elle a également favorisé une gestion rapide des adaptations requises en cas de modifications de la structure pouvant par exemple être liées à des demandes complémentaires du Client, ou nécessitées par des conditions de sols rencontrées différentes de celles envisagées.

Les Colonnes à Module Contrôlé sont dimensionnées, réalisées et contrôlées selon un cahier des charges particulier au procédé. Dans le cas de radiers dits « souples », le dimensionnement du radier est étroitement lié à l'amélioration de sol par CMC et à la disposition des inclusions.

Ainsi, la méthode retenue pour le dimensionnement des inclusions rigides est une modélisation aux éléments finis avec le logiciel Plaxis (2D et 3D) pour la prise en compte des interactions sol-structure en conditions statiques.

Elle permet à la fois de vérifier les critères de tassements et de déterminer les modules de réaction verticale statiques K_v [MPa/m]. Ce paramètre défini comme le rapport de la contrainte appliquée et du tassement permet aux BET structure de modéliser le comportement du sol lors du dimensionnement du ferrailage du radier.

Compte tenu du caractère ponctuel des charges (poteaux ou voiles) et du maillage non régulier des inclusions, les analyses 3D ont été indispensables (Plaxis 3D Foundation et Plaxis 3D Tunnel).

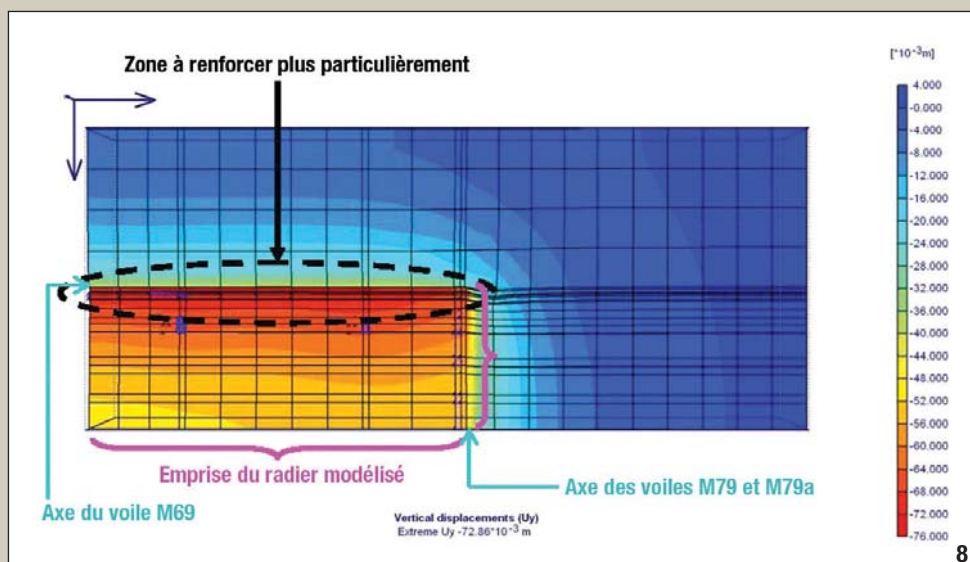
Ces modèles ont également permis de prendre en compte l'interaction qui

7- État de contraintes au droit d'une baïonnette.

8- Carte iso-valeur des tassements sans inclusion dans la configuration d'une extrémité de radier.

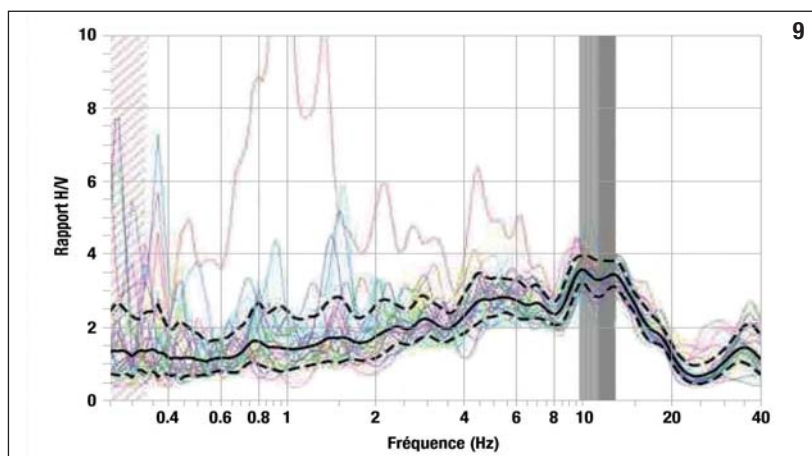
7- State of stress at the level of a column extension.

8- Iso-value map of subsidence without inclusions in the configuration of a foundation raft end.



TABEAU B : COUPE DE SOL RETENUE POUR L'ANALYSE SISMIQUE
LE PARAMÈTRE PRINCIPAL NÉCESSAIRE AUX ÉTUDES EN PETITES DÉFORMATIONS EST LE MODULE DE CISAILLEMENT ÉLASTIQUE NOTÉ G_{max} DU MATÉRIAU (LIÉ À LA VITESSE DE PROPAGATION DES ONDES DE CISAILLEMENT V_s PAR LA MASSE VOLUMIQUE DU MATÉRIAU).

Couche de forme	Cote relative (m)		G_{max} [MPa]
	Sommet	base	
Formations superficielles	0,0	-0,8	148
Morènes / grès molassiques	-0,8	-9	35
	-9	-20	1000



9- Exemple de courbe H/V moyenne (trait plein épais) et \pm un écart-type (trait pointillé épais) obtenue au point de mesure n°6 : $f_0=11,5\text{Hz}$ et $H=4,4\text{m}$ (d'après la fiche d'enregistrement des paramètres pour la CMC située au point de mesure), d'où $V_s \sim 200\text{m/s}$.

10- Vue aérienne de la zone Est du projet. En bas à droite de la photo se trouvent trois ateliers de CMC travaillant simultanément. En haut à droite, la deuxième partie du matelas de répartition est mise en place par La Forézienne. À gauche au centre, le béton de propreté a déjà été coulé, et en haut à gauche, le ferrailage du radier est en cours de mise en place.

9- Example of a mean H/V curve (thick solid line) and \pm a standard deviation (thick discontinuous line) obtained at measuring point 6: $f_0=11.5\text{Hz}$ and $H=4.4\text{m}$ (according to the parameter logging form for the CMC located at the measuring point), hence $V_s = \text{approx. } 200\text{ m/s}$.

10- Aerial view of the East zone of the project. In the bottom right-hand of the photo are three CMC plants working simultaneously. In the top right-hand, the second part of the load distributing mattress is placed by La Forézienne. At the left-hand centre, the blinding concrete has already been poured and, in the top left-hand, the foundation-raft reinforcing bars are being placed in position.

peut avoir lieu entre des zones d'appui proches : par exemple une succession de poteaux (figure 6) ou des voiles qui se rencontrent.

Ce type de calculs par « bandes de chargement » permet une meilleure estimation des tassements absolus et différentiels, mais aussi d'examiner l'évolution des modules de réaction verticale en différents points du radier (zones courantes et de chargement). Les modélisations réalisées ont ainsi permis de définir une disposition de CMC au droit de chaque appui isolé et voile ainsi qu'en zone de circulation. Les caractéristiques mécaniques retenues en petites déformations pour les sols sont définies dans le tableau B. Les lois de comportement ont été adaptées à chacun des matériaux : un comportement élastique pour les radiers, CMC et voile ; une loi élasto-plastique avec critère de type Mohr-Coulomb pour le matelas de répartition ; ainsi qu'une loi de comportement élasto-plastique prenant en compte l'écroutissement du matériau pour les formations argileuses limoneuses et le substratum géotechnique.

Par ailleurs, une analyse interactive entre les différents intervenants s'est mise en place par calages et comparaisons itératifs entre les modèles aux éléments finis et ceux des bureaux d'études structure (calculs sous EFFEL 3D). L'aboutissement de ce travail est l'établissement d'une carte iso-valeur des modules de réaction verticale statiques intégrée dans les calculs de structure.

GESTION DES CAS DE CHARGE PARTICULIERS

Au sein du Bâtiment Principal, quatre types de cas singuliers ont été identifiés et ont demandé des études spécifiques. Ceci a conduit à des adaptations et/ou dispositions constructives particulières au droit de ces points.

→ Une partie du vide sanitaire du bloc O1-O4 (figure 3) est directement fondé sur l'horizon compact compte tenu du niveau bas du radier et de la remontée du substratum dans cette zone.

Une zone de transition avec la partie renforcée par inclusions rigides a donc été définie pour accompagner au mieux les déplacements :

- au-dessous d'une longueur d'inclusions de 1.00 m, une substitution est réalisée jusqu'à l'horizon compact ;
- la zone de transition s'effectue ensuite avec la remontée du matelas de substitution et la réalisation des inclusions rigides au travers ;



11a- Essai à la plaque.

11b- Essai de chargement à 68 tonnes sur une colonne à module contrôlé de diamètre 420 mm.



11a- Plate test.

11b- 68-tonne loading test on a Controlled Modulus Column of diameter 420 mm.

- ensuite, le schéma classique du matelas de répartition de 80 cm d'épaisseur minimum et des inclusions rigides sous-jacentes est retrouvé.

→ Au droit des changements de niveaux de radier (baïonnettes), la diffusion des contraintes est modifiée : les contraintes principales pivotent (figure 7). Une partie des sollicitations est à reprendre en amont de la baïonnette. Ceci induit donc la présence d'inclusions rigides en amont de la baïonnette.

→ Aux extrémités de radier, la diffusion des contraintes au travers du radier est tronquée, ce qui induit une concentration de charges plus importante directement sous les voiles. Il se dessine alors clairement une zone de renforcement à privilégier (figure 8). En dehors de l'emprise du radier, les tassements chutent brutalement. Il apparaît donc important de concentrer les inclusions de renforcement sous les voiles périphériques et de ne pas trop les éloigner de l'axe de chargement.

Le problème est d'autant plus amplifié s'il n'existe pas de débord de radier.

→ Au droit des joints de dilatation (JD), la problématique est double puisque l'on retrouve une configuration d'extrémité de radier avec en supplément une forte interaction entre les charges appliquées de part et d'autre du JD. Les colonnes rigides sont alors à placer judicieusement entre l'axe du JD et l'axe des voiles. Au-delà d'une certaine contrainte, il a été remarqué que l'ajout d'inclusions ne permettait pas la

réduction du tassement : un effet de groupe se crée.

Par ailleurs, la contrainte est telle que le matelas est plastifié, ce qui engendre de fortes déformations.

Au droit de certains JD fortement chargés, un matelas traité en grave ciment a été mis en œuvre et a permis de respecter les critères de tassements fixés.

JUSTIFICATION DU MODE DE RENFORCEMENT DES SOLS EN ZONE SISMIQUE

Le canton de Bonneville est classé en zone de sismicité faible dite « Ib » dans le zonage sismique de la France : les règles de construction parasismique (Règles PS92 – norme NF P 06-013) s'appliquent au projet. Leur prise en compte nécessite un dimensionnement spécifique des fondations et de la superstructure qui est fonction du type de construction (classe de l'ouvrage) et du contexte géotechnique rencontré (classification en sites).

PREMIER ASPECT FONDAMENTAL POUR LE DIMENSIONNEMENT DE RENFORCEMENT DE SOL EN ZONE SISMIQUE : LA DÉFINITION D'UNE COUPE DE SOL REPRÉSENTATIVE

Pour ce projet, les caractéristiques des sols en petites déformations ont été définies au stade des études en se fondant sur l'expérience et sur des hypothèses classiques (Tableau B). Elles ont été affinées dans un second temps suite à des mesures in-situ.

Nécessité d'une classification sans ambiguïté du site au sens des règles de construction parasismiques PS92.

Au vu des résultats de l'étude géotechnique, le site a été classé S_1 au sens du PS92 (moins de 15 m de sols cohérents de catégorie b).

Cependant, les caractéristiques retenues pour l'analyse en petites déformations ($G_{max}=35$ MPa pour les formations superficielles, soit $V_s=130$ m/s) définiraient un sol de catégorie c, et un site S_2 .

Cette différence de classification du site a des conséquences importantes : les autres paramètres étant égaux par ailleurs, un dimensionnement des CMC sur un site S_2 est plus contraignant. Étant à la frontière des catégories b et c ($V_s=150$ m/s), Ménard a estimé qu'une mesure in-situ de la vitesse des ondes de cisaillement pouvait apporter une analyse plus fine de la justification de ses inclusions.



12a

**12a et 12b-
Exemple de
blocs mis à
jour lors des
travaux de
terrassement.**



12b

**12a et 12b-
Exemple
of blocks
uncovered
during
earthworks.**

ment mesurée de 200 m/s, le site est bien classé S₁ (moins de 15 m de sols cohérents de catégorie b).

Il y a donc cohérence avec la classification du site faite à partir de l'étude géotechnique.

Les caractéristiques du sol en petites déformations étant fixées, l'objectif de l'analyse sismique est de déterminer le torseur d'effort appliqué sur chaque CMC, et de vérifier que les contraintes générées dans les CMC respectent les limitations du cahier des charges du procédé.

SECOND ASPECT DU DIMENSIONNEMENT DU RENFORCEMENT DE SOL EN ZONE SISMIQUE : LA VÉRIFICATION QUE LES CONTRAINTES GÉNÉRÉES DANS LES CMC RESPECTENT LES LIMITATIONS DU CAHIER DES CHARGES

Pour la justification de ses inclusions rigides, Ménard retient une méthode consistant à sommer le déplacement du sol en champs libre et du champ de déformation du sol généré par l'effort d'inertie horizontale de la structure.

Ce qui permet de déterminer le déplacement en tête des CMC.

Ce dernier permet de déterminer le torseur des efforts (M, N et T) appliqué sur chaque CMC, puis les contraintes normales et de cisaillement générées dans les inclusions. Ces contraintes doivent respecter les limitations du matériau CMC pour les différentes combinaisons de charge.

LE DÉROULEMENT D'UN CHANTIER HORS DU COMMUN

LE PROJET D'AMÉLIORATION DE SOL EN QUELQUES CHIFFRES

Eiffage a souhaité apporter les garanties nécessaires au contrôle des tassements pour le bâtiment principal du CHIAB ainsi que pour la Crèche, le Pôle Energie et la dalle Urgences.

C'est ainsi que 24 000 m² de surface dont 20 000 m² de radier dont les sols ont été améliorés par CMC par la société Ménard.

MOYENS MIS EN ŒUVRE POUR LES TERRASSEMENTS ET L'AMÉLIORATION DE SOL

Des moyens matériels et humains très importants ont été mis en œuvre par les Entreprises La Forézienne pour la partie terrassement et Ménard pour l'amélioration de sol (photo 10).

Uniquement pour la partie renforcement

Mesure in-situ de la vitesse des ondes de cisaillement V_s

La géologie du site étant bien définie (lithologie et épaisseur de recouvrement) et le contexte s'y prêtant, Ménard a pris le parti d'utiliser une des nouvelles méthodes de mesure de la vitesse des ondes de cisaillement V_s citées par Semblat et Pecker [1].

Des mesures de fond ont été réalisées mais pour une application différente de celle qui est habituellement utilisée : nous cherchons ici à mesurer

la vitesse des ondes de cisaillement V_s, l'épaisseur de la couche compressible étant connue. Par ailleurs, ce qui a conduit Ménard à retenir cette méthode est la recherche de la caractérisation des propriétés des sols avant et après travaux d'amélioration (Brûlé, Javelaud et al [2]).

Une campagne de mesures de bruit de fond a été réalisée, et la méthode H/V dite de Nakamura [3] mise en œuvre : la vitesse de propagation des ondes de cisaillement V_s est détermi-

née à partir de la mesure expérimentale de la fréquence d'amplification fo du site. Dans le cas de ce projet, V_s = 4.H.f_o ~ 200m/s, où H est l'épaisseur de la formation superficielle (voir l'exemple de mesure figure 9).

La campagne de reconnaissance précise du site a montré tout son intérêt car nous avons pu constater la sensibilité de la méthode à la variation d'épaisseur de matériaux compressibles.

Au sens du PS92 et en prenant en compte la vitesse des ondes de cisaille-

de sol, jusqu'à trois ateliers de CMC ont été mobilisés.

L'ensemble des terrassements ainsi que les quelques 4500 CMC ont été réalisés en un temps record, malgré les conditions météorologiques difficiles des premiers mois de l'année 2009, et des contraintes de co-activité très strictes.

CONTRÔLE QUALITÉ DU MATELAS DE RÉPARTITION ET DES INCLUSIONS RIGIDES

La réalisation de l'amélioration de sol a fait l'objet de contrôles permanents dans le cadre des plans d'assurance qualité des entreprises : contrôles de la qualité et du compactage du matériau pour la partie terrassement (photo 11a), contrôles de la profondeur des CMC et de leurs profils grâce aux enregistrements de paramètres, ainsi que vérification de l'implantation des colonnes et de la qualité du mortier utilisé.

De plus, de nombreux essais (photo 11b) de chargement ont servi de tests grandeur réelle, permettant de s'assurer de la conformité des formations traversées à l'étude géotechnique et de la bonne réalisation des CMC.

Les enregistrements de paramètres de forage des CMC ont été analysés de manière croisée par le BET Eiffage en charge de la conception et du suivi d'exécution (étude géotechnique de projet G2 et supervision géotechnique G4).

ADAPTATIONS DU RENFORCEMENT SELON LA GÉOLOGIE RENCONTRÉE À L'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Les travaux de renforcement de sol ont été adaptés à l'avancement suivant la

géologie rencontrée. Une des particularités de l'amélioration de sol par inclusions rigides est de pouvoir composer avec des contextes difficiles : présence de blocs dans le sol ; épaisseur de la zone à traiter susceptible de diverger des épaisseurs prévues. Le programme de réalisation des CMC a été adapté à l'avancement suivant les difficultés rencontrées.

Présence de blocs

La formation superficielle renforcée est décrite dans les rapports géotechniques comme contenant des blocs.

Ceux-ci ont en partie été découverts lors des travaux de terrassement (photos 12a et 12b).

D'autres ont conduit à des refus prématurés des ateliers de forage, ce qui a systématiquement nécessité une adaptation du maillage des CMC : les objectifs définis en termes de tassements n'ont pas été affectés.

Longueurs des Colonnes à Module Contrôlé

Au cours des travaux, les CMC ont toujours été ancrées au sein du substratum géotechnique. La longueur des inclusions a été en permanence adaptée pour faire face aux écarts (remontée du substratum, approfondissement local) rencontrés.

CONCLUSIONS

Dans un contexte hydrogéotechnique sensible et pour un projet cherchant une intégration paysagère, la collaboration entre les différents acteurs (les bureaux d'études, entreprises, gros œuvre et terrassier) a montré son efficacité, notamment dans l'adaptation du phasage des travaux à l'avancement, dans la recherche d'optimisation des

ouvrages à l'interface sol-structure ainsi que dans les situations nécessitant de prendre en compte plusieurs contraintes comme le drainage.

La technique d'amélioration de sol par CMC a pleinement montré son avantage pour ce type de projet d'aménagement : ajustement des longueurs des inclusions pour la recherche systématique d'un sol d'ancrage, mais aussi lors de la présence de blocs métriques.

La mise en œuvre de cette technique dans le cadre d'opération complexe requiert néanmoins une expertise particulière vis-à-vis de la conception et du suivi d'exécution. □

[Bibliographie]

[1] J.F. Semblat, A. Pecker (2009). Waves and Vibrations in Soils: Earthquakes, Traffic, Shocks, Construction works. IJSS Press.

[2] Brule S., Javelaud E.H., Ohmachi T., Nakamura Y. and S. Inoue. H/V method used to qualify the modification of dynamic soil characteristics due to ground improvement work by means of heavy compaction process. A case study: the former Givors's glass factory area. Soumis à la 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering and 5th International Conference on Earthquake Engineering, 3-5 mars 2010, Japon.

[3] Nakamura, Y. (1989), « A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface », Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

BAILLEUR (PERSONNE PUBLIQUE) :

Centre Hospitalier, Intercommunal Annemasse, Bonneville

MAÎTRE D'OUVRAGE :

HANVOL SAS (société créée par Eiffage et dédiée au projet du CHIAB)

CONCEPTION-RÉALISATION :

Eiffage Construction RA

Eiffage Travaux Publics RAA - Forézienne

Eiffage Travaux Publics - BET Géotechnique

Archambault Conseil

Forclum

Groupe 6 Architectes

OPÉRATEUR EXPLOITATION-MAINTENANCE :

Forclum Exploitation & Services

ENTREPRISE D'AMÉLIORATION DE SOL : Ménard

BUREAU DE CONTRÔLE : Socotec

BUREAUX D'ÉTUDE DE STRUCTURES : BE Martin et BE Plantier

ABSTRACT

THE NEW ANNEMASSE ET BONNEVILLE HOSPITAL CENTRE (CHIAB) IN THE HAUTE- SAVOIE REGION: AN EXCEPTIONAL SOIL REINFORCEMENT PROJECT

STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD - EMMANUEL JAVELAUD, MÉNARD - OLIVIER PAL, EIFFAGE - ANNE-VÉRONIQUE RIZZO, EIFFAGE - ELODIE BRUNET-MANQUAT, EIFFAGE

The Intercommunal Hospital Centre of Annemasse-Bonneville (CHIAB) is being equipped with a new hospital in the Contamine-sur-Arve district. The project is being carried out under a Public-Private Partnership (PPP) arrangement, made possible by the so-called "Ordonnance Santé" order of 4 September 2003 for the healthcare sector and taking the concrete form of an emphyteutic hospital lease over a period of about 30 years. The CHIAB awarded a contract for financing, design, construction and part of the technical operation of the building to the EIFFAGE group, which organised a consortium of financiers, designers, constructors, operators and maintenance providers. The new hospital is scheduled for opening in 2012. □

EL NUEVO CENTRO HOSPITALARIO DE ANNEMASSE Y BONNEVILLE (CHIAB) EN ALTA SABOYA: UN EXTRAORDINARIO PROYECTO DE CONSOLIDACIÓN DE SUELO

STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD - EMMANUEL JAVELAUD, MÉNARD - OLIVIER PAL, EIFFAGE - ANNE-VÉRONIQUE RIZZO, EIFFAGE - ELODIE BRUNET-MANQUAT, EIFFAGE

El Centro Hospitalario Intermunicipal de Annemasse-Bonneville (CHIAB) se dota de un nuevo Hospital en el municipio de Contamine-sur-Arve. El proyecto se ejecuta en el marco de un procedimiento de Asociación Público Privado (APP), que ha sido posible por la orden ministerial del 4 de septiembre de 2003 denominada "Orden Ministerial Salud" y que se concretiza por un arrendamiento enfiteutic hospitalario (AEH) para una duración de unos 30 años. El CHIAB encargó la financiación, el establecimiento del concepto, la construcción y una parte de la explotación técnica del edificio al Grupo EIFFAGE que ha definido un consorcio para el financiamiento, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento. La apertura del nuevo hospital se vislumbra para 2012. □