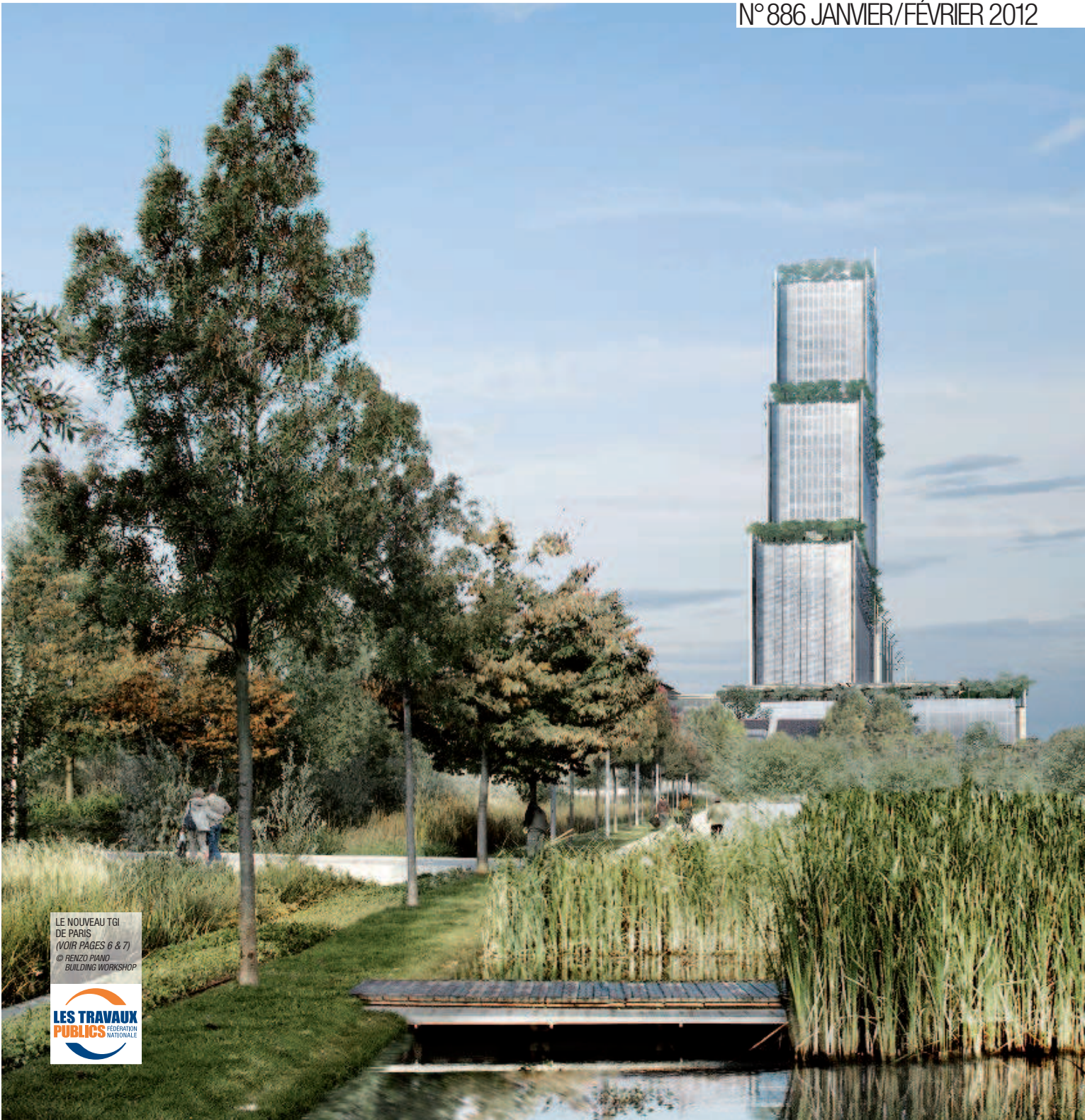


# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**VILLE DURABLE – ENERGIE – URBANISME.** DE LA VILLE QUI SEPRE A LA VILLE QUI INTEGRE. RECONVERSION D'UNE FRICHE. GESTION DES NUISANCES SONORES. TRAITEMENT DES EAUX DE CHANTIERS. BATIMENTS, TRANSPORTS, BIODIVERSITE. PIEUX ENERGETIQUES. L'AVENIR DES EOLIENNES OFFSHORE. TUNNEL ET PUIXS CONTRE LES INONDATIONS. LE PONT JEANNE-D'ARC. LA MAISON DES TP. CONFORT D'AUJOURD'HUI DANS LE RESPECT DU PATRIMOINE.

N° 886 JANVIER/FÉVRIER 2012



LE NOUVEAU TGI  
DE PARIS  
(VOIR PAGES 6 & 7)  
© RENZO PIANO  
BUILDING WORKSHOP





Directeur de la publication  
Patrick Bernasconi

Directrice déléguée  
Rédactrice en chef

Mona Mottot  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03  
Email : mottotm@fntp.fr

Comité de pilotage

Laurent Boutillon (Vinci Construction Grands Projets), Jean-Bernard Datry (Setec TPI), Stéphane Monleau (Solélanche Bachy), Louis Marracci (Bouygues), Jacques Robert (Arcadis ESG), Anne-Sophie Royer (Vinci Construction Grands Projets), Claude Servant (Eiffage TP), Philippe Vion (Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel Duviard (Egis), Florent Imbert (Razel), Mona Mottot (FNTF)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction

Monique Trancart, Marc Montagnon  
Secrétariat de rédaction  
Frédéric Faure

Service Abonnement et Vente  
Com et Com

Service Abonnement TRAVAUX  
Bât. Copernic - 20 av. Édouard 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.fr

France (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)

Publicité

Régie Publicité Industrielle

Christophe Bouthérin  
9, bd Mendès France  
77600 Bussy-Saint-Georges  
Tél. : +33 (0)1 60 94 22 27  
Email : boutherin@rpi.fr

Site internet : [www.revue-travaux.com](http://www.revue-travaux.com)

Réalisation et impression

Com'1 évidence

8, rue Jean Goujon - 75008 Paris  
Tél. : +33 (0)2 32 32 03 52  
Email : contact@com1evidence.com

La 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).

Éditions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0116 T 80259  
ISSN 0041-1906

## LA VILLE DE DEMAIN SE DOIT D'ÊTRE UNE VILLE DURABLE



© DR

Au-delà des effets de mode, des bonnes intentions, il nous revient de répondre à cette formidable mutation, certes difficile, de notre système économique et social. Celui-ci ne trouve plus aujourd'hui d'issue car il a trop longtemps reposé sur un développement avec une énergie abondante et à bon marché. Ce temps est révolu.

Il nous faut inventer autre chose, il nous faut construire, il nous faut réconcilier l'économie, le social et l'environnement. Comme la gestation incertaine de la philosophie des Lumières au 18<sup>e</sup> siècle, ce projet porte un nom riche de perspectives : le développement durable.

C'est une formidable perspective que d'oser rêver à une planète remise en état. Nous en avons les moyens : humains, scientifiques et techniques.

Le Grenelle de l'Environnement en 2007 en a posé les jalons. Dans le domaine du BTP, pour ne citer que lui, il a su fixer des objectifs clairs : favoriser un urbanisme économe en ressources foncières et énergétiques. Le secteur de la construction est ainsi engagé à effectuer une rupture technologique dans le neuf et accélérer la rénovation du parc ancien. Le but est notamment de réduire en ce domaine les consommations d'énergie de 38 %, de généraliser les constructions BBC et de rénover 400 000 logements par an à compter de 2013. Tout n'est pas réalisé certes, tant s'en faut et tant la tâche est grande, mais le principe demeure acté.

L'État a fixé le cap, venant accompagner des initiatives fortes lancées par les collectivités locales.

C'est ainsi que la Ville d'Orléans s'est investie très activement dans le développement durable par des réalisations concrètes : un audit énergétique de ses bâtiments, un bilan carbone, un plan climat, une charte de l'arbre en ville mais aussi une deuxième ligne de tramway, un projet d'écoquartier, un futur PLU devant concilier densification raisonnable et trames vertes...

Notre objectif est là aussi très clair : diminuer de 20 % nos émissions locales de GES d'ici 2020 pour atteindre le facteur 4 en 2050.

J'aimerais conclure en citant deux exemples concrets liant le développement durable et l'amélioration significative de la qualité de vie quotidienne des Orléanais. Car, au-delà des bonnes intentions, les réalisations sont possibles lorsque la volonté politique est manifeste, sans équivoque.

La Ville d'Orléans développe en effet, via ses concessionnaires de réseaux de chaleur, un chauffage urbain par biomasse. Ce projet va permettre une diminution à terme de 87 000 teCO<sub>2</sub> – soit -79 % d'émission de GES sur le bilan carbone de la Ville – tout en assurant la provenance du bois dans un rayon de 100 kilomètres. Il engendrera une baisse de 11,8 % de la part énergie de la tarification du chauffage.

Dans le domaine de l'eau potable, Orléans a diminué de 6,5 % la quantité d'eau prélevée sur son territoire entre 2009 et 2010, a baissé de 11 % sa consommation globale d'eau depuis 2005 et de 20 % ses traitements chimiques. La nouvelle délégation de service public engendre, quant à elle, un suivi en temps réel par télérelève sur tous les compteurs d'eau d'ici 3 ans, le doublement prévu du rythme de renouvellement des réseaux d'eau potable et surtout des tarifs globalement moins chers, de l'ordre de -35 % pour 80 % des abonnés, et progressifs selon les volumes d'eau consommée.

Le développement durable est la seule alternative crédible et possible pour rembourser notre « dette écologique » et redonner à la France sa place de leader. J'en suis convaincu.

Nous en avons collectivement la responsabilité. Soyons en aussi individuellement les acteurs.

**SERGE GROUARD**  
DÉPUTÉ DU LOIRET  
MAIRE D'ORLÉANS

# LES VILLES DU FUTUR, ENTRE SOLUTIONS LOCALES ET APPROCHES SYSTÉMIQUES

DE NOS JOURS, LE DÉVELOPPEMENT URBAIN A PRIS UNE AMPLIEUR TELLE QU'IL SUSCITE LES INTERROGATIONS LES PLUS DIVERSES, NOMBRE DE RÉFLEXIONS CONTRADICTOIRES ET SCÉNARIOS TENDANCIELS, PARFOIS CONTRASTÉS ET BIEN SOUVENT UTOPIQUES.

ENTRETIEN AVEC VINCENT BECUE, DOYEN DE LA FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME À L'UNIVERSITÉ DE MONS (BELGIQUE). PROPOS RECUELLIS PAR MONA MOTTOT



© DR

Doyen de la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, **Vincent Becue** est architecte et enseignant chercheur à l'École des Ingénieurs de la Ville de Paris où il était responsable du Pôle espace public - aménagement. Il a effectué une thèse sur l'évaluation de la mixité des fonctions urbaines dans les projets d'aménagement et ses thématiques de recherche se concentrent sur la multifonctionnalité des espaces dans le cadre de la ville durable.

**Avec quels moyens et de quelle manière intégrez-vous le développement durable à vos projets et recherches d'architecture et d'urbanisme ?**

La compétence propre de l'architecture et de l'aménagement urbain, autrement dit la conception et l'usage de l'espace, est directement concernée par l'exigence du développement durable. Elle implique que l'on tienne compte des effets à long terme des diverses affectations spatiales sur

**LES VILLES ONT-ELLES ENCORE UN AVENIR ? QUELLES SONT LES RÉFLEXIONS QUE CETTE QUESTION SUSCITE ? QUELS SONT LES ENJEUX ET LES DIFFICULTÉS MAJEURES POUR CONCEVOIR ET FABRIQUER LA VILLE DE DEMAIN ?**

le territoire. Intégrer le développement durable dans nos projets et nos recherches n'est donc plus une question, c'est une évidence.

À ce sujet, nous devons, bien entendu, aborder l'ensemble des aspects techniques même si les bonnes pratiques et les formes de conseil « technique » sont aujourd'hui limitées par une sectorisation forte que déterminent les spécialisations : énergie, matériaux, transports, environnement... Elles mettent en jeu des expertises verticalisées et insuffisamment connectées qui ne prennent pas en compte l'interdépendance des éléments, des relations, et des actions de transformation constituant un espace de qualité. À cette fin, nos méthodes sont axées sur le PROJET dans toutes ses échelles spatiales et temporelles et requièrent, par conséquent, une **vision globale, systémique et transversale** des composantes de la ville.

En effet, il est important de souligner que ces méthodes de recherche basées sur le projet sont une

innovation. Nous pouvons regretter que, dans beaucoup de travaux de recherche sur la ville durable, nous essayons de transposer des méthodologies et leurs applications sur le terrain se font en fin de processus de recherche. Or, il est, je pense, impossible de transposer un « bon projet » car tous les contextes sont totalement différents. Je suis assez critique sur l'ensemble des certifications « principalement énergétiques » car ce n'est pas en réalisant un grand nombre de bâtiments performants voire d'éco-quartiers que nous ferons du développement durable. La ville « éco-quartiériste » propose des solutions stéréotypées qui ne sauraient s'appliquer à la ville et encore moins à la ville existante. Il convient plutôt d'adapter cette dernière, et c'est sa capacité d'adaptation qui permettra d'intégrer les grands enjeux du développement durable.

Pour ma part, un bon projet est avant tout une question bien posée sur un territoire bien compris ; c'est pourquoi



l'intelligence territoriale avec ses aspects en ingénierie urbaine permet de comprendre les grands enjeux de la ville dans toutes ses composantes techniques.

Mais il serait utopique de considérer que la question du développement durable ne se réduit qu'aux aspects techniques de la ville. La démarche de projets et de recherche sollicite la **complémentarité des disciplines** et de leurs postures méthodologiques notamment à l'égard des sciences de l'homme et de la société.

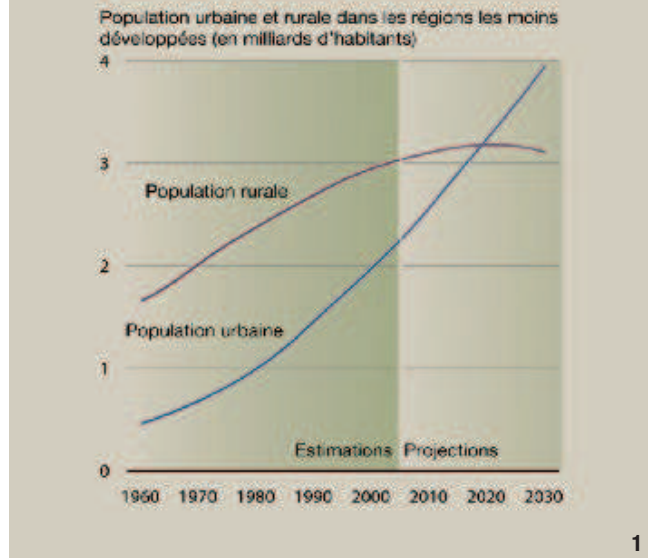
Nous nous intéressons également aux qualités d'usage, aux perceptions, aux comforts, aux nouvelles formes d'habiter les villages, les villes et les paysages afin de contribuer à l'évolution et à l'innovation des pratiques de l'aménagement pour un espace de qualité. Notre but est d'atteindre un **nouvel équilibre** entre ces nombreuses disciplines. C'est pourquoi, nous parlons de **solutions locales** qui se basent sur la connaissance du contexte et d'**approches systémiques pour appréhender la complexité**.

**Au cours des trente dernières années, les villes se sont développées selon le schéma de l'étalement urbain. Comment devancer ce gaspillage d'espace ? Comment prendre en compte les besoins des citoyens tout en respectant le développement durable ?**

Les villes se sont en effet expansées du centre vers la périphérie le long des grands axes routiers.

Cet étalement est lié au phénomène de désurbanisation et s'est traduit par

## LA POPULATION TOTALE VIVANT EN VILLE DOIT DOUBLER DANS LES 30 PROCHAINES ANNÉES



**1- La population totale vivant en ville doit doubler dans les 30 prochaines années.**

**2- Exemple d'étalement urbain.**

**3- L'étalement urbain en France - Vue satellite de nuit.**

le développement de banlieues et de zones périphériques plus lointaines au détriment des villes centres avec des intensités variables selon les périodes. La ville périphérique s'étend sans que nous ne puissions ni l'appréhender, ni la maîtriser ; on essaie de lui surimposer des formes, des alignements, de la densité afin de la structurer. Ces deux constats portent matière à réflexion. Le développement des zones urbaines sur la planète, où l'espace est devenu une ressource de plus en plus rare, avec de forts déséquilibres sociaux et des destructions environnementales élevées, nécessite

de guider l'évolution des systèmes urbains complexes tout en répondant aux enjeux du développement durable.

L'année 2007 a été une année cruciale : 50 % de la population mondiale vit désormais en milieu urbain (UN-Habitat, 2007). Ce palier atteint, il est attendu que la population totale vivant en ville double dans les 30 prochaines années (United Nations, 2006) - (figure 1). Ce taux de croissance équivaut à la construction d'une nouvelle ville d'un million d'habitants par semaine dans les 40 prochaines années (www.floodresiliencgroup.org, 2009). Cette croissance exponentielle pose à elle seule les enjeux liés à la maîtrise des risques et à l'étalement urbain. Or, cette urbanisation rapide s'accompagne, au mieux, d'incertitudes liées au changement climatique annoncé. Ce changement climatique, combiné à la concentration des biens et des personnes en milieu urbain, laisse présager des événements dévastateurs pour les années à venir. À titre d'exemple, le risque d'inondation devrait augmenter de manière significative : le coût économique de ce risque devrait atteindre dans le monde la valeur de 100 milliards d'euros par an à la fin du siècle (European Environment Agency, 2008). Environ 75 % de ces dommages seraient recensés en milieu urbain (COST22, 2008).

**Quel est le modèle de ville le plus courant aujourd'hui et comment évolue-t-il ?**

Force est de constater que dans l'analyse de la ville dans le temps, nous vivons un changement de modèle ; je pense que, pour le futur, le mot « modèle » est, en effet, important car nous avons besoin de villes laboratoires tels que les urbanlab, livinglab... L'exemple de Le Corbusier, avec son modèle de cité radieuse a été énormément reproduit, et est toujours en production, malgré les échecs que l'on connaît et notamment en périphérie des villes. Lorsque nous analysons de manière plus précise la ville dans le temps, nous pouvons remarquer qu'entre les utopies, les théories et les réalisations s'écoulent plus de cinquante ans. Le choix ou le non choix d'urbanisme aujourd'hui produira ses effets dans un demi-siècle. Le sujet de la ville du futur ne se retrouve pas au cœur des débats car le temps de la ville n'est pas le temps du politique.





De nos jours, l'économie post-for-dienne modifie la forme et l'organisation de l'espace et met, au centre du développement, une articulation importante entre fonctions immatérielles et matérielles ; la ville devient ainsi de plus en plus réticulaire et se déterritorialise. Ses activités se morcellent, se répartissent sur l'ensemble de l'espace mondial et se connectent par les réseaux qui ne cessent de se développer. L'histoire de la ville est directement liée à une accumulation de formes successives perçues de diverses manières, en fonction de l'évolution urbaine.

Parallèlement l'ère numérique et l'ère écologique marquent une rupture majeure que tous les acteurs (publics et privés) devront progressivement anticiper à mesure que se feront plus certaines les menaces liées aux changements climatiques et à la raréfaction des ressources fossiles.

**Le futur de la planète dépend donc du mariage des technologies vertes et numériques :**

les technologies de communication peuvent apporter des solutions à bien des problèmes écologiques, dans la mesure où, entre autre, elles permettent d'économiser des transports et d'optimiser l'usage de l'énergie.

**À quoi ressemble la ville actuelle ? Quel est son problème majeur ?**

D'après Rem Koolhaas, la ville que l'on a aujourd'hui, la ville avec laquelle il faut se débrouiller, serait plutôt faite de fragments, de bribes de modernité. Comme si des traits formels ou stylistiques abstraits y subsistaient, parfois à l'état pur, et que la programmation, elle, en ait été ratée.



4 © DR

De nos jours, la ville, composée de fragments, se densifie petit à petit le long d'axes importants. Ces régions, implantées dans un environnement rural, fonctionnent de manière urbaine.

À l'heure actuelle, la pression et la consommation par habitants sur ces espaces périphériques, des espaces ouverts, continuent d'augmenter. À titre d'exemple, des études en Belgique ont démontré que l'urbanisation progresse actuellement au rythme de 2 m<sup>2</sup> par seconde, soit la superficie de deux terrains de football en une heure. À ce rythme, l'ensemble du pays serait urbanisé dans deux siècles.

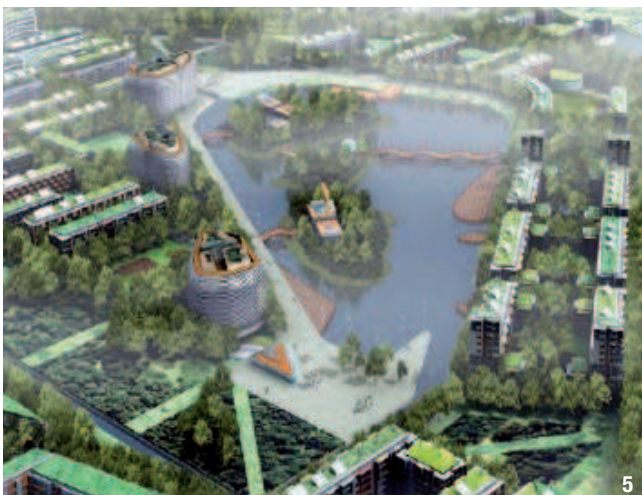
**4- Projet urbain global, Masdar - Abu Dhabi (Équipe Norman Foster).**

**5- Projet urbain global, Dongtan - Chine (Équipe Arup).**

**6- Projet urbain global, la consultation du Grand Paris (Équipe Nouvel).**

Les phénomènes de l'étalement urbain sont dus en grande partie à la croissance de la circulation automobile. L'éparpillement des activités urbaines est par ailleurs dommageable sur le plan paysager, car il contribue à la banalisation du paysage, à une perte d'identité et de diversité (figures 2 et 3).

L'étalement de l'urbanisation provoque une « consommation » du sol par l'habitat, les jardins, les voiries, les commerces... L'augmentation de la distance entre les différentes activités urbaines, principalement lieux de travail et logement, devient le problème majeur des grandes agglomérations.

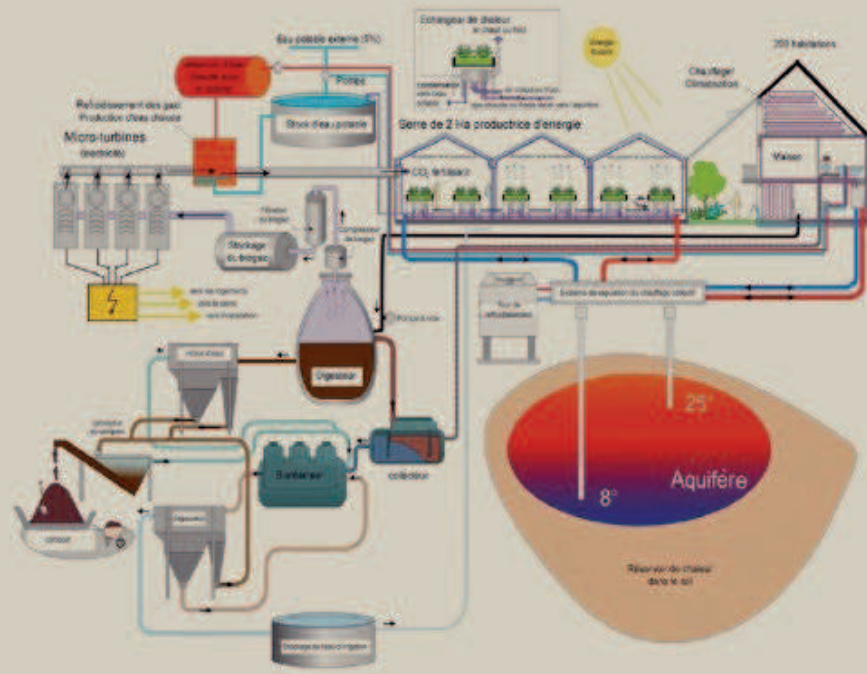


5



6 © DR

« ÉCOCYCLE » DU PROJET URBAIN GLOBAL ATESTOC  
AULNOY-LEZ-VALENCIENNES (59), FINANCÉ PAR L'AGENCE NATIONALE DE RECHERCHE (ANR), FRANCE



7

© ANR - ATESTOC



8



9

7, 8 & 9- « Éco-cycle » du Projet urbain global Atestoc, Aulnoy-lez-Valenciennes (59), financé par l'Agence Nationale de Recherche (ANR), France.

répondre aux objectifs prospectifs m'amène à opter pour une présentation de projets sur lesquels nous travaillons. Elle s'élabore à partir de plusieurs sources d'information afin de recréer un cadre d'analyse des événements et des processus à l'étude.

Nous n'avons pas la prétention de déterminer une « ville idéale », conscients qu'une telle approche est vaine, mais d'effectuer dès lors une avancée quant à l'analyse de différents projets que nous avons suivis. Il s'agit de Masdar (Abu Dhabi), de Dongtan (Chine) et du projet Atestoc dans le Nord (projet de recherche ANR). Tous ces projets sont confrontés aux politiques descendantes à l'encontre des intérêts locaux se situant entre solutions locales et approches systémiques. Ces exemples pourraient se révéler utiles pour les collectivités locales impliquées dans le développement urbain durable (figures 4, 5 & 6). Dans les différents projets présentés dans cet article, je pourrais avoir une vision très optimiste où la plupart des initiatives sont exemplaires au niveau du développement durable. Mais à cet optimisme, s'oppose une vision plus sceptique des villes du futur.

Tout d'abord, de manière plus globale, toutes les opérations exemplaires, médiatisées « de type éco-quartiers » concernent bien souvent une fraction très limitée de la population et surtout nécessitent de faire table rase sur le passé. Car les exemples cités tels que Masdar et Dongtan sont des opérations neuves et il est beaucoup plus facile de faire de la performance dans du neuf que dans de l'existant ; le défi des architectures et des urbanismes est bien entendu le renouvellement, la reconversion et la capacité d'adaptation dans le stock existant dans une vision systémique de la ville.

**Comment concilier la complexité et les nombreuses composantes de la ville dans le cadre d'une démarche systémique ?**

L'approche sectorielle de l'urbanisme correspond à la structuration classique des acteurs de la fabrication et de la gestion des villes ; elle permet de mettre en avant de bonnes pratiques comme par exemple la mise en œuvre de solutions performantes de mobilité, de gestion des eaux ou encore énergétiques d'un projet urbain. Intéressantes en soi, celles-ci ne doivent cependant pas constituer la stratégie politique et décisionnelle

L'étalement urbain est un processus non durable, que ce soit sur le plan social, économique ou environnemental. Pour dégager une offre en tissu urbain dense, il faut rendre la ville plus compacte.

Les pouvoirs publics doivent donc intervenir afin de promouvoir un développement plus rationnel des nouveaux quartiers d'habitation ainsi que préférer la réutilisation d'espaces anciennement urbanisés plutôt que la conquête d'espaces ouverts en périphérie en appliquant les principes de la ville compacte.

Si l'on définit le développement durable comme un développement qui assure les conditions à long terme de sa reproduction et concilie la satisfaction des besoins des générations actuelles et des générations futures, on peut alors craindre que les tendances actuelles conduisent à un développement non durable.

**Ces nombreux constats portent matière à réflexion. Comment devancer ce gaspillage d'espace ? Comment prendre en compte les besoins des citoyens tout en respectant l'organisation spatiale ?**

Aujourd'hui, force est de constater que les outils et méthodes existants de la planification de projets urbains ne sont plus compatibles avec la complexité croissante du territoire, comme la ségrégation ou l'étalement urbain et la maîtrise des risques. En outre, plus les territoires urbains s'étendent et se complexifient, plus ils dépendent de leurs écosystèmes et plus ils deviennent vulnérables aux changements.

Pour contribuer à la réflexion sur l'avenir des villes, et compte tenu des questions et des principes énoncés pour la ville de demain, la stratégie qui serait la plus appropriée pour

« EN EUROPE, L'URBANISATION CROISSANTE, LA DISPERSION DE L'HABITAT ET L'ÉCLATEMENT DES ACTIVITÉS SONT PRÉOCCUPANTS À PLUSIEURS ÉGARDS »



occultant les démarches systémiques qui intègrent la complexité et les nombreuses composantes de la ville. Les bonnes pratiques et les formes de conseil « technique » de l'aménagement urbain sont aujourd'hui limitées par une sectorisation forte que déterminent les spécialisations : énergie, transports, logements, environnement, sociologie... Elles mettent en jeu des expertises verticalisées et insuffisamment connectées qui ne prennent pas en compte l'interdépendance des éléments, des relations, et des actions de transformation constituant un système urbain. C'est pourquoi, je suis assez critique sur les outils d'évaluation analytiques que nous retrouvons dans la plupart des chartes de développement durables. L'objet ville, jusque tout récemment, était systématiquement abordé par des méthodes très analytiques, caractérisées par le cloisonnement des études et rares sont les tentatives de croisement de ces différentes approches dans une perspective transversale appréhendant la complexité.

Dans l'approche systémique, nous nous intéressons aux indicateurs de développement durable et plus particulièrement aux indicateurs urbains de développement durable.

La plupart des nombreuses listes d'indicateurs existantes, chacune reliée à ses réflexions scientifiques et politiques propres, développent des indicateurs sectoriels qui se veulent la synthèse des trois piliers du développement durable : l'économie, le social et l'environnement.

En termes de développement urbain, un important chapitre de l'agenda 21 est consacré à la question des indicateurs du développement durable afin qu'ils constituent une base utile pour la prise de décision à tous les niveaux du local au global.

Dans les approches existantes, nous rencontrons une diversité méthodologique aussi bien au niveau du type d'indicateur(s), de leurs processus de construction, de l'objectif poursuivi et recherché ainsi que l'utilité que l'on souhaite leur donner ; ceci, en fonction de l'appartenance à l'une ou l'autre école scientifique, de l'origine disciplinaire, ou encore de la filiation institutionnelle.

L'analyse de l'aménagement urbain a ainsi souligné l'importance du passage d'une vision linéaire à un urbanisme intégré visant un système inter-relié traitant la ville comme un objet complexe susceptible d'être



10  
© DR

envisagé sous un angle systémique. La systémique est intrinsèquement liée à la prise de conscience de la complexité croissante de la ville.

**L'approche systémique est une façon d'interpréter le monde réel.**

Elle permet d'émettre des hypothèses sur l'organisation des villes en supposant des critères qui composent la structure fonctionnelle de la ville. Nous pouvons remarquer, dans les projets cités ci-dessus, que l'urbanisme intégré permet de définir des objectifs de développement durable en amont du projet et les concepteurs démontrent la cohérence de ceux-ci durant tout le processus de la prise de décision au suivi. Cette approche, où l'auteur de projet est « expert » sur l'ensemble des composantes de la ville, requiert donc des équipes pluridisciplinaires. Les équipes de projet structurent leur étude en fonction de grands axes

10- « Roadmap 2050 » ou la distribution du réseau énergétique décarboné en Europe - Carte extraite du « Guide pratique pour une Europe prospère décarbonée ».

« LA FIN DU ZONAGE : ON PASSE D'UN URBANISME DE LOIS À UN URBANISME DE PROJETS » »

UNE APPROCHE MULTI-CRITÈRE TRANSVERSALE POUR DÉCLOISONNER

- CRITÈRE D'ÉVALUATION 1- LA DENSITÉ
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 2- LA PROXIMITÉ
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 3- LA POLYCENTRALITÉ
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 4- LE PAYSAGE
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 5- LA MOBILITÉ
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 6- LA MIXITE DES FONCTIONS URBAINES
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 7- L'ÉNERGIE
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 8- L'EAU
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 9- LES DÉCHETS
- CRITÈRE D'ÉVALUATION 10- LA VIE SOCIALE

d'évaluation et demandent en conséquence un système d'informations tel qu'un observatoire avec différents tableaux de bord pour évaluer et vérifier les données.

Dans le cadre de nos approches, les axes d'évaluation développés recouvrent donc des approches transversales, multi-thématiques, multi-acteurs et multi-critères dans une volonté clairement affirmée de décroisement. Dans nos travaux, nous nous appuyons sur 10 critères d'évaluation de l'organisation spatiale de la ville. La difficulté est de travailler sur la relation entre les axes d'évaluation plutôt que des expertises sectorielles par critères. (voir encadré).

**Dans votre approche systémique, quels sont les systèmes qui composent la ville contemporaine et comment coexistent-ils ?**

La ville contemporaine se compose d'une multitude de systèmes complexes ayant une influence co-dépendante. On distingue dans le système urbain des sous-systèmes, telles que les activités urbaines ; ceux-ci sont liés entre eux, et l'évolution de l'un entraîne la transformation des autres. Ceci prouve l'existence de corrélation mais également de flux entre les sous-systèmes.

Dans une approche systémique, nous considérons les villes comme des organismes qui consomment les ressources et rejettent des déchets. Nous pouvons alors parler de métabolisme permettant une analyse des flux entrants et sortants à l'échelle de la ville et intégrant les cycles métaboliques.

Pour cela, il faut tenir compte des cycles naturels, comme par exemple, « l'Écocycle du projet de recherche Atestoc », qui lie le stockage géothermique, la biomasse, l'offre d'électricité, le chauffage, la climatisation et l'eau à la gestion des déchets et des eaux usées. Ces trois cycles sont forcément liés au choix de densité, mixité, mobilité, proximité des services... Dès l'origine du projet, des objectifs chiffrés ont été fixés et servent de base aux évaluations. L'architecte Jean-Luc Collet, avec qui nous travaillons dans le cadre de ce projet de recherche, échange avec de nombreux acteurs sur les objectifs de départ. Nous nous situons entre approche systémique (l'ensemble des chercheurs avec une approche descendante de leur expertise) et solutions locales (l'ensemble des

## IDENTIFICATION DE MILLE PROJETS EN GESTATION SUR LE TERRITOIRE (ÉQUIPE ROGERS)



© DR

11

acteurs locaux dans le contexte socio-économique). C'est cette combinaison qui permet de fabriquer la ville durable. (figures 7, 8 & 9).

### Quels sont les outils pour réussir un urbanisme durable ?

Je pense qu'il faut en finir avec le zonage tout en assumant la complexité du territoire ; on passe d'un urbanisme de lois à un **urbanisme de projets**.

Aux différents niveaux d'échelle de planification se pose la question des outils pour concevoir la ville du futur et fabriquer la mixité fonctionnelle ; car on ne peut plus s'appuyer seulement sur des plans de zonage et des réglementations, il faut développer des outils efficaces dans les processus urbains actuels.

À titre d'exemple et à de nombreuses reprises, les différents plans de zonage prônent la mixité des fonctions urbaines en cherchant à faciliter l'intégration des implantations des activités dans les tissus urbains respectifs. Mais les documents de planification urbaine, tels que schéma et plan, sont inappropriés pour maîtriser les risques

urbains et pour réussir une mixité urbaine. À l'échelle de l'agglomération, les schémas apparaissent comme une référence lointaine dès lors que le projet urbain se situe au niveau de l'action. En effet les schémas directeurs intègrent de grandes orientations et des notions de mixité difficiles à appliquer à l'échelle du projet.

À l'échelle locale, les plans de zonage donnent des pistes de réflexion mais ne montrent pas comment les mettre en œuvre.

### Comment réussir cette mixité ?

Si l'approche par projets intègre la complexité, l'approche zonée et sectorielle la rejette, réduisant la ville à des divisions simplistes et mono-fonctionnelles. La ville est une matrice complexe et changeante de activités humaines et de l'environnement physique. Planifier une ville nécessite une plus grande compréhension des relations entre ses composantes. En effet, il est relativement arbitraire de diviser les différentes fonctions d'une ville car elles sont en interactions. Il est nécessaire d'identifier les corrélations mais également les

### 11- Identification de mille projets en gestation sur le territoire (équipe Rogers).

flux entre les fonctions urbaines (sous-systèmes).

Ces dernières sont néanmoins très difficiles à analyser en raison du rôle complexe de la ville. En s'appuyant sur le principe de l'analyse systémique, les projets présentés ci-dessus permettent d'identifier les corrélations entre les différents sous-systèmes de la ville : la population, ses activités et les lieux où se pratiquent ces activités.

Dès lors, la question qui se pose est celle de la nature d'une telle approche et de sa mise en œuvre afin d'adopter une démarche globale et transversale, évitant l'illusion techniciste et souvent trop sectorielle pour trouver, entre les différents acteurs de l'aménagement spatial, les voies d'une meilleure coopération.

Lorsque nous cherchons à exercer le contrôle sur un système dynamique et évolutif, qu'est devenue la ville, nous devons essayer de prévoir l'évolution de ce système.

On doit pouvoir faire des prévisions sur l'ensemble de la ville, sa forme future, la répartition des activités et de leurs nombreuses relations. Il faut envisager la ville de façon globale (figure 10).

### Pour conclure ?

En guise de conclusion, je dirais qu'il y a deux difficultés majeures pour fabriquer la ville de demain. La première, c'est que les politiques descendantes peuvent aller à l'encontre des intérêts locaux ; en effet, le risque de l'urbanisme intégré et de l'approche systémique est que la démarche de conception portée par les acteurs urbains défende une approche plus performante mais portée par une « vision » qui favorise le grand geste au détriment de la compréhension locale du territoire.

La seconde est que les obligations réglementaires et législatives peuvent devenir contradictoires avec les stratégies d'acteurs impliqués dans la résolution des enjeux spécifiques au territoire.

Nous pensons que la figure 11 reflète au mieux les stratégies d'avenir pour nos villes : il s'agit d'un urbanisme de projets plutôt qu'un urbanisme de lois et de zonage, mais surtout c'est ce que l'on appelle un urbanisme d'opportunités.

Dans un urbanisme de projets, nous faisons bien évidemment de la prospective.

Il est important de distinguer prospective et prévision. Au fait, la prévision est une démarche beaucoup plus scientifique, car permet de quantifier les objectifs mais dans une approche très sectorielle alors que la prospective est une approche plus globale maniant quantitatif et qualitatif pour adapter la ville à un futur imprédictible ; c'est pourquoi l'urbanisme de projet n'a pas encore trouvé sa place dans les disciplines scientifiques et c'est ce à quoi les architectes et urbanistes doivent tendre.

Nous pensons que l'émergence d'initiatives émergentes **du territoire sont destinées à être partagées, enrichies, mutualisées et à servir d'expérimentation en se basant sur les ressources économiques locales, afin de saisir toutes les opportunités pour faire émerger une multitude de projets.** □





© GÉOTHERMIE PROFESSIONNELLE

# UTILISER DES FONDATIONS POUR LE CHAUFFAGE ET LE REFROIDISSEMENT, SPÉCIALITÉ D'ECOME INGÉNIERIE

REPORTAGE DE MONA MOTTOT ET MONIQUE TRANCART

**ECOME INGÉNIERIE ET SA SOCIÉTÉ SŒUR GÉOTHERMIE PROFESSIONNELLE SE SPÉCIALISENT DANS LES FONDATIONS THERMO-ACTIVES, C'EST-À-DIRE LA GÉOTHERMIE À TRAVERS DES COMPOSANTS DE STRUCTURE - RADIERS, PIEUX, ETC. - UN SAVOIR-FAIRE QU'ELLES ONT DÉVELOPPÉ.**

La géothermie consiste à exploiter l'énergie naturellement présente dans le sol. On distingue à cet égard l'énergie émanant du noyau terrestre - présente à grande profondeur - et celle accumulée dans la terre mais provenant du soleil - présente à faible profondeur. Pour cette dernière, on parle de « géothermie très basse énergie ». Le sol est ici utilisé comme lieu de stockage d'énergie que l'on vient puiser, pour chauffer le bâtiment, et recharger, pour le refroidir.

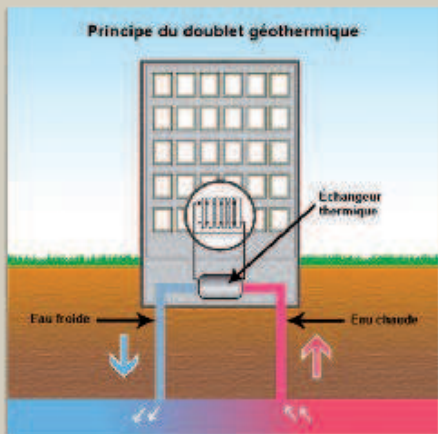
La géothermie sur « boucle fermée » consiste à réaliser ces transferts d'énergie via un fluide caloporteur introduit dans des sondes allant généralement jusqu'à 100 mètres de profondeur (voir graphique). À la différence des sondes géothermiques, dont les forages sont exclusivement dédiés à l'installation, les « fondations thermo-actives » consistent à utiliser directement la structure de l'ouvrage - pieux, radiers, parois moulées - comme échangeur. Le coût

de mise en œuvre s'en trouve, par conséquent, réduit de 15 % à 30 %. Si ces systèmes sont généralement assistés par une pompe à chaleur, un des principaux avantages de la géothermie très basse énergie est de pouvoir produire du froid sans y recourir. Les performances sont alors décuplées puisque le rafraîchissement se fait quasiment sans consommations ! « *Les besoins en froid vont favoriser le développement de la géothermie en France* » assure Jean-Baptiste Bernard,

associé gérant des sociétés Ecome Ingénierie et Géothermie Professionnelle. Du fait des exigences croissantes de la réglementation thermique, les bâtiments neufs sont de plus en plus imperméables à l'air et risquent de piéger la chaleur à l'intérieur. La problématique du rafraîchissement est donc plus que jamais d'actualité. Par ailleurs, l'utilisation du système en mode réversible maximise ses performances en créant un relatif équilibre entre les calories prélevées - pour le

## PRINCIPE DE LA BOUCLE OUVERTE

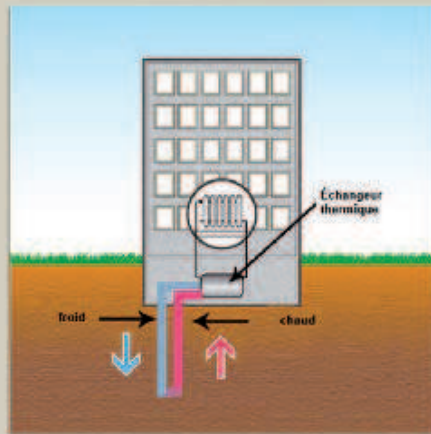
(géothermie sur nappe)



2

## PRINCIPE DE LA BOUCLE FERMÉE

(géothermie sur sondes/fondations thermoactives)



3

## NOUVELLES TECHNOLOGIES, NOUVEAU MÉTIER

La géothermie bénéficie également de la réglementation thermique 2012 qui impose l'utilisation d'au moins une énergie renouvelable<sup>(1)</sup>.

Ses performances remarquables doivent cependant intégrer les consommations électriques qui lui sont associées, notamment celles de la pompe à chaleur.

En effet, la réglementation thermique applique un coefficient de calcul d'énergie primaire de 2,58 à l'électricité pour les pertes en transport et transformation, contre un coefficient de 1 seulement pour les autres énergies<sup>(2)</sup>. Elle nécessite également un effort de conception supérieure à une installation classique.

En effet, de la qualité des études dépendra la viabilité technique et la pertinence économique de l'installation sur le long terme. « *Nous optimisons son utilisation en l'intégrant dans le concept énergétique global du bâtiment : traitement de l'enveloppe, choix des sources d'énergie et des types de générateur, adaptation des émetteurs, régulation, ...* » explique Jean-Baptiste Bernard.

Ecome se charge de tout, depuis les études préalables, de faisabilité technico-économique, de conception, d'optimisation, d'exécution, etc., jusqu'au suivi des installations qu'elle aura réalisées, notamment à travers l'activité de sa société sœur, Géothermie Professionnelle, ces interventions pouvant s'inscrire dans le cadre d'une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO), de maîtrise d'œuvre ou d'expertise spécifique. « *Nous sommes aussi contractant général en géothermie et sommes assurés en tant que tel, précise Jean-Baptiste Bernard.*

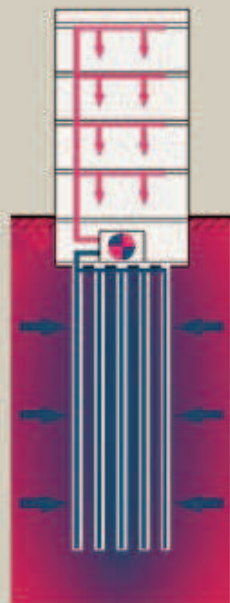
*Cela nous donne la possibilité de proposer à nos clients une offre clé-en-main qui n'a de fait qu'un seul interlocuteur. Charge à nous de sous-traiter les tâches nécessaires, qui restent bien entendu sous notre responsabilité.*

*Ce mode de contractualisation garantit également une cohérence entre conception et réalisation ».*

## DES TECHNOLOGIES APPLICABLES À TOUT TYPE D'OUVRAGE

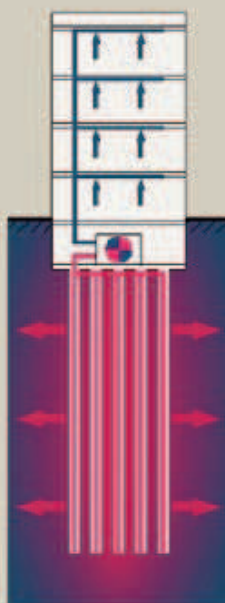
Un des atouts de ces technologies réside dans la largeur de son champ d'application : immeubles de logements, bâtiments de bureaux, ouvrages industriels, infrastructures publiques, etc.

## PRINCIPE DE LA GÉOTHERMIE sur sondes en hiver



4

## PRINCIPE DE LA GÉOTHERMIE sur sondes en été



5

1- Les tubes incorporés au radier du parking Vinci Park à Neuilly-sur-Seine (Hauts-de-Seine) assurent le chauffage et la climatisation de locaux techniques et d'accueil avec l'aide d'une pompe à chaleur.

2- Principe de la boucle ouverte (géothermie sur nappe).

3- Principe de la boucle fermée (géothermie sur sondes/fondations thermoactives).

4- Principe de la géothermie sur sondes en hiver.

5- Principe de la géothermie sur sondes en été.

Photos 4 & 5 © ENERCRET / GÉOTHERMIE PROFESSIONNELLE

chauffage - et réinjectées - pour le rafraîchissement -.

Outre le fait d'être un mode de rafraîchissement efficace et confortable (diffusible par plancher, plafond, poutre, ventilo-convecteur...), cette réversibilité permet de rentabiliser l'installation à la fois sur le poste chauffage et sur le poste climatisation. Cet aspect contribue en grande partie au succès de la géothermie dans le pays à climat continental comme la Suisse, l'Allemagne et l'Autriche.

Si la géothermie sur sondes se développe dorénavant en France, les premières installations sur fondations thermo-actives font aussi leur apparition.

Ecome Ingénierie qui les conçoit, et sa société sœur qui les met en œuvre n'y sont pas pour rien. Cette technologie permet de transformer une contrainte technico-financière, les fondations spéciales, en atout énergétique.

Le champ d'application est en effet large puisque toutes les structures

enterrées sont potentiellement exploitables : pieux, radiers, parois moulées, tunnels, etc. Ces deux entreprises, créées respectivement en 2008 et 2010, sont à ce titre les partenaires français exclusifs de l'inventeur et leader de ces technologies, la société autrichienne Enercret. En 2011, par exemple, elles ont étudié et mis en œuvre le chauffage et la climatisation des bureaux du futur centre de maintenance des tramways à Tours (Indre-et-Loire).





6a

© SARL D'ARCHITECTURE L'HEUDE ET L'HEUDE



6b

© GÉOTHERMIE PROFESSIONNELLE

Concernant l'utilisation des radiers de fondations, Ecome a conçu en 2009 le système de captage énergétique du parking VINCI Park à Neuilly-sur-Seine (Hauts-de-Seine), installation servant à assurer le chauffage et la climatisation des locaux techniques et d'accueil avec l'aide d'une pompe à chaleur. C'est ce même type d'installation qu'elle a mis en œuvre en 2011 sur une résidence de logement à Gif-sur-Yvette (Essonne) certifiée Bâtiment à énergie positive (Bepos). L'utilisation principale du procédé reste cependant l'utilisation des pieux de fondation que l'on appelle ainsi « pieux énergétiques ». En 2010, elle a réalisé sa première opération du genre sur un gymnase à Châteauroux (Indre, Conseil régional du Centre). Deux opérations du même type ont suivi : une résidence de 30 logements sociaux à Limay (Yvelines, Efidis) avec Soletanche Bachy Pieux et le Centre de maintenance des tramways de Tours (Indre-et-Loire) cités plus haut. Elle démarrera au 1<sup>er</sup> trimestre 2012, un nouveau chantier pour une résidence de 50 logements à Gonesse (Val-d'Oise, organisme HLM Opievoy). Ecome s'attache à élargir encore le périmètre d'applicabilité. C'est dans ce sens qu'elle vient de réaliser une étude sur la valorisation énergétique du Métro pour la RATP. Celle-ci vise notamment à déterminer l'énergie disponible au sein de son réseau et son utilisation possible. En effet, le métro peut être une véritable source d'énergie permettant d'alimenter en chauffage et rafraîchissement les bâtiments et groupes de bâtiments (type écoquartier) situés à l'intérieur ou à proximité du réseau. Trois procédés ont été étudiés : récupération sur l'air intérieur, utilisation des tunnels et stations comme échangeur géothermique, valorisation des eaux d'exhaure (nappe).

**6a et 6b- Le chauffage et la climatisation des bureaux du centre de maintenance des tramways à Tours (Indre-et-Loire) sont fournis par des pieux géothermiques.**

#### ÉTUDIER L'INTERACTION PIEUX-STRUCTURE

S'il semble judicieux d'aller puiser la chaleur souterraine par l'intermédiaire des fondations, ce qui économise des forages coûteux, la question de l'influence des charges et décharges thermiques sur la structure d'un ouvrage doit être explorée. C'est le sujet du projet retenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et fédéré par Ecome<sup>(3)</sup>. Y participent le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), plusieurs laboratoires, l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse), référence européenne en la matière, des bureaux de contrôle et un assureur. « *Nous cherchons à lever les verrous de l'acceptabilité de cette technique en explorant le comportement des sols, les interactions pieux-sol et l'impact des échanges thermiques sur la géostructure*, développe Jean-Baptiste Bernard. *Ce projet est aussi l'occasion de développer une approche symbiotique avec d'autres énergies, notamment le solaire thermique et photovoltaïque.* » Autre nouveauté dans le monde de la géothermie dont témoigne Ecome : elle attire des acteurs motivés par le marché. Son dirigeant, Edhec, Insead, est passé par l'audit financier avant

d'intégrer le Bâtiment. Après le rachat d'une entreprise de fenêtres PVC et la direction technique des magasins Yves Rocher, il se forme aux énergies nouvelles renouvelables, notamment en Suisse. « *Je cherchais une activité de niche permettant le développement d'une structure basée sur un produit*

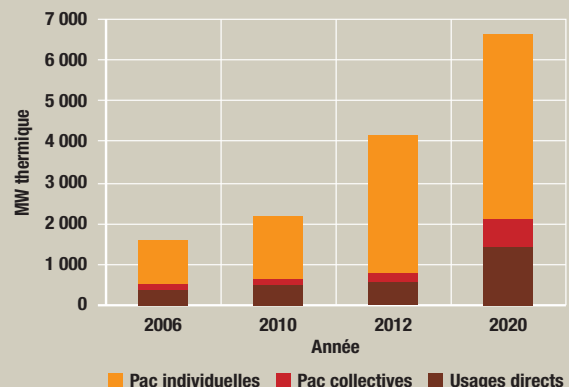
*d'avenir sans concurrence frontale, confie-t-il. Nous avons ce contact en Autriche, un pays où les architectes prennent la responsabilité technique de ce qu'ils installent. Ce contact est devenu notre partenaire* ». En France, la culture normative et réglementaire est plus développée qu'ailleurs.



**LES BESOINS EN FROID VONT FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT DE LA GÉOTHERMIE EN FRANCE**

**JEAN-BAPTISTE BERNARD**  
ASSOCIÉ GÉRANT DES SOCIÉTÉS  
ECOME INGÉNIERIE ET GÉOTHERMIE  
PROFESSIONNELLE

#### PUISSANCE INSTALLÉE EN CHALEUR GÉOTHERMIQUE EN FRANCE



© ASSOCIATION FRANÇAISE DES PROFESSIONNELS DE LA GÉOTHERMIE



7  
© GÉOTHERMIE PROFESSIONNELLE

## LA PUISSANCE INSTALLÉE EN GÉOTHERMIE A DOUBLÉ ENTRE 2010 ET 2012

Obtenir des chiffres sur la géothermie s'avère un exercice périlleux. L'Association française des professionnels de la géothermie (AFPG) prépare un état des lieux dans notre pays - puissance installée, production, nombre d'installations - pour ses deuxièmes journées organisées en novembre 2012 à Paris. L'AFPG estime à 2 200 mégawatts (MW) la puissance installée en pompes à chaleur individuelles et collectives, et par l'usage direct de l'énergie tirée du sol ou des nappes, en 2010 (voir diagramme). Elle prévoit presque un doublement en 2012 avec un total supérieur à 4 000 MW et un triplement, en 2020, à 6 500 MW environ. La puissance installée n'exprime toutefois pas tout l'intérêt de cette filière car c'est une énergie qui peut s'utiliser sur davantage d'heures que le solaire ou l'éolien, par exemple, et qui fournit de la chaleur et du froid. Le Grenelle de l'environnement a posé comme objectif que la géothermie fournisse 1,3 million de tonnes équivalent pétrole, soit 14 millions de mégawattheures en 2020, six fois plus qu'en 2006. La France connaît donc un renouveau dans ce domaine après une période creuse due à la conjonction de difficultés techniques, économiques et financières. Techniquement, les professionnels maîtrisent mieux le maintien en bon état des tubes où transitent des eaux corrosives en provenance du sous-sol. Par ailleurs, les diamètres employés augmentent, limitant les pertes de charge, d'où des gains de puissance\*. Ainsi, après 2007, les diamètres atteignent-ils 8,5 pouces à 2 000 m de profondeur contre 6 pouces dans les années 1980, et 26 pouces à 400 m au lieu de 17,5, selon les informations communiquées par Cofor, société de forage de puits, lors des premières journées de la Géothermie en décembre 2011\*\*. Autre avantage : le retubage dans le temps devient envisageable.

La chaleur du sous-sol et de ses nappes d'eau peut s'utiliser directement pour du chauffage si la température est suffisamment élevée (nappes profondes) ou avec une pompe à chaleur (source plus superficielle, sondes, pieux, etc.). Dans certains cas, comme en Guadeloupe à la centrale de Bouillante, l'eau est tellement chaude qu'elle sert à produire de l'électricité. L'île de la Réunion fait l'objet d'une reconnaissance géothermique en ce sens. Cette utilisation est plutôt rare en métropole avec seulement une expérimentation, à Sultz-sous-Forêts, (Bas-Rhin). Les zones où les aquifères sont accessibles et propices à une exploitation géothermique se situent dans le Bassin parisien jusqu'au bord de la Lorraine, le Bassin aquitain, le couloir rhodanien, l'Alsace (fossé rhénan), le Hainaut (Sud de Lille), la Bresse et la Limagne (au Nord de Clermont-Ferrand).

\* Le diamètre de tubage des puits diminue plus on remonte vers la surface du sol.

\*\* Prochaines journées de la géothermie, 14-15 novembre 2012, à la Cité des sciences et de l'industrie de la Villette (Paris).



8  
© SCPA COUTANT OLIVIERO ARCHITECTES DLG

7- Production de chaud et de froid sur pieux de fondation pour 30 logements sociaux à Limay (Yvelines).

8- Trente-sept pieux énergétiques dans un gymnase de Châteauroux (Indre).

mement pénalisants pour le développement des nouvelles technologies et de la compétitivité qui y est liée. Ecome, quant à elle, attend le sésame pour 2012.

Malgré ces obstacles, la géothermie s'impose naturellement. Le chiffre d'affaires d'Ecome Ingénierie et de Géothermie Professionnelle devrait atteindre 700 000 euros en 2012 voire 1 million, contre 450 000 en 2011. □

(1)- Voir site [www.plan-batiment.legrenelle-environnement.fr](http://www.plan-batiment.legrenelle-environnement.fr).

(2)- Cf. article 35 de l'arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments (JO 25 mai 2006).

(3)- Projet ANR « Géosstructures et stockage solaire », suite à l'appel à projets 2011 sur les systèmes énergétiques efficaces et décarbonés ([www.agence-nationale-recherche.fr](http://www.agence-nationale-recherche.fr)).

Les homologations, à l'instar de l'Avis Technique délivré par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), sont des étapes indispensables. Même si cela entraîne une hausse qualitative des procédés, la longueur et le coût des démarches associées sont extrê-

## POUR EN SAVOIR PLUS

- *La géothermie et les réseaux de chaleur, guide du maître d'ouvrage*, BRGM, décembre 2010.
- *La géothermie, quelles technologies pour quels usages ?* Coll. Les enjeux des géosciences, Ed. BRGM avec l'Ademe et le ministère de l'Écologie, novembre 2008.
- Sites internet : [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr), [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr), [www.afpg.asso.fr](http://www.afpg.asso.fr), [www.géothermie-perspectives.fr](http://www.géothermie-perspectives.fr) (cartes de potentiel géothermique).



# ADAPTER LES VILLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR LA MAÎTRISE DES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

PROPOS RECUEILLIS PAR MONA MOTTOT

LES VILLES SONT PARTICULIÈREMENT VULNÉRABLES AUX CANICULES DE PAR L'EXISTENCE DU PHÉNOMÈNE D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN (ICU). CE PHÉNOMÈNE CLIMATIQUE EST CARACTÉRISÉ PAR LE GRADIENT DE TEMPÉRATURE DE L'AIR ENTRE LE CENTRE URBAIN ET LE MILIEU RURAL ADJACENT. LE CETE DE L'EST ÉTUDIE LES ICU AVEC UNE MÉTHODE INNOVANTE. IL UTILISE POUR CE FAIRE DES MICRO-STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES FIXES COUPLÉES À UNE INSTRUMENTATION EMBARQUÉE SUR UN VÉHICULE AUTOMOBILE BAPTISÉ THERMOROUTE®, QUI EFFECTUE DES MESURES MICRO-MÉTÉO-ROLOGIQUES EXHAUSTIVES POUR ÉVALUER LE PROFIL ICU D'UNE AGGLOMÉRATION. LA PREMIÈRE APPLICATION DE CETTE MÉTHODE SUR LE TERRAIN CONCERNE LE PROJET NANCY GRAND CŒUR.



© CETE DE L'EST 1

HUBERT PERRIER, DIRECTEUR DU LABORATOIRE RÉGIONAL DE NANCY (CETE DE L'EST) ET JULIEN BOUYER, CHARGÉ DE RECHERCHE AU SEIN DU GROUPE INFRASTRUCTURES, CLIMAT ET ENVIRONNEMENT DÉTAILLENT LES ENJEUX DE CET IMPORTANT PROJET URBAIN.

## En quoi consiste le projet Nancy Grand Cœur ?

Dans le cadre du concours national ÉcoQuartier 2009, la ville de Nancy a été retenue pour son quartier « cœur » situé près de la gare, sur une théma-

tique forte concernant la mobilité et l'inter-mobilité en particulier.

Ce site est en effet le lieu de croisement d'espaces piétonniers, de places, de bus, de trains... De plus, il se situe à proximité du cœur de ville ancien,

Charles III, dont il fallait intégrer le passé historique, le cheminement mais aussi l'architecture, pour que le nouveau quartier soit un prolongement de ce quartier riche en histoire.

Les autorités qui avaient labellisé le projet avaient identifié certaines faiblesses quant à certains aspects liés à la gestion des eaux de surface et au confort du quartier.

Comment valoriser l'usage des eaux pluviales et de ruissellement, comment gérer l'eau dans ce quartier ? Comment

## 1- Vue d'ensemble d'une parcelle.

quantifier le confort du quartier et quels sont les indicateurs à suivre pour un quartier réussi ? En particulier, comment gérer les îlots de chaleur urbains, sachant que l'on est très proche d'un centre dense dans lequel on a beaucoup de rues « canyons » qui favorisent les accumulations de chaleur l'été ?



©CETE DE L'EST

2

De plus, l'architecture de cette place est assez dénudée favorisant des circulations venteuses importantes.

Il y avait donc effectivement une nécessité d'analyser globalement (au-delà de la place) tout un quartier pour voir comment tous ces phénomènes interagissaient.

**2- Station météorologique fixe.**

**3- Profil ICU de Nancy d'Ouest en Est.**

## PROJET URBAIN **NANCY GRAND CŒUR** : ÉMERGENCE D'UN NOUVEAU QUARTIER

**TYPE DE PROJET** : Réhabilitation – reconquête de friche urbaine.

**MAÎTRISE D'OUVRAGE** : SOLOREM (Communauté urbaine Grand Nancy).

**MAÎTRISE D'ŒUVRE URBAINE** : Arep Ville, Jean-Marie Duthilleul (architecte-urbaniste – mandataire), Michel Desvignes (paysagiste), SEFIBA (bureau d'études), LRPC de Nancy (CETE de l'Est), Université de Lorraine.

**AUTRES INTERVENANTS** : Ville de Nancy, Établissement Public Foncier de Lorraine (EPF Lorraine), SNCF, RFF.

**POINTS FORTS DE L'OPÉRATION** : Eau, Déchets, Biodiversité, Mobilité, Sobriété énergétique et énergies renouvelables, Mixité, Densité et Formes urbaines, Écoconstruction.

**SURFACE** : 11,5 ha.

### Quelles ont été les propositions du CETE de l'Est ?

Le CETE de l'Est, via le Laboratoire régional de Nancy qui lui est rattaché, a proposé à la Communauté Urbaine du Grand Nancy et à son maître d'œuvre la SOLOREM (Société Lorraine d'Économie Mixte d'Aménagement Urbain) agissant pour le compte du Grand Nancy) de travailler sur cette problématique des îlots de chaleur urbains et du confort, et d'assister le maître d'œuvre dans la définition de solutions de gestion des eaux pluviales. C'est la raison pour laquelle le LRPC de Nancy a été impliqué dans ce projet. Nous avons en effet des idées pour étudier de plus près ces îlots de chaleur urbains mais nous avons besoin d'un quartier-laboratoire. Le projet Nancy

Grand Cœur nous offrait ainsi une opportunité formidable ! Nous avons monté un partenariat avec, d'une part, l'Université de Lorraine qui avait aussi des compétences sur ces problématiques de thermique urbaine et, d'autre part, avec la collectivité territoriale qui nous proposait un quartier sur lequel on pouvait mener nos expérimentations. L'objectif étant l'amélioration du projet de réhabilitation de cet éco-quartier afin de le rendre acceptable par la population et de le réussir pleinement.

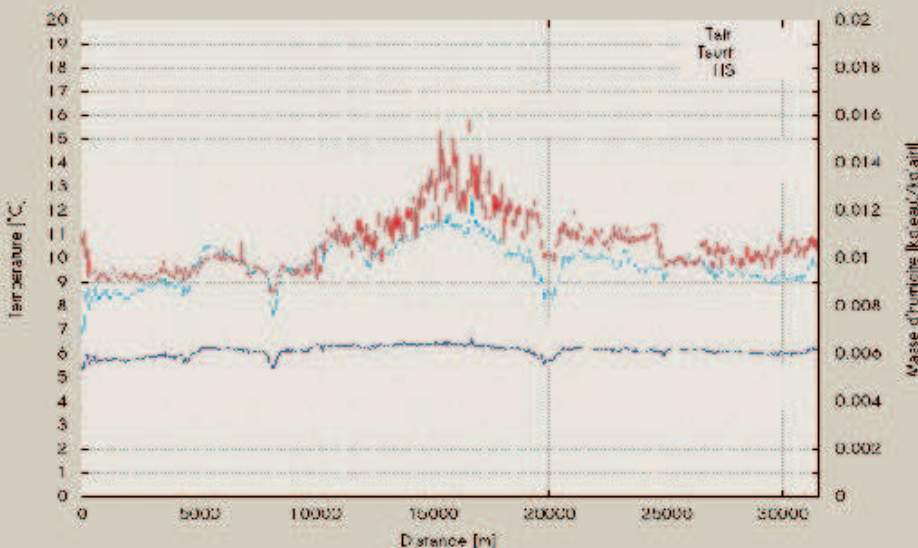
Nancy Grand Cœur est un projet qui va durer plus de quinze ans, comme beaucoup de projets de quartiers durables. L'idée de ce projet a germé il y a cinq ans, et la première réalisation que l'on verra apparaître sera le Centre des congrès, fin 2013. Les premiers quartiers à usage d'habitat et de bureaux, devraient voir le jour vers 2015, et le quartier devrait être fini en 2020.

### Quels sont les liens entre les universités, les laboratoires de recherche et les collectivités territoriales, dans le cadre de ce projet ?

Notre laboratoire a plus de compétences sur l'aspect opérationnel. Le contrôle, les essais et les mesures sont notre cœur de métier. La théorie et la modélisation relèvent davantage des compétences de nos équipes de recherches qui collaborent avec les laboratoires universitaires. Ces partenariats sont donc complémentaires pour mettre au point des solutions déclinables sur le terrain. Nous travaillons également en partenariat avec les établissements publics de recherche comme l'IFSTTAR (ex-LCPC) et Météo-France qui fait partie du même réseau scientifique et technique (RST) que les CETE.



### PROFIL ICU DE NANCY D'OUEST EN EST



©CETE DE L'EST

3



Concernant l'activité de climatologie urbaine, le RST nous offre un cadre partenarial idéal. À travers les partenariats locaux, le CETE fédère un réseau de recherche sur la ville durable, qui ensuite va transposer auprès d'une collectivité territoriale les acquis de cette recherche.

Dans le cadre du projet Nancy Grand Cœur, le CETE met en œuvre une instrumentation destinée à une campagne de métrologie et de contrôle pour engranger des données sur le fonctionnement climatique et hydrique du quartier. Ces données vont ensuite servir à modéliser la réponse d'un quartier par rapport à des événements et des aléas climatiques en contexte urbain. L'objectif est de dire : « À partir d'un modèle, on sera capable de prédire l'impact climatique des formes urbaines du quartier futur sur le confort de ce quartier ». L'intérêt de ces recherches est de disposer au final d'un outil d'aide à la décision pour les urbanistes et les architectes pour le choix des formes urbaines les plus adaptées aux changements climatiques. Rappelons que l'objectif principal de cette recherche est l'adaptation de la ville aux changements climatiques.

Dans le domaine des toitures végétalisées, on travaille avec l'Université de Lorraine pour étudier le potentiel des toitures végétalisées à épurer l'eau. La compétence théorique appartient au milieu universitaire. Des connaissances existent sur les friches industrielles, que nous souhaitons transposer au niveau des toitures végétalisées.

### Quels procédés sont utilisés concrètement ?

Nous avons été amenés à développer des outils spécifiques afin de mesurer en continu plusieurs paramètres physiques sur le terrain. Pour ce faire, le CETE de l'Est a développé avec l'IFSTTAR des micro-stations météo-



4 © DR

logiques qui échangent des données entre elles et les stockent sur des serveurs via un réseau WiFi.

Implantées sur une dizaine de points dans le quartier, ces stations fonctionnent en continu, donnant des indicateurs tous les jours, en temps réel, de cinq paramètres : température, hygrométrie, flux solaire, intensité du vent, et concentration en CO<sub>2</sub>.

Les enregistrements de ces cinq paramètres permettront de suivre l'évolution des variables climatiques en fonction des phases de construction du projet. Parmi ces dix points de contrôle, deux seront positionnés sur des quartiers plus anciens du centre-ville pour caractériser l'impact de la nouvelle densité du quartier.

Les effets de quartier, hétérogènes à l'échelle de la ville, pourront être déterminés par des campagnes de mesures mobiles menées à l'aide du véhicule Thermoroute® ICU.

Celui-ci peut circuler sur les voiries d'un quartier pour mesurer un ensemble plus étendu de paramètres qui recouperont les cinq paramètres déjà mesurés par les stations fixes (voir encadré). L'exploitation des mesures fixes per-

### 4- Vue d'ensemble de l'éco-quartier Nancy Grand Cœur.

#### 5a & 5b- Capteurs surface toiture.

mettra ainsi d'interpoler les mesures mobiles entre les périodes de mesures. La première étape de l'étude sur la ville de Nancy consiste à perfectionner le protocole de mesure, à caractériser l'ICU de la ville sous certaines conditions, à identifier le microclimat spécifique de la zone d'implantation du projet d'Écoquartier « Nancy Grand Cœur ». Dans un deuxième temps, l'idée sera de proposer des pistes pour la conception d'aménagements qui à la fois s'adapteront et amélioreront localement le microclimat de l'hypercentre nancéien.

### Où sont situés les dix points de mesure ?

Ces dispositifs de mesure sont des micro-stations météo d'un mètre de haut réparties sur des bâtiments signi-

ficatifs dans le quartier et son environnement proche. L'objectif est de les installer sur des bâtiments pérennes, afin d'avoir une vision de l'ensemble de ce quartier. Des choix précis de lieux d'installation ont été établis.

Ce sont principalement des établissements publics car plus accessibles pour la maintenance et plus sécurisés que les privés. Ces stations alimentées par des panneaux solaires sont autonomes en énergie et échangent les données en WiFi. Elles sont interrogeables par des requêtes informatiques à distance. Une seule de ces dix stations est reliée à un réseau informatique Internet, qui retransmet l'intégralité des données à exploiter.

### Où sont exploitées les données délivrées ?

Au LRPC de Nancy, Julien Bouyer et Rémy Claverie chargés de recherche au CETE, travaillent sur cette thématique des îlots de chaleur.

On a une cartographie du site des conditions météo tout au long de l'année, pendant vingt ans. Nous allons pouvoir suivre comment répond le quartier en fonction de l'évolution du projet. Mais ce ne sont que dix points dans la ville. Cela ne suffit pas.

Nous menons aussi des investigations sur des zones plus étendues et avec une résolution spatiale très fine, grâce au Thermoroute® décrit plus haut.

Les capteurs embarqués permettent de mesurer les rayonnements émis par des éléments de construction, en fonction de leurs propriétés physiques. Il y a également les caméras thermiques qui permettent d'observer qualitativement comment évolue la température des surfaces urbaines.

Les deux approches, mesures fixes et mobiles, sont complémentaires : une information de longue durée avec les stations, une information spatiale fine avec le véhicule. Ce sont vraiment les deux dispositifs associés qui vont nous permettre d'avoir une cartographie plus précise des phénomènes climatiques. Nous travaillons à des méthodes pour mettre en relation les deux dispositifs. Un travail de thèse, financée par l'ADEME, a d'ailleurs démarré au laboratoire sur la thématique de la modélisation des îlots de chaleur urbains. L'objectif étant de créer un outil simplifié, en s'appuyant sur nos données de mesures, permettant de simuler le microclimat à l'échelle du quartier en fonction des conditions météorologiques locales et des effets créés par les typologies d'aménagements.



5a



5b

© CETE DE L'EST

**Comment exploitez-vous les résultats des mesures stations météo / Thermoroute ?**

Nous établissons des cartographies du cœur de ville, des zonages de vulnérabilités microclimatiques, des calculs d'indices de confort qui seront portées à la connaissance des usagers du quartier via le site internet « Nancy Grandcœur ».

En plus du travail de modélisation, nous pourrions identifier d'éventuelles

zones sensibles. Si on se replace dans le contexte de la canicule de 2003, cela permettrait d'identifier à quel endroit il y a des risques potentiels pour les populations, et éventuellement de mettre en

**6- Véhicule thermoroute.  
7- Instrumentation hydrologique.**



6



7 © CETE DE L'EST

**LE VÉHICULE DE MESURE THERMOROUTE®**

Ce véhicule est équipé d'un ensemble de capteurs permettant de mesurer en temps réel, sur des pas de distance très réduits (jusqu'à 3 m) et selon une géolocalisation précise, la température de l'air, l'hygrométrie, la température de surface de chaussée, la vitesse de l'air, les flux radiatifs et la concentration dans l'air des principaux gaz à effet de serre (GES : CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COV). Deux caméras infrarouges complètent l'instrumentation pour saisir des images thermiques du milieu environnant pour une remise en perspective qualitative des observations. Un dispositif de prise de vue automatique complété d'un système événementiel manuel permet une traçabilité des environnements traversés.

**POTENTIEL DE L'OUTIL**

L'avantage de cette technique de mesure par rapport à la télédétection ou la mesure in situ (stations météorologiques fixes) est que l'on dispose à la fois d'un grand nombre de variables climatiques et que l'on peut en caractériser finement leur variabilité spatiale. En utilisant des outils d'analyse comme le SIG (Système d'information géographique), qui nous renseignent sur les composantes de la ville, on peut diagnostiquer l'impact des aménagements urbains sur les îlots de chaleur et proposer des solutions d'atténuation au moment de la conception des nouveaux projets. Les volets pouvant être étudiés sont entre autres :

- Les risques sanitaires liés aux zones les plus exposées à la canicule ;
- L'analyse du confort piétonnier dans l'espace public ;
- La sollicitation énergétique des bâtiments ;
- Les zones à fortes concentrations de polluants et leur potentiel d'évacuation ;
- L'impact positif de la climatisation passive liée aux zones végétalisées.

place des systèmes de surveillance, d'intervention en disant : « Attention ! ». Cela permettrait également aux aménageurs de dire : « Dans cette zone, compte tenu du type de réponse, il ne faut probablement pas construire un hôpital ou installer une maison de repos pour personnes âgées. »

Ces résultats constitueront une aide au choix de l'aménagement urbain : là, c'est un quartier sur lequel il faut prévoir des adaptations, des scénarios de re-végétalisation, des solutions de retenue de l'eau en surface, de l'aspersion - en respectant l'évolution des normes sanitaires -, parce que l'on sait que dès qu'il va faire plus de vingt degrés, les flux de circulation entraînant des accumulations de CO<sub>2</sub> rendront le quartier étouffant, etc.

**On sait mesurer l'hygrométrie, la température, la vitesse du vent... mais comment combiner tous ces paramètres pour affirmer « c'est confortable » ou « ce n'est pas confortable » ?**

Aujourd'hui il y a un vrai questionnement scientifique sur le sujet. Ce sera aussi l'objet des travaux qui seront menés sur Nancy Grand Cœur, grâce

à des sondages à réaliser auprès des riverains. Le citoyen deviendra alors acteur de la gestion et du développement de sa ville, et la rétroaction deviendra la priorité de l'utilisateur. C'est tout l'enjeu des futures recherches dans le domaine de la ville durable. On attend également les développements informatiques associés à l'inter-modalité : bus, alternatives de bus, comment aller d'un endroit à un autre ? Aujourd'hui, sur les ordinateurs de bureau, il est possible de rechercher des itinéraires (Mappy ou RATP) ; demain, de nouvelles applications seront disponibles via le téléphone mobile : celui-ci pourra géolocaliser l'utilisateur et lui préciser comment se déplacer à pied ou en bus vers son objectif. Infotrafic propose aujourd'hui des applications qui ne tiennent compte que de la distance. Mais demain, des « services climatiques » pourront nous renseigner sur les itinéraires ombragés ou ensoleillés, où l'air ambiant est le moins pollué, etc.

Des grands groupes comme IBM travaillent d'ores et déjà sur ce type de problématiques et de nouvelles applications sont attendues dans les trois ans... □



# DE LA VILLE QUI SÉPARE À LA VILLE QUI INTÈGRE

AUTEURS : BRUNO BARROCA, MAÎTRE DE CONFÉRENCES AU DÉPARTEMENT GÉNIE URBAIN, UNIVERSITÉ PARIS-EST MARNE-LA-VALLÉE - DAMIEN SERRE, ÉCOLE DES INGÉNIEURS DE LA VILLE DE PARIS, RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DE L'AXE « RÉSILIENCE »

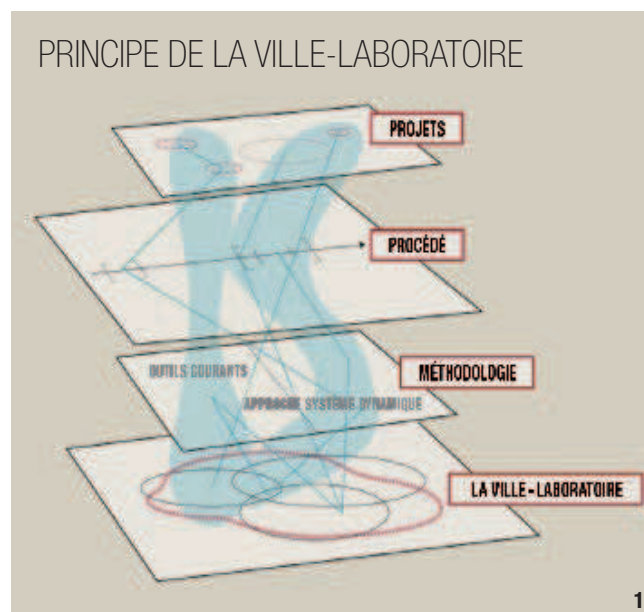
**DANS UN CONTEXTE D'ÉTALEMENT URBAIN INTENSIF ET DE VULNÉRABILITÉ CROISSANTE DE LA VILLE FACE AUX RISQUES NATURELS, IL CONVIENT DE METTRE EN ŒUVRE DES MESURES DE DÉVELOPPEMENT URBAIN DURABLE, INTÉGRANT LE RISQUE -TELLE L'INONDATION- AU CŒUR DES PROBLÉMATIQUES D'AMÉNAGEMENT. GRÂCE AU GÉNIE URBAIN, UNE INFRASTRUCTURE -TEL UN RÉSEAU TECHNIQUE- N'EST PLUS DÉDIÉE AU SEUL FONCTIONNEMENT URBAIN, MAIS DEVIENT À LA FOIS ACTEUR ET RESSOURCE D'UN TERRITOIRE, PRENANT AINSI UNE GRANDE IMPORTANCE DANS LA GESTION DES RISQUES LOCAUX.**

## EXPANSION URBAINE RAPIDE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Depuis 2007, la moitié de la population mondiale vit en milieu urbain. Le taux de croissance équivaut à la construction d'une nouvelle ville d'un million d'habitants par semaine.

La croissance urbaine s'établit généralement en périphérie des villes existantes, elle s'accompagne donc d'un étalement urbain conséquent. La ville occupe ainsi un espace de plus en plus important, celui-ci pouvant être soumis à divers aléas naturels (séismes, inondations...). À l'échelle d'un territoire local, la ville est également exposée à des aléas d'origine anthropique comme les aléas technologiques, elle amplifie aussi des aléas dits naturels comme l'inondation. En effet, l'imperméabilisation des surfaces consécutive à l'urbanisation augmente le ruissellement et limite l'infiltration, ce qui accroît le risque.

À une échelle plus large, cette urbanisation rapide est accompagnée par un changement climatique qui génère un certain nombre d'incertitudes selon les scénarios d'élévation de la température proposés par les experts de l'IPCC<sup>(1)</sup>. Mais, quel que soit le scénario retenu, des conséquences sur la fréquence et la sévérité des précipitations sont attendues. De même, des épisodes de sécheresse plus intenses alterneront avec ces précipitations plus fortes. Cette sécheresse devrait avoir une action directe sur l'imperméabilisation des sols. Ainsi, des précipitations plus intenses sur des sols plus



1  
© DR

**1- Principe de la ville-laboratoire.**

**1- Principle of the city-laboratory.**

## VILLE DURABLE ET INONDATION

Dans ce contexte de croissance urbaine, d'évolution du climat et de fragilité croissante de la ville face aux risques naturels, il devient donc nécessaire de développer de nouvelles stratégies de gestion du risque d'inondation. Ces nouvelles stratégies devront permettre d'anticiper des scénarios d'inon-

date que les modèles probabilistes jugent actuellement comme extrêmes ou rares. Elles conduisent à mettre en œuvre des mesures de développement urbain durable qui intègrent le risque au cœur des problématiques d'aménagement.

Concernant la ville durable, les objectifs consistent, en premier lieu, à trouver les moyens de la densifier. En effet, la densité urbaine apparaît aujourd'hui comme le modèle permettant d'accéder à une plus grande efficacité énergétique, à une réduction des coûts environnementaux de la mobilité et à la préservation des espaces agricoles de périphérie. Si, d'un côté, l'étalement urbain est générateur de risques globaux (impact CO<sub>2</sub> important) et locaux (ruissellement), l'orientation vers une ville dense et compacte amène à investir plus largement des zones soumises à des aléas naturels. La pression sur les zones urbaines inondables s'accroît. Malgré une réglementation très contraignante sur l'implantation des enjeux en zone inondable, la pression foncière a réussi à y augmenter les constructions de logements, de bureaux, d'entreprises... Par exemple, le Val-de-Marne est l'un des trois départements (avec le Var et les Alpes-Maritimes) qui se distingue par un taux de construction élevé de logements dans les zones inondables : plus de 8 000, entre 1999 et 2006.

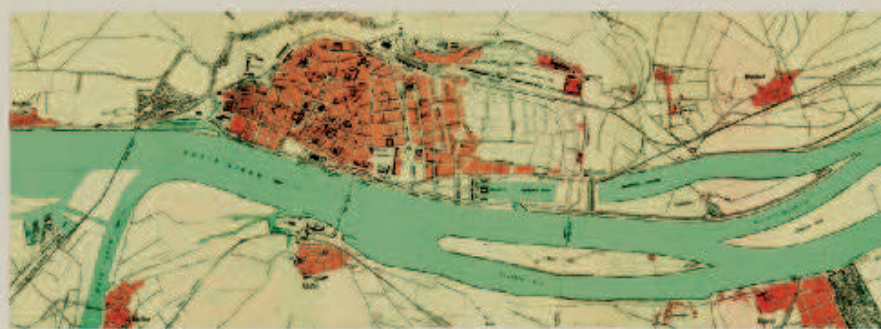
Selon l'Agence européenne de l'environnement, le coût économique des inondations dans le monde devrait atteindre 100 milliards d'euros par an

## VILLE DE MAYENCE (ALLEMAGNE) EN 1856



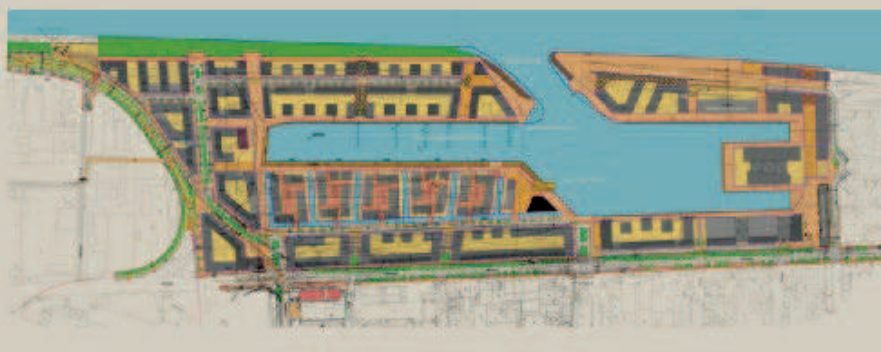
2

## VILLE DE MAYENCE EN 1887



3

## PLAN-MASSE DU QUARTIER DE ZOLLHAFEN À MAYENCE



4

niques qui amènent à la conception et à la gestion des réseaux, d'autre part à analyser l'inscription de ces réseaux dans les territoires, dans les usages et les appropriations. Par le génie urbain, le réseau dépasse l'unique objet dédié au fonctionnement urbain et il se place comme acteur et comme ressource d'un territoire, prenant ainsi une grande importance dans la gestion des risques locaux.

### LA RÉSILIENCE UN CONCEPT ADAPTÉ AUX ENJEUX DE LA VILLE FUTURE

Pour la ville future, la résilience est un concept qui semble particulièrement adapté à la gestion des risques. Le concept de résilience a déjà été repris dans de nombreux domaines, comme la physique mécanique ou la psychologie... Dans le domaine de l'écologie, au cours des années 70 et 80, la question était de définir la durabilité ou la persistance d'un écosystème complexe.

C'est dans ce cadre que l'écologiste canadien C.S.Holling introduisit, en 1973, le concept de « systèmes résilients ». La résilience y est définie par « l'importance d'une perturbation qu'un écosystème peut encaisser sans changer de structure ». En 1999, l'économiste Gilles Paquet a défini comme « la capacité intrinsèque des entreprises, des organisations et des communautés à retrouver un état d'équilibre ». Puis, dans le champ des sciences sociales, les chercheurs distinguent la résilience passive de la résilience proactive. Quant à la gestion des risques naturels en milieu urbain, le concept émerge à l'échelle européenne, à travers des questions de recherche et des opérations d'urbanisme. Le concept de résilience s'articule autour de ses définitions. Il s'applique notamment à l'échelle du quartier urbain et cherche à caractériser selon quelles configurations urbaines, techniques, morphologiques, programmatiques et sociales peut-on concevoir la résilience d'un quartier urbain inondable ? En introduisant la résilience, il s'agit de « faire la vie en ville avec » l'inondation, plutôt que de chercher à s'en protéger en séparant les territoires de l'eau des territoires de la ville.

### DU CONCEPT À LA MÉTHODE

Ainsi posé, le concept de résilience implique une évolution de la gestion « habituelle » des zones soumises à un aléa selon la méthode des « 3P » (Prévision, Prévention, Protection) qui est en place sur le territoire français. ➤

à la fin du siècle. Environ 75 % de ces dommages sont recensés en milieu urbain. Actuellement, pour la France, le risque d'inondation a un coût moyen de 250 millions d'euros par an, soit 80 % du coût des dommages imputables aux risques naturels. Une commune sur trois est concernée, dont quelque 300 grandes agglomérations. Au total, 4,5 millions de personnes habitent dans 20 000 km<sup>2</sup> de zones inondables. Depuis des décennies, le coût financier lié à la gestion de ces risques est en pleine croissance. Actuellement, les systèmes assurantiels ne parviennent plus à maintenir leurs équilibres, ce qui

va impliquer des évolutions dans les mécanismes de solidarité. À une échelle plus locale, les retours d'expériences montrent que les réseaux, selon leurs défaillances ou leur continuité de services, prennent une importance cruciale dans la gestion des risques urbains. En effet, plusieurs dysfonctionnements urbains sont liés à la qualité des réseaux techniques et à leur criticité. Dans ce contexte de risques urbains, les réseaux techniques doivent être analysés par une approche transversale et bivalente portée par le génie urbain. Cela consiste, d'une part à caractériser les contraintes tech-

2- Ville de Mayence (Allemagne) en 1856.

3- Ville de Mayence en 1887.

4- Plan-masse du quartier de Zollhafen à Mayence.

2- City of Mainz (Germany) in 1856.

3- City of Mainz in 1887.

4- Layout plan of the Zollhafen district in Mainz.



## LA MÉTHODE ÉCOSSAISE DES 4 « A »

- L'**Awareness** consiste à faire en sorte que la population prenne conscience des risques d'inondations que représente la proximité avec le fleuve mais aussi des moyens pour lutter contre ceux-ci que cela soit au niveau :
  - de ceux qui prennent les décisions (politiciens et décideurs).
  - des professionnels (des institutions impliquées ou des autres).
  - du public (populations, entreprises, développeurs, compagnies d'assurance.)
- L'**Avoidance** consiste à limiter la vulnérabilité du territoire. Cela passe aussi par une reconstruction plus facile et plus rapide et donc par exemple par la formation de la population et des institutions à la reconstruction. Adapter les bâtiments et les infrastructures, jouer sur l'aménagement du territoire sont tout autant de moyens pour y parvenir.
- L'**Alleviation**, peut se traduire par le fait de contenir les eaux et donc de réduire les risques de crues, généralement par la mise en place d'éléments physiques ou techniques.
- L'**Assistance**, peut correspondre à la capacité des citoyens à se mobiliser avant, pendant et après l'inondation.

La méthode des 3P a pour but de mieux connaître l'aléa et de mettre en place des mesures structurelles et non structurelles (cartographie réglementaire) pour séparer le territoire urbain du territoire de l'eau (écoulement et expansion des crues). Si cette gestion séparant les 2 types de territoires paraît souvent légitime dans de nombreux sites urbains existants, elle est impossible et il convient d'y intégrer l'inondation.

En France, la réglementation actuelle cherche à séparer l'inondation et la ville, alors qu'en Europe, d'autres approches peuvent diverger. Il ne s'agit pas de réduire le risque par la suppression de l'eau sur ce territoire, mais bien de réduire le risque en intégrant l'eau dans le système urbain. Ainsi se met en place une gestion du risque qui intègre les aspects de vulnérabilité et de résilience au sein même de la forme et de la programmation urbaine.



5 © DR

Cette vision intégrative se rapproche de la méthode qui a été développée et testée par le gouvernement écossais, dite méthode des « 4A ». Le principe tire son nom des quatre mots anglais des thèmes qui la composent : *Awareness* (Sensibilisation), *Avoidance* (Évitement), *Alleviation* (Réduction des dommages), *Assistance* (Gestion de crise et remise en service). Quatre thèmes auxquels s'ajoute un cinquième thème transversal, « Compétences et Stratégies » qui permet d'engager les processus de ces quatre premières parties (voir encadré : La méthode écossaise des 4 « A »).

### LE QUARTIER RÉSILIENT DE ZOLLHAFEN (MAYENCE - ALLEMAGNE)

Le port de Zollhafen à Mayence, située -tout comme Francfort et Wiesbaden- dans une région peuplée de 4 millions d'habitants, est l'un des plus grands ports de conteneurs sur le Rhin Supérieur (transbordement de 1,6 millions de tonnes par an). En raison de l'évolution des exigences spatiales et des contraintes imposées à l'activité, l'infrastructure portuaire est actuellement déplacée sur un site industriel limitrophe bordant Zollhafen. Le déménagement de l'ancien port délaïsse ainsi une superficie de 22 hectares. Cet espace urbain libéré donne lieu à un programme de reconversion de la zone portuaire, qui prévoit à terme l'arrivée de 4 000 emplois et 2 500 habitants.

Ce projet transforme Zollhafen en un quartier de vie et augmente la compacité de la ville de Mayence, dans le but de ralentir l'expansion urbaine et de maîtriser l'accroissement des surfaces imperméabilisées.

La transformation des bassins portuaires doit prendre en compte le caractère inondable du site. Pour cela, la méthode des 4A est ici appliquée.



6



7

5- Ligne de défense contre les risques d'inondation.

6- Atelier « Awareness » de Mayence.

7- Couverture guide : Quartier résilient de Zollhafen - Mayence – Project Development Guide.

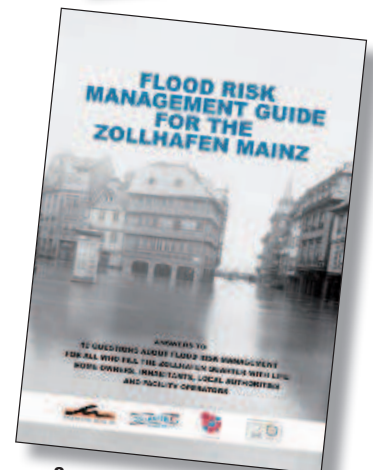
8- Couverture guide : Flood Risk Management Guide.

5- Line of defence against flood risks.

6- "Awareness" workshop in Mainz.

7- Guide cover page: Resilient district of Zollhafen - Mainz – Project Development Guide.

8- Guide cover page: Flood Risk Management Guide.



8



## 3 QUESTIONS À CORNELIA REDEKER

CO/R CITIES ON RIVER  
Spécialiste en urbanisme inondable,  
consultante à Zollhafen (Mayence)

### Pourquoi vous intéressez-vous à la ville inondable ?

Les zones urbaines inondables sont les zones présentant le potentiel de dommage parmi les plus élevés, bien au-delà des autres risques. Comme notre capacité d'adaptation à la crise est extrêmement limitée, nous devons planifier ces événements afin de concevoir la ville en conséquence. Il faut vérifier régulièrement que le risque est maîtrisé.

En tant qu'architecte, je suis sensible aux conflits qui existent entre la ville et son environnement. L'eau est une attraction en termes de cadre de vie, les activités et les services techniques entretiennent souvent des liens historiques et fonctionnels avec les cours d'eau. Cependant il existe parfois un risque d'inondation. En cela, le développement de paysages urbains résilients m'intéresse particulièrement. Pour construire la résilience, nous devons apprendre à penser et à coopérer au-delà de nos propres disciplines et ce, en amont de l'acte de construire.

### Comment concilier le projet urbain de Zollhafen et son architecture actuelle ?

Le quartier de Zollhafen à Mayence est un projet de reconversion du port. Hormis deux beaux bâtiments historiques, nous sommes entièrement libres dans son aménagement, ce qui est une situation privilégiée.

Cela permet d'intégrer le risque d'inondation en amont de l'aménagement et dans l'ensemble des plans urbains et architecturaux. En Allemagne, le développement urbain dans les plaines inondables peut se réaliser pour des contextes très spécifiques. Du fait de sa proximité du centre-ville et du projet de reconversion mis en oeuvre, le quartier de Zollhafen en fait partie. Des contraintes sont cependant imposées.

Le développement est permis uniquement à la condition de maintenir la capacité de rétention d'eau existante, et de concevoir des bâtiments adaptés. La société municipale de services publics propriétaire du port, et le ministère de l'Environnement de Rhénanie-Palatinat ont mis en place un partenariat dans le but de faire de ce quartier un projet-modèle d'urbanisme résilient. Le quartier Zollhafen fait partie du projet européen FloodResilientCity et bénéficie de l'échange avec les villes partenaires de ce projet.

Le développement du site de Zollhafen intègre la protection structurelle des systèmes techniques urbains. La résistance des infrastructures de transport et du système d'égouts en séparatif eaux usées-eaux pluviales est ainsi assurée. L'objectif est de placer toutes les infrastructures critiques au-dessus du niveau des crues extrêmes.

Pour les chantiers de construction, un certain nombre de critères ont été définis en fonction de l'emplacement.

Certaines parcelles de construction font partie de la ligne de défense, d'autres doivent être protégées individuellement. Le terrain à bâtir situé dans le bas du quai, zone de décharge de la rivière, doit résister à des courants et à la collision avec des objets charriés. Les parcelles fournissent également une capacité de stockage d'eau sur site, et des préconisations visent à rendre l'architecture plus résiliente aux inondations. Tous les logements sont élevés à un niveau de 1,2 et 1,4 mètre au-dessus du niveau des crues centennales, et les voies de secours sont hors d'eau jusqu'à une crue bi-centennale. Ces mesures visent à permettre aux habitants de rester dans leurs bâtiments même en cas d'inondation.

### Comment faire pour mettre en place ce concept d'awareness et faire prendre conscience aux usagers et gestionnaires que le territoire est inondable ?

La plupart des régions du quartier de Zollhafen ne sont inondables que par des crues centennales. Du fait de cette fréquence relativement faible des inondations, il est difficile de maintenir une conscience du risque parmi les habitants. Afin d'y remédier, nous avons donc développé, pour les espaces publics, le concept de niveaux d'eau dynamique. Ce concept a pour but de rendre visible les fluctuations du niveau de l'eau. Les espaces publics sont ainsi des marqueurs du niveau instantané et de la dynamique du fleuve. Pour assurer la communication dans la phase de conception, un manuel présente les exigences et possibilités supplémentaires offertes sur Zollhafen. La question formelle de l'adaptation du quartier aux inondations est centrale, mais il s'agit aussi, pour les concepteurs, d'un moyen de communiquer les paramètres spécifiques du site.

Un deuxième guide à destination des usagers du quartier informe de la conduite à tenir avant, pendant et après l'inondation. Certains aspects de la gestion des risques dépassent le périmètre de Zollhafen. Le manuel informe par exemple du plan d'urgence à l'échelle de la ville qui est développé en parallèle.

PROPOS RECUEILLIS PAR BRUNO BARROCA

Concernant l'hydrologie, à Mayence le débit dû à une crue bi-centennale (fréquence annuelle 1/200) est estimé à 8 000 m³/s, et 10 300 m³/s pour une crue millénaire (fréquence annuelle 1/1000).

Les nouvelles cartes représentant les risques d'inondation les plus fortes indiquent que les dispositifs structurels de défenses contre les inondations seront dépassés, et environ 60 000 habitants de la ville seront exposés.

Sur Zollhafen, un plan directeur précise

la disposition des bâtiments, la densité des espaces ainsi que les principes et stratégies de conception retenus pour adapter les constructions au risque d'inondation. L'objectif principal est d'éviter une évacuation des habitants et de permettre le maintien de la fonction logement pendant les inondations de fréquence bi-centennale. Les différentes stratégies et les outils d'urbanisme sont développés pour inciter les conceptions résilientes. Pour communiquer les exigences et les possibilités

de création pendant la phase de développement, deux manuels ont été développés- le *Project Development Guide* et le *Flood Risk Management Guide*.

Les espaces publics de Zollhafen seront conçus pour sensibiliser l'ensemble des usagers au risque. En préparation du concours, des ateliers ont eu lieu avec les architectes, designers urbains, chercheurs et services municipaux impliqués dans la gestion des risques d'inondation. Ces ateliers préparatoires ont démontré l'importance de la tête de

quai dans le dispositif de sensibilisation, ils ont aussi mis en lumière des conflits entre la réglementation municipale et des pistes de projet d'aménagement des espaces publics.

Le projet associe, dans le cadre d'un partenariat, la Société Stadtwerke Mainz (la compagnie des services municipaux) en tant que propriétaire du port, et le ministère de l'Environnement de l'état de Rhénanie-Palatinat. □

(1) - IPCC : International Panel on Climate Change.

## ABSTRACT

### FROM THE CITY THAT SEPARATES TO THE CITY THAT INTEGRATES

BRUNO BARROCA - DAMIEN SERRE

Against a backdrop of intensive urban spread and the city's increasing vulnerability to natural hazards, sustainable urban development measures must be taken, factoring in risk - such as flooding - as a key element in planning approaches. Thanks to urban engineering, an infrastructure such as a utility network is no longer dedicated solely to urban operation, but becomes both an actor and a resource for a region, thus acquiring great importance in local risk management. □

### DE LA CIUDAD QUE SEPARA A LA CIUDAD QUE INTEGRA

BRUNO BARROCA - DAMIEN SERRE

En un contexto de expansión urbana intensiva y de creciente vulnerabilidad de la ciudad frente a los riesgos naturales, es conveniente aplicar medidas de desarrollo urbano sostenible que integren los riesgos -como los de inundación- en las problemáticas de ordenación. Gracias a la ingeniería urbana, una infraestructura -como una red técnica- ya no se dedica únicamente al funcionamiento urbano, sino que se convierte en actor y recurso de un territorio, adquiriendo una gran importancia en la gestión de los riesgos locales. □





# RECONVERSION D'UNE FRICHE : DE LA VOLONTÉ POLITIQUE AU PROGRAMME

REPORTAGE DE MONIQUE TRANCART

**APS-ARCHITECTURE, SOCIÉTÉ COOPÉRATIVE (SCOP) SPÉCIALISÉE DANS LA TRANSFORMATION DU BÂTI ANCIEN, PROPOSE UNE MÉTHODE POUR MENER À BIEN LA DÉFINITION D'UN PROGRAMME SUR UNE ANCIENNE FRICHE INDUSTRIELLE. ELLE ASSISTE LES ÉLUS DANS L'ÉLABORATION D'UN PROJET ALLIANT BESOINS LOCAUX ET CONTRAINTES DU SITE EN QUESTION, PUIS D'UN PROGRAMME PRÉCIS. ELLE S'ENTOURE DE SPÉCIALISTES.**

Les friches industrielles sont convoitées pour leur gisement de foncier et de bâti, notamment quand elles se situent en centre-ville ou à proximité. Leur reconversion est l'occasion d'initier une démarche durable. En témoigne l'Établissement public foncier (EPF) de Normandie : « Initiée dès 1989 en Haute-Normandie, la politique de résorption des friches est montée en puissance, cofinancée dans le cadre des contrats de plan État-Région et avec le Fonds européen de développement régional. L'objectif était initialement de supprimer des "verrous" dans le paysage qui nuisaient à l'image touristique de la Normandie. À côté de cet objectif et grâce à des moyens accrus, s'est progressivement

*imposée la préoccupation du renouvellement urbain, la reconversion de friches contribuant alors aussi à la lutte contre l'étalement en produisant du foncier bien situé et déjà desservi en transports. »*

Les collectivités locales qui disposent de tels sites sur leur territoire peuvent s'appuyer sur les EPF pour les aider à en tirer le meilleur parti en termes de développement local. « Notre rôle consiste à mobiliser des moyens d'ingénierie et financiers afin d'acquérir des terrains pour le compte des collectivités, en vue de constituer des réserves foncières dont disposeront ces maîtres d'ouvrage une fois leur projet prêt à démarrer, développe Stéphane Maillet, directeur aménagement

et travaux de l'EPF Normandie. Nous leur permettons ainsi de maîtriser le foncier pour des projets qu'elles soutiennent, d'en disposer à un coût déterminé sans qu'elles aient besoin de mobiliser trop tôt de la trésorerie pour cela. » Élus locaux et représentants des chambres consulaires siègent au conseil d'administration.

## FRICHE : LIEU DE DÉVELOPPEMENT LOCAL

Le renouvellement urbain conduit à élargir l'activité d'études de l'EPF qui réalise aussi du « recyclage » de foncier dégradé. La nature des travaux réalisés sous maîtrise d'ouvrage de l'Établissement public a évolué, incluant les démolitions, le pré-verdissement

(espaces verts), la réhabilitation de l'enveloppe des bâtiments présentant un intérêt patrimonial et, plus récemment, la dépollution des sols. L'EPF commande aussi des études d'aide à la programmation de projets futurs. Par exemple, il travaille avec un groupement de bureaux d'études rassemblés autour des architectes d'APS, Aline Maréchaux et Pascal Colné, pour définir une programmation et un chiffrage estimatif d'équipement sur le site de l'ancienne usine textile Audresset à Louviers (Eure). « Nous sommes spécialisés dans la transformation du bâti ancien sans a priori sur sa destination, explique Aline Maréchaux, architecte-programmiste. Travailler sur le patrimoine implique de s'inscrire dans la





1  
© APS

continuité et dans la réutilisation de ce qui existe. La maîtrise d'ouvrage veut savoir ce qu'il est possible de faire de telle friche. Sa préoccupation est de développer son territoire d'un point de vue économique, en offrant du logement, de l'activité, des espaces socioculturels, etc. Pour cela, elle a besoin d'être aidée dans sa réflexion et conduite vers un choix, nourri par différents scénarios de reconversion. Nous nous chargeons de ces études préalables qui s'appuient sur des diagnostics précis pour déboucher sur la présentation de scénarios. Nous associons nos compétences en patrimoine et en écologie de la construction à celles de spécialistes du développement des territoires, du paysager et de l'urbanisme, de la technique des sols et des structures, et des coûts, avec qui nous répondons aux appels d'offres. »

#### FAISABILITÉ TECHNIQUE ET FONCTIONNELLE

Ce travail très en amont des projets de maîtrise d'œuvre procède par étapes. Il suppose que les élus aient déjà eu une réflexion politique sur ce qu'ils veulent et aient établi un cahier des charges comportant des objectifs et des moyens.

« Notre démarche part toujours de la compréhension du contexte, c'est-à-dire l'histoire du site, le territoire et l'organisation, développe Aline Maréchaux. Dans les bâtiments existants, la notion d'usage (comment les utilisateurs se servent d'un lieu) est essentielle. Nous allons analyser le fonctionnement du site à l'échelle urbaine, la répartition des bâtiments et la possibilité d'une division éventuelle de la

**1- L'ancienne usine textile Audresset de Louviers (Eure) longe l'Eure et est accessible par une route étroite. Sa reconversion en lieu d'activités de loisirs et de rassemblement, implique de l'ouvrir davantage sur l'extérieur.**

**1- The former textile plant of Audresset de Louviers (Eure region) stands alongside the Eure River and can be accessed via a narrow road. Its redevelopment as a leisure activity and meeting venue implies greater openness to the outside.**

« **TRAVAILLER SUR LE PATRIMOINE IMPLIQUE DE S'INSCRIRE DANS LA CONTINUITÉ ET DANS LA RÉUTILISATION DE CE QUI EXISTE** »

parcelle si celle-ci est envisageable. » À ce stade, l'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) suscite une émulation propice à l'émergence d'activités potentielles avec, d'un côté, ce que la collectivité aimerait faire, et de l'autre, ce qu'il est possible de faire. L'équipe d'assistance à maîtrise d'ouvrage va ensuite préfigurer la faisabilité technique et fonctionnelle, et le budget que peut représenter tel ou tel projet. Elle invite l'architecte des bâtiments de France aux réunions de concertation dont l'un des objectifs est de repérer les verrous qui se révéleraient par la suite et de trouver en amont l'approbation d'un maximum d'acteurs sur l'essentiel du projet.

#### AVANT LE DESSIN DE L'ARCHITECTE

L'AMO imagine alors plusieurs scénarios avec leurs grandes orientations, leur incidence urbaine, en apprécie la faisabilité et l'enveloppe financière. « En ce qui concerne le site d'Audresset de Louviers, nous en sommes à la phase de présentation des scénarios à la Communauté d'agglomération Seine-Eure, informait Hélène Berthaume, architecte chargée de l'opération à l'EPF, en décembre 2011. L'étude de programmation urbaine, conduit, à partir du diagnostic des atouts et des contraintes du site, d'une part, et de l'état des besoins en forci-er sur le territoire, d'autre part, à proposer des scénarios de réaffectation des espaces sur le site. Ensuite, sur la base du scénario choisi par la collectivité (NDLR : décision politique), l'étude apportera des éléments d'éclairage des conditions techniques et

financières dans lesquelles il peut être mis en œuvre. » Une fois le scénario idéal co-produit en comité de pilotage et retenu, reste encore à l'approfondir puis à élaborer un schéma directeur où vont figurer l'emplacement des activités souhaitées mais sans détails intérieurs. Vient ensuite le programme lui-même, cahier des charges cette fois détaillé, en vue de la consultation du futur maître d'œuvre ou aménageur. « À ce stade, ce n'est donc pas encore un projet dessiné par un architecte, » souligne Aline Maréchaux.

#### AMBIANCES PAYSAGÈRES À PRÉSERVER

Tout au long des études préalables, le dialogue entre bureaux d'études est intense et permanent. Les membres de l'équipe se répartissent les tâches selon leur spécialité. APS qui coordonne l'ensemble et synthétise les analyses, s'occupe plus particulièrement des aspects patrimoniaux avec l'architecte des Bâtiments de France, de l'étude urbaine (à l'échelle de l'emprise) et du diagnostic fonctionnel (répartition des bâtiments, division spatiale possible du site).

Parallèlement, des urbanistes spécialistes du développement local comme le GIE Nouveaux territoires Consultants (NTC) vont analyser à quels objectifs plus larges pourraient répondre les orientations d'aménagement d'un quartier : la collectivité a-t-elle besoin de logements, de bureaux, d'équipements municipaux, culturels ? Autrement dit, il s'intéresse au site inscrit dans un territoire, et à différentes échelles, celles du quartier, de la commune, de l'agglomération, du canton, etc. ▷





2 © APS



3 © APS



4 © APS



5 © APS

2- Le cloître de l'ancienne abbaye est la trace ultime de l'esprit des lieux.

3- L'ancienne abbaye domine le secteur ancien de Saint-Maixent-l'École (Deux-Sèvres). Le site est clôturé et isolé depuis l'époque du monastère puis de l'armée. L'enjeu de son ouverture sur la ville devient primordial dans la réflexion sur sa reconversion.

4- La salle capitulaire, de grande valeur patrimoniale, a pour vocation de rester un espace mutualisé entre toutes les activités qui prendront place sur le site.

5- Cour Ouest et perception du parvis de l'église : les bâtiments annexes peuvent accueillir de l'habitat pour seniors. Il s'agira de rouvrir ponctuellement l'espace de la cour sur le parvis de l'église au Nord.

2- The cloister of the old abbey is the last sign of the spirit of the location.

3- The old abbey overlooks the old sector of Saint-Maixent-l'École (Deux-Sèvres region). The location has been fenced and isolated since the period of the monastery and then the army. The issue of its openness to the city has become of prime importance in thinking about its redevelopment.

4- The capitular hall, of great heritage value, is designed to remain a space shared by all the activities that will take place on the site.

5- West court and view of the church square: the outbuildings could provide housing for senior citizens. The aim is to re-open the court area at various points onto the church square in the North.

« Nous accompagnons les élus dans la formalisation d'un projet politique et de son contenu, précise Thierry Dubus, un des quatre associés de NTC.

Nous les incitons à expliciter le sens politique d'une intervention patrimoniale, économique ou touristique. »

L'ambiance paysagère d'une friche s'analyse aussi à plusieurs échelles. « À Louviers, notre rôle a consisté à raccrocher l'emprise de l'ancienne usine au cadre plus large et aux développements envisagés par la ville sur les bords de l'Eure, développe Christine Larousse, urbaniste à Interscène, société d'urbanisme et de paysage.

Nous avons étudié la rivière qui longe la parcelle, les domaines proches (châteaux), les entités paysagères et les liens entre elles, ainsi que les éléments bloquants comme la voie ferrée. Dans un deuxième temps, nous nous sommes resserrés sur l'étude paysagère du site lui-même : arbres remarquables, ambiances à préserver, boisement le long de la voie ferrée, dépression humide au centre du terrain qui peut éventuellement être conservée voire renforcée en fonction du projet. »

## CONJUGUER TECHNIQUE ET ARCHITECTURE

Le diagnostic technique, indispensable à la programmation d'une reconversion, n'est pas toujours perçu à la hauteur de ses enjeux, observe Serge Lombardi, responsable technique national sol-structures de Dekra Inspection : « La maîtrise d'ouvrage s'intéresse davantage au futur et elle a l'impression qu'elle connaît déjà l'existant. Or, l'état sanitaire des bâtiments influe considérablement sur les coûts. Il oriente les choix possibles (NDLR : bâtiment conservable/à démolir, poches de terrain à dépolluer, etc.). »

L'architecte intervenant au stade des études préalables et la maîtrise d'ouvrage doivent pourtant bien connaître l'état et la composition du bâti pour opérer leurs choix.

« L'ingénieur structures doit intervenir dès le départ de la réflexion, affirme Serge Lombardi. Il observe le système porteur, sa stabilité, sa solidité, s'il est réparable, s'il peut supporter une extension verticale. Il regarde aussi les aspects thermiques. Un mur de 70 cm d'épaisseur sera intéressant à conser-

ver vu sa capacité isolante. » Sur une autre friche textile, en Seine-Maritime, le diagnostic technique montre que les murs en briques de 40 cm d'épaisseur, la charpente, les poteaux et poutres en acier, méritent d'être laissés en place. De plus, cette usine textile désaffectée présente une façade remarquable.

« Des passages transversaux pourront être percés là où la façade est dégradée à cause d'infiltrations d'eau et là où la pollution dans le sol est telle qu'il faudra excaver des terres, » précise Serge Lombardi dont le rôle inclut l'interprétation du diagnostic de pollution (contraintes, travaux à faire, utilisations possibles des surfaces...). Sur ce site, une rivière souterraine traverse la parcelle. La conduite, en partie effondrée, provoque des inondations. Ouvrir le sol et mettre au jour le cours d'eau résoudraient le problème tout en cassant la raideur industrielle et en valorisant le futur projet.

## COÛT : RATIOS SPÉCIFIQUES

Enfin, le chiffrage des travaux est le critère de choix essentiel pour les élus. « Chaque scénario donne lieu à



6- Vue de l'enceinte Sud-Ouest, clôture imposante du fait de la topographie : cette caractéristique historique devra être respectée.

7- Les deux scénarios envisagés sur la friche industrielle Audresset à Louviers (Eure) prennent en compte les souhaits exprimés par les acteurs locaux et les contraintes telles que l'état du bâti, la zone inondable, les poches de pollution du sol, etc.

8- Bords de l'Eure le long de l'usine textile de Louviers : à noter l'importance de la rivière dans le projet, son impact paysager, son offre d'activités nautiques et... les risques d'inondation.

6- View of the south-west enclosure, an imposing fence due to the topography: this historical characteristic must be preserved.

7- The two scenarios considered on the Audresset industrial waste land at Louviers (Eure region) take into account the wishes expressed by the local people and constraints such as the condition of the buildings, the area subject to flooding, soil pollution pockets, etc.

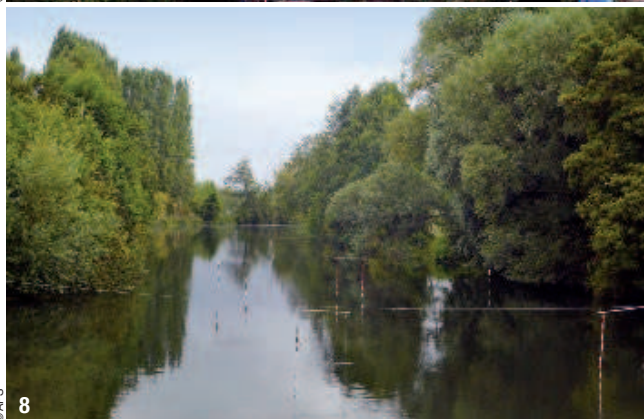
8- Edges of the Eure alongside the Louviers textile plant: note the importance of the river in the project, its landscape impact, the nautical activities it offers and... the risks of flooding.



6 © APS



7 © APS



8 © APS

Cependant, il doit écarter le risque d'erreur alors qu'il ne dispose que de plans avec de grandes masses, des niveaux de prestations et de typologie d'espace par fonction (logement social, hôtel, université, bureaux, ateliers). L'économiste ne donne pas de montant par lot comme c'est le cas en phase maîtrise d'œuvre. Il calcule des ratios au mètre carré par fonction architecturale - structure, couverture-charpente, distributions, circulations - et éventuellement des sous-ratios (part de la remise en état, part à créer, etc.).

En outre, l'expérience l'a incité à ajouter une « incidence pour création » au cas où le futur maître d'œuvre apporte une réponse différente de celle imaginée à l'issue des scénarios, et qui emporte l'adhésion de la maîtrise d'ouvrage. ►

un chiffrage sur le ou les bâtiments selon leur état et leur importance, ainsi que sur la voirie et les réseaux divers quand un ensemble de bâtiments entre dans une vie commune,

explique Pierre Saboureau, économiste de la construction, cogérant de Saboureau Ingénierie.

Le prix comprend la remise en état et aux normes de l'existant, la confortation

du bâti conservé, les démolitions pour vétusté ou inutilité (mur de refend, partie de façade), et, quand un programme précis a été retenu, le coût du projet dans son nouveau fonctionnement. »



## L'EX-CASERNE CANCLAUX À SAINT-MAIXENT-L'ÉCOLE (DEUX-SÈVRES)

À GAUCHE, ÉTAT ACTUEL ; À DROITE, LE PROJET



9- À gauche, état actuel de l'ex-caserne Canclaux à Saint-Maixent-l'École (Deux-Sèvres) ; à droite, le projet. Les flèches rouges indiquent les circulations souhaitables pour inscrire le futur site dans la vie urbaine.

9- On the left, present state of the former Canclaux barracks in St-Maixent-l'École (Deux-Sèvres) ; on the right, the project. Red arrows indicate the advised paths for urban traffic.

9 © APS

### APPROCHE VISUELLE ET SENSORIELLE

L'économiste s'implique avant la phase chiffrage : « Dès le départ, je visite le site avec les autres membres de l'équipe, j'ai besoin d'une approche visuelle et sensorielle pour bien répondre à la demande, confie Pierre Saboureau. C'est important de capter comment la maîtrise d'ouvrage perçoit le patrimoine, comment s'oriente sa volonté politique. »

Le chiffrage comprend les travaux ainsi que les honoraires (architecte, bureau d'études et de contrôle), et éventuellement les frais financiers, assurances, frais de notaire, etc. Pierre Saboureau aimerait que les maîtres d'ouvrage s'intéressent davantage, pour prendre leur décision, à une autre notion, celle de coût global comprenant les dépenses pendant la durée de vie des bâtiments.

### CANCLAUX : S'APPROPRIER L'EMPRISE D'UNE CASERNE ET L'INSÉRER DANS LE TISSU URBAIN

Le site de Canclaux à Saint-Maixent-l'École (Deux-Sèvres) va s'ouvrir sur la ville et participer à sa revitalisation alors que, pendant des siècles, il a été une enclave.

Ce changement majeur a été décidé à l'issue de l'étude de la reconversion de la caserne commandée à APS Architecture par le ministère de la Défense, propriétaire des lieux (1 hectare dont la moitié bâtie), afin d'évaluer le prix auquel il pouvait la céder.

La ville, réticente, a finalement été convaincue de son intérêt à l'échelle urbaine. Elle obtient de l'acquiescer à un prix raisonnable et entrevoit des aménagements publics et privés.

L'étude rappelle que cet emplacement, îlot fondateur de la ville ancienne, est d'abord occupé par le pouvoir religieux.

L'abbaye est reconstruite au XVII<sup>e</sup> siècle avant de devenir une caserne fin XIX<sup>e</sup>, conservant certains vestiges comme le cloître et la salle capitulaire.

En 1889, l'enclos monastique est percé d'une rue.

Pour décider concrètement des destinations possibles de l'ensemble des bâtiments, Nouveaux territoires Consultants, partenaire d'APS sur l'étude, a d'abord recherché quels pouvaient être les besoins de la collectivité locale située en périphérie de Niort, agglomération en développement : « Nous avons aidé les élus à formaliser ce que le site

pouvait apporter à un projet plus large de développement social, économique et urbain de la ville, » indique Thierry Dubus, associé.

L'examen du fonctionnement de la ville a révélé que la caserne se situe sur une ligne Nord-Sud de propriétés communales, ce qui permet d'envisager de transformer la partie Est de l'emprise en un espace public, en lien d'une part, avec le Sud vers la vallée, les faubourgs, la gare et, d'autre part, avec la rivière et l'Ouest en direction de quartiers résidentiels.

Concrètement, il s'agira donc de démolir les bâtiments fermant la cour à l'Est, de créer un cheminement à l'intérieur de l'ex-caserne, et d'installer des équipements publics dans la partie Est conservée, réhabilitée et agrandie là où nécessaire.

L'Est, ainsi dégagé, pourra recevoir un jardin et une place. Les bâtiments du cloître pourraient abriter une médiathèque, une école de musique, des salles de séminaire et de réunion avec hébergement et restauration, et des logements (seniors et célibataires), ces deux dernières propositions pouvant être confiées à l'investisseur.

La ville a enclenché la réalisation de plusieurs actions.

## CANCLAUX : PRINCIPAUX INTERVENANTS ET CHIFFRES-CLÉS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE STADE ÉTUDES** : Ministère de la Défense ; transfert à la ville de Saint-Maixent-l'École (Deux-Sèvres).

**LIEU** : Caserne Canclaux (10 650 m<sup>2</sup> dont 5 254 bâtis).

**ÉTUDE DE RECONVERSION** : APS Architecture (mandataire), Michel Trubert (Architecte en chef des Monuments Historiques), Nouveaux territoires Consultants (développement du territoire) et cabinet Virtz (économie de la construction).

**DATES ÉTUDE** : 2009-2010.



© APS

10

Le cloître de l'ancienne abbaye vient d'être inscrit à l'Inventaire supplémentaire des monuments historiques. Une étude détaillée des structures a permis de préciser les travaux et une étude de faisabilité d'une médiathèque neuve ou incorporée à l'existant va être lancée.

#### **LOUVIERS : DEUX SCÉNARIOS DE RECONVERSION D'UNE USINE TEXTILE**

La reconversion de l'usine textile Audresset à Louviers (Eure) arrive en phase de présentation des scénarios de réaménagement aux élus de la

Communauté d'agglomération Seine-Eure. Deux scénarios sont envisagés avec leurs avantages, leurs contraintes et leurs coûts, suite aux diagnostics réalisés en amont par l'équipe réunie autour d'APS-Architecture par l'Établissement public foncier Normandie, qui a acquis le site en 2010 pour le compte des collectivités locales en présence.

Le premier scénario conserve autant que possible les bâtiments existants mais renonce à garder ceux dont l'état sanitaire est jugé préoccupant.

Le second simule la démolition de l'ensemble, à l'exception de quelques parties témoignant du passé, et reconstruit davantage en neuf. Les deux arrivent à des coûts similaires.

Les activités que pourrait accueillir le site ont été sélectionnées à l'issue des besoins exprimés et des diagnostics. Il s'agit d'espaces de rassemblement (lieu de culte, salle de réunions familiales), de sports et loisirs (centre de loisirs, canoë-kayak, pétanque, skate-parc, parcours santé, etc.) sans oublier la surface de stockage, des bureaux, des parkings, et les aménagements paysagers. Le site, auquel on accède actuellement par une voie étroite, pourrait être doté de plusieurs entrées, l'ouvrant davantage sur la ville. □

**10- La question se pose de conserver les bâtiments de l'ancienne filature vu leur état.**

**10- The question is whether to keep the buildings of the former textile mill given their condition.**

#### **LOUVIERS : PRINCIPAUX INTERVENANTS ET CHIFFRES-CLÉS**

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Établissement public foncier Normandie (études amont) et Communauté d'agglomération Seine-Eure.

**SITE :** Ancienne usine textile à Louviers (Eure), 5 ha proches du centre-ville.

**DATES ÉTUDES :** 2011 / 2012.

**INTERVENANTS ÉTUDES AMONT :** APS-Architecture (mandataire), Nouveaux territoires Consultants (développement du territoire), Interscène (urbanisme et paysage), IPC (diagnostic technique) et Saboreau Ingénierie (économie de la construction).

#### **ABSTRACT**

### **REDEVELOPMENT OF WASTE LAND: FROM THE POLITICAL DECISION TO THE PROGRAMME**

MONIQUE TRANCART

*APS-Architecture, a producers' cooperative ("Scop") specialised in the conversion of old buildings, proposes a method for the design of a programme on a former industrial waste land. It assists the elected authorities in working out a plan taking into account both local needs and the constraints of the site in question, followed by a precise schedule. It works surrounded by specialists. □*

### **RECONVERSIÓN DE UNA ZONA INDUSTRIAL EN DESUSO: DE LA VOLUNTAD POLÍTICA AL PROGRAMA**

MONIQUE TRANCART

*APS-Architecture, sociedad cooperativa y participativa (Scop) especializada en la transformación de construcciones antiguas, propone un método para llevar a cabo la definición de un programa en una antigua zona industrial en desuso. Presta asistencia a los cargos electos en la elaboración de un proyecto que combine las necesidades locales y las limitaciones del emplazamiento en cuestión, seguido de un programa preciso. Además, cuenta con la colaboración de especialistas. □*





1- Vue du chantier de la Tour Odéon : des enjeux complexes en termes de maîtrise des nuisances sonores.

1- View of the Tour Odéon construction site: complex noise nuisance management challenges.

© CÉDRIC HELSLEY



# LA GESTION DES NUISANCES SONORES DES CHANTIERS URBAINS : L'EXEMPLE DE MONACO

AUTEURS : LAURENT DROIN & GIOVANNI FAROTTO - SOLDATA ACOUSTIC

LA MAÎTRISE DES NUISANCES SONORES DE CHANTIERS POSE PLUSIEURS PROBLÈMES, LIÉS D'UNE PART AUX ACTIVITÉS ET OPÉRATIONS TECHNIQUES, BRUYANTES PAR NATURE, D'AUTRE PART À UN CONTEXTE DE VOISINAGE SOUVENT SENSIBLE EN MILIEU URBAIN, MAIS AUSSI À UNE « GOUVERNANCE » COMPLEXE ENTRE ACTEURS CONCERNÉS ET À UN CADRE RÉGLEMENTAIRE INADAPTÉ. LES POLITIQUES EN FAVEUR DU DÉVELOPPEMENT DURABLE MISES EN ŒUVRE PAR LA PLUPART DES COLLECTIVITÉS INCITENT À DES DÉMARCHES VOLONTARISTES DE GESTION DES NUISANCES, DE TYPE « CHANTIER VERT », MAIS L'EXEMPLE DE LA PRINCIPAUTÉ DE MONACO EST PLUS PRAGMATIQUE, AVEC L'APPLICATION D'UNE NOUVELLE CIRCULAIRE À VOCATION PRÉVENTIVE, VISANT À MIEUX ANTICIPER POUR OPTIMISER LA PERTINENCE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES ACTIONS. SOLDATA ACOUSTIC FAIT PART DE SON RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR CES PREMIÈRES ÉTUDES D'IMPACT ACOUSTIQUE DE CHANTIERS, ET DES PERSPECTIVES QUI EN DÉCOULENT.

## PEUT-ON RÉALISER UN CHANTIER DE CONSTRUCTION SANS FAIRE DE BRUIT ?

Évidemment, non.

Pour autant, peut-on travailler dans le domaine public sans se préoccuper de la question des nuisances sonores occasionnées dans l'environnement proche ? Non plus, au moins en milieu urbain.

On pourrait toujours se réfugier derrière le fait que les nuisances induites par un chantier de travaux publics sont en quelque sorte la rançon du progrès, le prix à payer pour l'aménagement de la Ville, le développement durable, l'intérêt général... On pourrait arguer du fait que cela ne dure qu'un temps, ou considérer que l'objectivation en matière de gêne sonore est bien difficile, ou encore prétexter que les textes réglementaires sur les bruits de chantiers sont sujets à interprétation, voire inapplicables.

On peut même - à juste titre - soutenir que les bruits en Ville ne sont pas toujours source de nuisances, qu'ils peuvent être présents sous des formes positives, contribuant à l'ambiance urbaine, porteurs d'informations vitales, ou caractéristiques d'une identité au même titre que le paysage.

## UNE RÉGLEMENTATION POUR QUOI FAIRE ?

Et pourtant, même s'il n'atteint pas des niveaux dangereux pour l'audition, le bruit dans l'environnement urbain

provoque des effets connus sur la santé, tels que troubles du sommeil, hypertension, stress... On sait aussi qu'il a un impact sur les performances au travail ou plus globalement sur la

qualité des relations sociales. Le récent rapport de la mission d'information sur les nuisances sonores de l'Assemblée Nationale<sup>(1)</sup> dresse un état des lieux très complet de la gestion du risque bruit aujourd'hui en France, sur les plans scientifique, technique, économique, réglementaire. Concernant ce dernier aspect, le rapport évoque sans complaisance l'aspect *abondant et complexe* de la réglementation française, au contenu impressionnant, mais en réalité plutôt inadapté pour jouer un rôle préventif efficace.

Le cas des bruits de chantiers est symptomatique.

La réglementation encadrant ces nuisances sonores est celle des bruits de voisinage. Or, sur le plan législatif et réglementaire, on appelle « *bruits de voisinage* » l'ensemble des bruits qui ne font pas l'objet d'une réglementation spécifique !

Alors que la spécificité des bruits de chantiers, ne serait-ce qu'en raison de leurs caractéristiques physiques (intensité, variabilité...) et de leur caractère d'« utilité publique » pour la cause du développement urbain, mériterait certainement une prise en charge à la fois plus fine et plus souple. ▶

## UNE DÉMARCHE D'ANTICIPATION ET D'ACCOMPAGNEMENT

La méthode de travail mise en œuvre est la suivante :

- **Analyse de l'environnement sonore préexistant et des sensibilités du voisinage (typologie d'habitat résidentiel, présence d'établissement d'enseignement ou de santé, ...), par investigations de terrain et mesures acoustiques.**
- **Modélisation acoustique des différentes phases de gros oeuvre à venir, et calculs de leur impact prévisionnel dans l'environnement immédiat.**
- **Analyse comparative des niveaux sonores prévisibles au droit des façades exposées en regard des seuils à respecter (dépendant de la situation initiale).**
- **Proposition de recommandations, d'ordre technique ou organisationnel, pour contenir les impacts sonores en deçà des seuils, en tenant compte des dispositions constructives et des diverses contraintes de chantier.**
- **Si besoin, fourniture d'une aide à la communication en cas de difficulté à satisfaire les objectifs en toute circonstance.**



D'autant que la dernière enquête sur le thème des nuisances sonores<sup>(2)</sup> montre que, si la principale source de nuisance sonore en milieu urbain ou périurbain reste logiquement liée aux transports, ce sont - parmi les bruits liés aux activités - les travaux et chantiers qui gênent le plus les Français (31 %), bien devant les activités industrielles et artisanales, la collecte des déchets ou les établissements musicaux.

La réglementation française relative aux bruits de chantier (voir encadré) a le mérite d'une certaine souplesse, liée à des exigences de moyens plus que de résultats, mais elle est difficilement applicable au sens strict. Elle oblige ainsi les maîtres d'ouvrages, dès lors que le contexte du chantier est « sensible », soit à prendre des risques sur le bon déroulement du chantier, soit à reporter ce risque sur les entreprises, qui devront alors prendre leurs dispositions pour assumer ce risque, sans toujours en avoir la maîtrise complète ni en appréhender la finalité...

**L'APPROCHE VOLONTARISTE DE LA PRINCIPAUTÉ DE MONACO**

La principauté de Monaco, qui représente un véritable vivier de chantiers urbains complexes, avec un fort degré de sensibilité, a initié une démarche novatrice d'anticipation et de gestion des nuisances sonores de chantiers,

**CHANTIER URBAIN : LES BÉNÉFICES DE L'ÉTUDE D'IMPACT ACOUSTIQUE PRÉVISIONNEL**

- La réduction des risques de litige, voire de restriction des horaires ou, pire, de suspension des travaux.
- L'optimisation des mesures de réduction ou compensation des nuisances, toujours plus chères « après-coup ».
- L'amélioration des relations de confiance entre les parties prenantes.
- L'optimisation des coûts de communication ou médiation en cours de chantier.
- La mise en cohérence du plan d'organisation du chantier sur les différentes thématiques d'économie d'énergie et de gestion environnementale (déchets, poussières, bruit...).
- L'optimisation des dispositifs de monitoring acoustique et vibratoire permettant, le cas échéant, de suivre les données pertinentes en cours de chantier.
- La valorisation d'une stratégie d'entreprise ouvertement « RSE », le respect d'une charte « chantier vert » ou autre engagement volontariste de ce type.

qui s'est traduite récemment par un projet de réglementation spécifique<sup>(3)</sup>. Celle-ci préfigure probablement les approches qui seront prescrites demain en France, d'autant que les pratiques sur les études d'impact de projets changeront en 2012 suite à la récente évolution réglementaire sur le sujet<sup>(4)</sup>. La procédure, élaborée avec l'aide

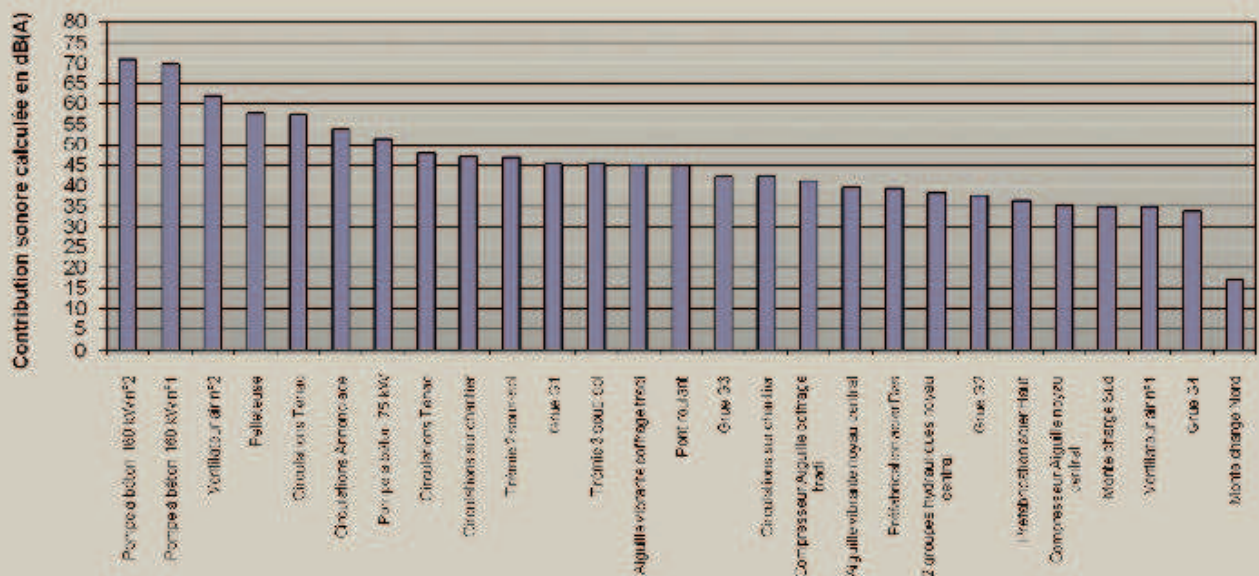
d'Acoucité, l'observatoire du bruit du Grand Lyon<sup>(5)</sup>, vise d'abord un objectif préventif : elle consiste à intégrer *en amont de l'acte de construire* une réflexion relative à l'impact sonore d'un chantier sur le voisinage et aux mesures qui seront à mettre en œuvre lors de l'exécution des travaux. L'engagement porte sur la réalisation d'une

étude préalable des bruits de chantier, signée par un bureau d'études spécialisé et le maître d'ouvrage. Cette étude est fondée non pas sur des mesures (le chantier n'est en général pas encore en place) mais sur une modélisation prévisionnelle des bruits émis, lors des différentes phases sensibles du chantier :

2- Histogramme des contributions sonores prévisionnelles en façade d'un bâtiment proche d'un chantier, pour les différentes sources prévues.

2- Bar chart of foreseeable noise contributions on the facade of a building close to the site, for the various expected sources.

HISTOGRAMME DES CONTRIBUTIONS SONORES PRÉVISIONNELLES EN FAÇADE D'UN BÂTIMENT PROCHE D'UN CHANTIER, POUR LES DIFFÉRENTES SOURCES PRÉVUES



© SOLDATA ACOUSTIC 2

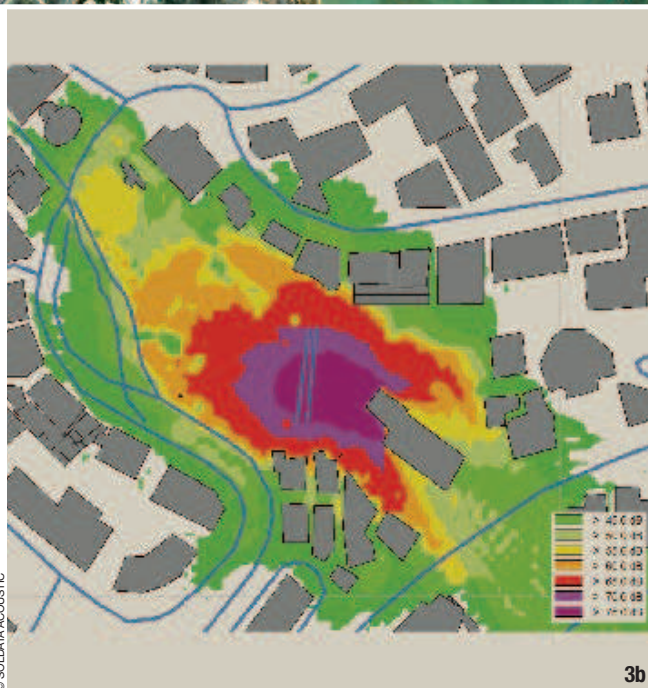


© SOLDATA ACOUSTIC

3a

**3a & 3b- Cartographie globale en 3D, et zoom en 2D du bruit autour de 2 chantiers.**

**3a & 3b- Overall 3D map, and close-up 2D view of noise around two construction sites.**



© SOLDATA ACOUSTIC

3b

évaluation quantifiée des bruits générés, en fonction des activités, périodes, etc., et de leur impact dans le voisinage, en fonction de la situation pré-existante (notion d'émergence sonore) et de la vulnérabilité des populations exposées.

Cette approche est parfaitement inscrite dans les règles de l'art pour les projets d'infrastructures de transport ou les projets d'installations industrielles soumises à autorisation (ICPE), mais elle n'est absolument pas usuelle pour les chantiers, sans doute en raison de

leur caractère provisoire et fluctuant. Certainement aussi en raison des difficultés à connaître à l'avance les données d'émission sonore des divers process qui seront utilisés (puissance, localisation, durées, etc.). C'est la raison pour laquelle l'expertise acoustique est primordiale à ce stade, car l'acousticien doit déployer des compétences techniques pointues tout en prenant le recul nécessaire pour aller à l'essentiel en fonction des enjeux réels.

Cette étude préalable doit évidemment être considérée comme un investisse-

ment car elle s'accompagne de bénéfices certains (voir encadré).

Par ailleurs la circulaire Monégasque prévoit, outre l'étude d'impact prévisionnel, la fourniture d'un descriptif des dispositions techniques et organisationnelles visant à prévenir et limiter les nuisances sonores de chantier, ainsi qu'un descriptif du plan de communication à destination des riverains potentiellement impactés : il est évident que la réflexion menée lors de l'étude préalable facilite grandement la production et la cohérence de ces 2 descriptifs.

## LE RETOUR D'EXPÉRIENCE DE SOLDATA ACOUSTIC

Après avoir réalisé la cartographie du bruit et contribué à l'élaboration d'un plan d'actions de maîtrise de l'environnement sonore sur l'ensemble du territoire de la Principauté, dès 2004 (bien avant la transposition Française de la directive européenne sur le sujet !), SolData Acoustic a été retenue par les Services de l'État Monégasque pour mettre en application cette démarche expérimentale sur les trois premiers chantiers soumis à cette exigence sur le territoire.

Société pionnière dans le management de l'environnement sonore, SolData Acoustic a en effet pour mission d'aider ses clients à évaluer, gérer et optimiser les impacts sonores et vibratoires de projets dans les domaines des infrastructures de transports, de la ville et du patrimoine bâti, de l'énergie et de l'industrie. En tant que filiale spécialisée du Groupe SolData<sup>®</sup>, leader dans la maîtrise des risques structurels, géophysiques et environnementaux liés à la construction et à l'exploitation d'ouvrages et installations, la société SolData Acoustic combine ainsi une expertise reconnue en acoustique et un savoir-faire robuste en matière de chantiers. Les trois opérations ayant fait l'objet de la démarche d'analyse prévisionnelle sont :

- Travaux d'extension et réaménagement du poste électrique Sainte-Dévote.
- Réalisation d'une crèche et de logements sociaux dans le secteur de l'Îlot Canton.
- Construction de la Tour Odéon, chantier majeur de la Principauté (figure 1).

Même si le périmètre d'un chantier urbain est restreint, la modélisation acoustique d'une zone de travaux est souvent plus complexe que celle d'une route, d'une usine ou même d'un aéroport : les activités font appel à certains process très bruyants (forage ou battage de pieux, BRH, pompe à béton, sciage...) et les sources de bruit sont particulièrement fluctuantes dans le temps, souvent mouvantes dans l'espace ; certaines dépendent de la nature du sol ou de la topographie, parfois des opérateurs, de la météo, etc. Il s'agit de calculer la contribution sonore de chaque source au droit des façades riveraines, pour pouvoir hiérarchiser les enjeux de réduction des nuisances (figure 2), et optimiser les solutions. Le modèle acoustique est réalisé à l'aide du logiciel CadnaA, dédié à ce type d'application et conforme aux normes de calcul en vigueur concernant la propagation du bruit. ▷



Les chantiers ont ainsi été décomposés en phases correspondant aux « scénarios » représentatifs des opérations de gros œuvre (dalle du rez-de-chaussée, parkings en sous-œuvre, superstructures, etc.).

Toutes les sources de bruit prévisionnelles ont été recensées en concertation avec les entreprises (10 à 20 sources selon les phases de travaux).

Le logiciel permet de produire des cartographies du bruit donnant une vision globale de l'environnement sonore des chantiers en activité, pour chaque scénario : les figures 3a et 3b montrent par exemple une cartographie globale en 3D et un zoom en 2D du bruit autour de 2 chantiers. Ce travail permet d'évaluer, en amont, l'efficacité d'un large panel de solutions pratiques de gestion ou traitement du bruit : « à la source » ou au niveau de la propagation voire de la réception du bruit.

L'étude d'impact acoustique préalable d'un chantier comporte ainsi un volet technique à vocation quantitative qui, même s'il fait nécessairement appel à de nombreuses hypothèses et à un savoir-faire aiguisé pour aller à l'essentiel, permet clairement l'objectivation des risques et la recherche de solutions dont l'efficacité peut être anticipée et chiffrée. Précisons néanmoins que pour être réellement conforme aux règles de l'art - et pour préparer les étapes incontournables de communication - l'étude d'impact doit aussi s'appuyer sur des éléments plus qualitatifs, orientés sur la perception des sensibilités du projet, l'analyse des contraintes ou effets

## LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE SUR LES BRUITS DE CHANTIERS

**En France, pour réduire le bruit des chantiers, la réglementation repose d'abord sur une meilleure gestion des sources sonores ou activités bruyantes, et sur la maîtrise de la propagation du bruit dans l'environnement.**

**Concernant le bruit émis par les engins de chantier, il est soumis à une réglementation française (décret du 23 janvier 1995) et une réglementation européenne (directive 2000/14/CE) transposée en droit français le 18 mars 2002. Ces textes portent, selon les engins, sur les niveaux maximum admissibles à l'émission ou sur le principe d'étiquetage acoustique (marquage « CE »).**

**Concernant le bruit perçu dans le voisinage d'un chantier, l'arsenal réglementaire est complexe car il fait appel à plusieurs textes selon la nature du chantier. Pour les chantiers de construction – et pour faire simple – on se réfère aux art. R1334-36 et art. R1337-6 du Code de la Santé Publique dans le cas d'opérations soumises à procédure de déclaration ou d'autorisation, et à l'art. R1334-33 pour les autres activités. Dans la pratique, la notion d'émergence du bruit ambiant incluant les bruits de chantiers par rapport au bruit « de fond » est le critère primordial permettant de caractériser un trouble potentiel (notion de bruit de voisinage).**

**Le cas des chantiers d'infrastructures de transports fait référence à l'art.8 du décret n°95-22 du 9 janvier 1995.**

induits, la sensibilisation des acteurs, et ce en étroite relation avec les diverses parties prenantes (administration, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises, riverains...).

### VERS UNE CONDUITE DE CHANTIER TRANQUILLE...

En conclusion, les premières applications « sur le terrain » de la démarche

novatrice de Monaco en matière de gestion des bruits de chantiers urbains constituent une base solide des bonnes pratiques à exploiter dans l'intérêt de tous les acteurs d'un chantier, comme le confirme ce témoignage de Luc Leroy, du Service des Travaux Publics de la Principauté de Monaco : « *missionnée pour les premières études acoustiques prévisionnelles en appli-*

*cation de la circulaire bruit de chantier élaborée par les Services de l'État, SolData Acoustic a proposé une approche claire et pragmatique, dans une logique d'évaluation des risques et d'anticipation de solutions ».*

Ces retours d'expérience semblent convaincre les diverses parties prenantes des opérations de chantier urbain : la faisabilité et la pertinence technico-économique sont démontrées. Il reste cependant un travail important d'ordre pédagogique pour promouvoir cette démarche et faire en sorte qu'à l'avenir, un chantier en France soit acoustiquement anticipé, de manière concertée, au bon moment et avec les bons outils de communication.

Tout compte fait, la posture des Pouvoirs Publics sur le plan des évolutions réglementaires a certes une vocation incitative, mais l'essentiel est bien que les entreprises de construction puissent travailler en bonne intelligence avec leur environnement. Tranquilles. □

- (1)- Rapport d'Information des députés Ph Meunier et Ch Bouillon, déposé en juin 2011.
- (2)- Étude TNS Sofres réalisée pour le MEDDTL, publiée en mai 2010.
- (3)- Circulaire « Bruits de chantiers » de la Direction de l'Environnement, projet du 18 avril 2011, en cours d'expérimentation.
- (4)- Décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements.
- (5)- Informations sur : [www.acoucite.org](http://www.acoucite.org)
- (6)- Informations sur : [www.soldatagroup.com](http://www.soldatagroup.com)

## ABSTRACT

### MANAGEMENT OF NOISE NUISANCES ON URBAN CONSTRUCTION SITES: THE EXAMPLE OF MONACO

LAURENT DROIN & GIOVANNI FAROTTO - SOLDATA ACOUSTIC

**Noise nuisance management** involves coping with numerous issues: the intrinsically noisy nature of technical activities and operations, an often sensitive neighbourhood context in urban areas, and complex arbitrating between stakeholders and an unsuitable regulatory framework.

The sustainability policies of most communities promote proactive approaches to noise nuisance management, such as the "green worksite". However, the example of the Principality of Monaco is more pragmatic, with the application of new preventive regulations aiming at better anticipation in order to optimise the technical and economic relevance of actions. SolData Acoustic shares its feedback from these first impact studies of worksites, which it applies to analyse future prospects for construction noise management. □

### LA GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA GENERADA POR LAS OBRAS URBANAS: EL EJEMPLO DE MÓNACO

LAURENT DROIN & GIOVANNI FAROTTO - SOLDATA ACOUSTIC

**El control de la contaminación acústica** generada por las obras plantea varios problemas, vinculados por una parte a las actividades y operaciones técnicas, ruidosas por naturaleza, y, por otra, a un contexto de cercanía frecuentemente sensible en medio urbano, pero también a una "gobernanza" compleja entre los actores implicados y un marco regulador inadecuado.

Las políticas a favor del Desarrollo Sostenible aplicadas por la mayoría de las entidades locales incitan a procedimientos voluntaristas de gestión del ruido del tipo "obra ecológica", pero el ejemplo del Principado de Mónaco es más pragmático, con la aplicación de una nueva circular con vocación preventiva, que tiene por objeto una mejor anticipación para optimizar la pertinencia técnico-económica de las acciones. SolData Acoustic ha aportado su experiencia en estos primeros estudios de impacto acústico de obras y las perspectivas derivadas. □

# LES SOLUTIONS DE SOL ENVIRONNEMENT POUR TRAITER LES EAUX QUE REJETTENT LES CHANTIERS DE CONSTRUCTION

AUTEURS : DAVID VERSCHUERE, RESPONSABLE DES OPÉRATIONS DE SERVICE ET RÉMI FAVIER, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOL ENVIRONNEMENT

LA CONDUITE DE TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DE CONSTRUCTION PASSE PAR LA GESTION DES VOLUMES D'EAU QU'ELLE PRODUIT. ET CE, DANS UN CONTEXTE QUI A VU UN DURCISSEMENT DE LA RÉGLEMENTATION DEPUIS QUELQUES ANNÉES. FILIALE DE SOLETANCHE BACHY, SOL ENVIRONNEMENT APORTE DES SOLUTIONS AUX OPÉRATEURS-TRAVAUX. SES UNITÉS MOBILES SONT CONÇUES EN FONCTION DE CHAQUE CAS DE FIGURE.



1 © SOL ENVIRONNEMENT

En phase opérationnelle, les travaux de terrassement et de construction amènent à rejeter des volumes d'eaux conséquents issus du rabattement de la nappe ainsi que de la collecte des eaux de ruissellement ou des eaux de lavage.

Parce qu'elles traversent des terrains remaniés, ces eaux sont souvent chargées en particules solides appelées matières en suspension (MES). Elles peuvent aussi être contaminées par des polluants organiques (hydrocarbures, solvants, résidus de carbu-

rants, etc.) ou par des métaux lourds (arsenic, plomb, etc.), lorsqu'elles proviennent d'anciens sites industriels par exemple.

Or, la gestion des eaux de chantier peut devenir rapidement problématique si les eaux sont marquées par une pollution

qui rend impossible leur rejet en l'état. Depuis quelques années, ces problématiques sont sérieusement traitées par les opérateurs-travaux pour qui les politiques environnementales sont devenues aussi importantes que le volet sécurité.



En effet, la réglementation environnementale imposée aux acteurs, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises est devenue plus contraignante et plus contrôlée ; au même titre que les déchets de chantier, les eaux de chantier doivent être suivies, contrôlées et rejetées conformément aux règles environnementales. Afin que les eaux de chantier respectent les critères de rejet, les opérateurs peuvent mettre en place des solutions de traitement des eaux adaptées aux configurations du chantier et aux polluants rencontrés. C'est ainsi que Sol Environnement, filiale de Soletanche Bachy, a développé une activité dans le domaine du traitement des eaux de chantier.

Pour chaque cas de figure, des unités mobiles sont conçues spécifiquement en fonction des caractéristiques physico-chimiques des eaux contaminées et en fonction des objectifs de rejet visés. Loin d'être exhaustifs sur les techniques mises en œuvre, les cas de figure décrits ci-dessous présentent quelques problématiques rencontrées, ainsi que les solutions de traitement retenues.

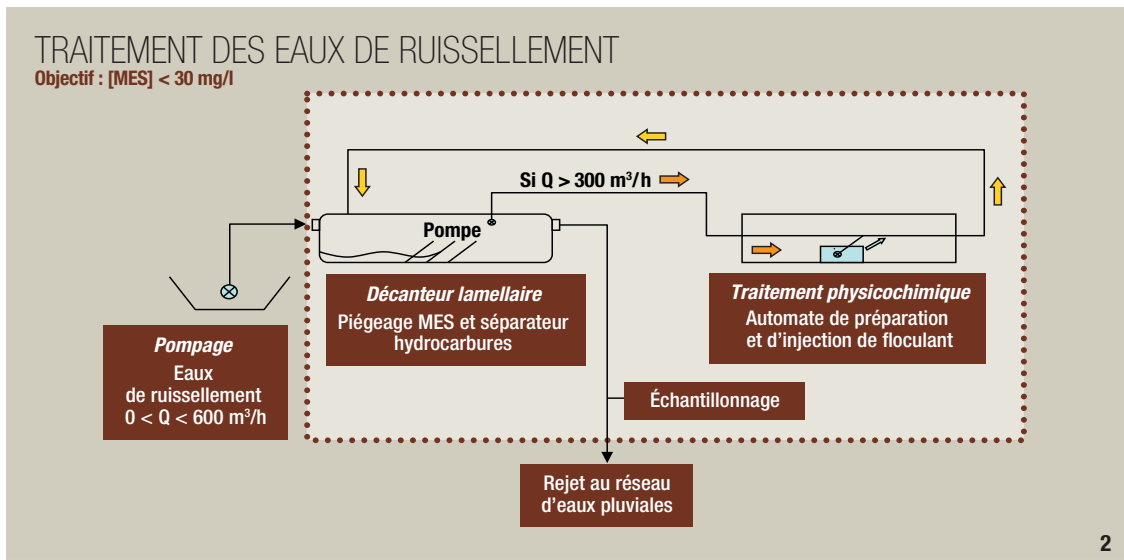
### LES OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES

Les travaux de construction nécessitent une gestion rigoureuse et systématique des eaux d'exhaure [épuisement des eaux d'infiltration, NDLR] et des eaux

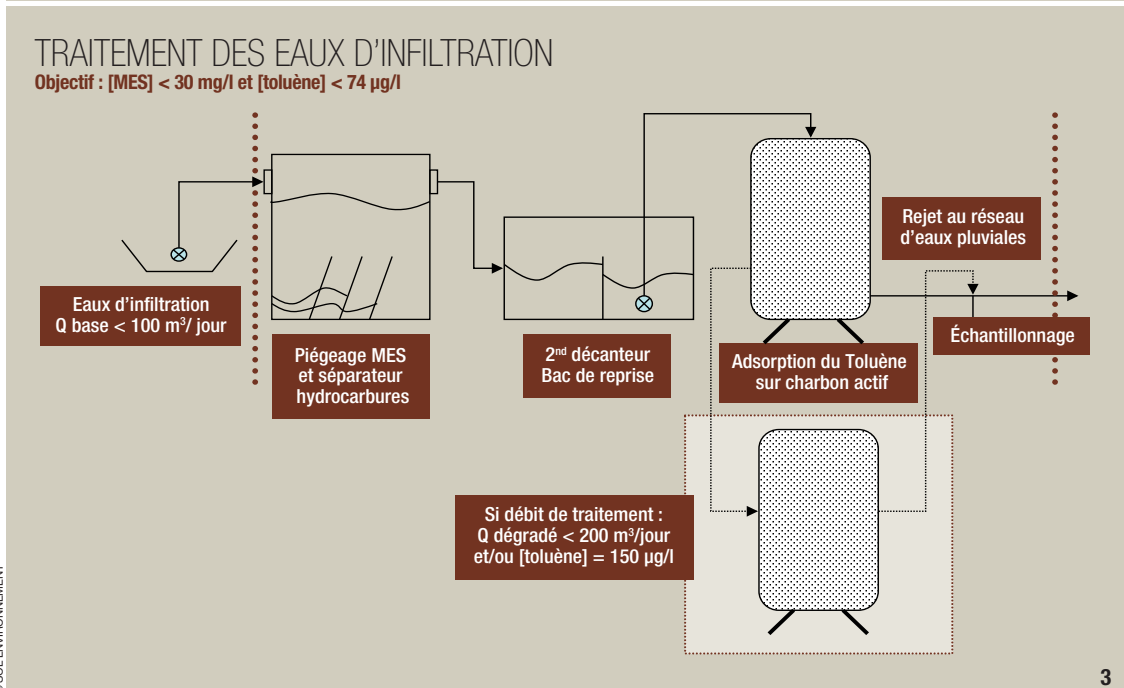
de ruissellement. Que ce soient des eaux de rabattement dans le cas de terrassement ou d'eaux de ruissellement, de lavage, la question de leur rejet est souvent problématique ; cela passe bien souvent par le rejet au réseau d'assainissement (refoulement dans un regard, un collecteur), par le rejet au milieu naturel (rivière, mer, puits) ou par l'élimination en filière extérieure (cas des hydrocurages évacués en station de traitement des eaux). Dans un réseau d'assainissement, le rejet nécessite l'établissement d'une convention de rejet avec le représentant de la commune, ou par délégation, avec le concessionnaire du réseau d'assainissement. Cette convention de

rejet fixe la durée du déversement et les caractéristiques physico-chimiques que doivent respecter les eaux. Si le déversement est réalisé au milieu naturel, dans les eaux dites de surface, les critères à respecter sont fixés par la rubrique 2.2.3.0 de la Nomenclature « eau »<sup>(1)</sup>. Ces critères fixent des seuils R1 et R2 pour une série de paramètres étudiés. Afin de respecter chacun des objectifs visés en fonction de l'exutoire retenu, il est souvent indispensable de réaliser une opération de traitement des eaux sur le site même du chantier. Dans ce but, de nouvelles solutions de traitement des eaux de chantier ont été développées.

- 1- Exemple de station de traitement que conçoit Sol Environnement pour accompagner les chantiers de construction dans la gestion des volumes d'eaux qu'ils génèrent.
- 2- Schéma de process de traitement des eaux de ruissellement.
- 3- Schéma de process de traitement des eaux d'infiltration.



- 1- Example of a treatment station designed by Sol Environnement to assist construction sites in managing the volumes of water that they generate.
- 2- Diagram of a runoff water treatment process.
- 3- Diagram of a sub-surface runoff water treatment process.



**EXEMPLE D'ABATTEMENT DES MATIÈRES EN SUSPENSION (MES)**

Dans le cas d'eaux de ruissellement et de lavage, l'une des problématiques fréquemment rencontrées tient à l'enrichissement des eaux en particules solides à faible vitesse de sédimentation. Parce qu'elles ne décantent pas rapidement, les particules, d'un diamètre généralement micrométrique, restent en suspension dans les eaux. La teneur en matières en suspension (MES) est l'un des paramètres les plus souvent examinés dans les eaux de rejet et le seuil à respecter est souvent très bas (30 mg/l, par exemple). Pour abattre les suspensions « stables » de MES, le réflexe premier consiste à dimensionner un bassin suffisamment long pour que les particules solides décantent. Les surfaces nécessaires ne sont pas forcément disponibles ; les solutions se trouvent alors dans le choix de l'équipement de séparation entre solide et liquide, et dans le traitement des eaux. En fonction de la granulométrie des particules à séparer et de leur concentration dans les eaux, le traitement de ces dernières consistera à sélectionner et à assembler les modules de sépa-



© SOL ENVIRONNEMENT

ration entre solide et liquide, tels que dessableurs, désilteurs, décanteurs lamellaires, filtres à sable, filtres presse, centrifugeuses. Ces équipements sont mis en œuvre pour favoriser mécaniquement la séparation entre l'eau et les solides, et générer d'un côté des eaux claires, de l'autre côté une phase concentrée en particules solides. Parallèlement, les eaux chargées en MES peuvent subir un traitement phy-

sico-chimique, par ajout d'un coagulant et d'un floculant, cette opération se déroulant « en ligne ». Ce traitement a pour effet d'agglomérer les particules solides entre elles. Plus lourdes, elles sédimentent plus vite, et l'eau est ainsi clarifiée (figures 2 et 3). Ces techniques ont été mises en œuvre dans le cas de chantiers de curage de collecteurs où les eaux usées transitant habituellement dans les collecteurs ont

**4- Décanteur lamellaire et filtre à charbon actif sur un chantier à Paris, dans le XIX<sup>e</sup> arrondissement (juin 2011).**

**5- Traitement par stripping d'eaux chlorées. On fait passer un courant de microbulles à reflux des eaux contaminées. L'échange a lieu en cuve fermée.**

**4- Lamellar separator and activated carbon filter on a construction site in Paris, in the XIX<sup>th</sup> arrondissement (June 2011).**

**5- Treatment of chlorinated waters by stripping. A current of micro-bubbles is passed in the opposite direction to the contaminated waters. The exchange takes place in a closed tank.**



© SOL ENVIRONNEMENT



6- Des eaux d'exhaure, polluées à l'acide picrique (teinte jaune), sont redevenues limpides après filtration sur charbon actif.

6- Drainage waters polluted by picric acid (yellow colour) have become clear again after activated carbon filtering.



© SOL ENVIRONNEMENT

6

été traitées en surface à 120 m<sup>3</sup>/h par dégrillage / dessablage / coagulation / floculation / sédimentation en décanteur lamellaire, puis rejet dans la Seine. À plus petite échelle, à 10 m<sup>3</sup>/h environ, les eaux de rabattement de fouilles sur un chantier de construction de trémie dans un sol crayeux ont été traitées par floculation / décantation, puis finition par passage sur filtre à sable.

#### EXEMPLE DE TRAITEMENT DES POLLUANTS ORGANIQUES

Lorsque les eaux de rabattement ou de ruissellement ont été en contact avec des zones polluées par des composés organiques, le traitement à mettre en œuvre est différent. Dans ce cas de figure, existent plusieurs solutions de traitement, en fonction de la nature de la pollution : *stripping*, filtration sur charbon actif.

Bien souvent, la filtration sur charbon actif est choisie dans le but de retenir par absorption les composés organiques présents dans l'eau.

Le procédé consiste à faire passer l'eau contaminée dans une cuve contenant du charbon actif sélectionné en fonction du polluant à capter.

La quantité de charbon actif nécessaire dépend de la concentration en éléments polluants et du débit de passage, l'objectif étant de garantir le meilleur temps de contact entre les composés organiques et le charbon (photo 4). Dans le cas de composés colorés, l'aspect de l'eau en sortie de filtration sur charbon actif est souvent parlant.

Ce type de traitement a été mis en œuvre sur des eaux de rabattement pour un chantier de construction sur un ancien site de production de composés explosifs situé en île-de-France.

Les éléments dérivés de l'acide picrique donnaient une teinte jaune particulièrement prononcée aux eaux d'exhaure. Après filtration sur charbon actif, les eaux sont redevenues limpides et les éléments traceurs de l'acide picrique n'étaient plus décelables en laboratoire (photo 5).

#### TROISIÈME EXEMPLE : LE TRAITEMENT DES POLLUANTS ORGANIQUES VOLATILS

Dans le cas de gros débits d'eaux et de composés organiques volatils à traiter, un procédé de traitement par *stripping* est privilégié.

Il s'agit en fait de faire passer un courant de microbulles à reflux des eaux contaminées.

Cet échange a lieu en cuve fermée ; les vapeurs sont collectées en partie haute de la cuve et sont transférées vers un

filtre à charbon actif. Là, les composés organiques volatils sont piégés par adsorption ; l'air vicié est alors purifié. Les eaux qui ont été purgées de leurs composés organiques peuvent alors être rejetées.

Ce procédé a été exploité au cours d'un chantier de construction d'un ouvrage en bordure de la Vienne.

Les eaux pompées étaient contaminées aux BTEX (composés benzéniques) et aux solvants chlorés. Le débit maximal de pompage était de 200 m<sup>3</sup>/h.

À ce débit, une filtration directe sur charbon actif aurait nécessité une batterie de 4 à 5 filtres de 20 m<sup>3</sup>.

Le procédé de traitement par *stripping* a permis de réduire l'unité à 2 modules d'échanges air / eau et un filtre à charbon actif (photo 6).

Par une prise de conscience environnementale et du fait d'une réglementation plus sévère, le traitement des eaux d'exhaure est devenu une nécessité réglementaire sur les chantiers.

En fonction des configurations du chantier et des objectifs à respecter, il est indispensable de dimensionner et de mettre en œuvre des unités modulaires de traitement.

Sol Environment, filiale de Soletanche Bachy, développe et exploite des solutions de traitement ajustées pour les opérateurs de la construction. □

(1) - Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret n°93-743 du 29 mars 1993.

#### ABSTRACT

### SOL ENVIRONMENT SOLUTIONS FOR TREATING THE WATERS DISCHARGED BY CONSTRUCTION SITES

SOL ENVIRONNEMENT : DAVID VERSCHUERE & RÉMI FAVIER

**Earthmoving and construction works management** involves managing the volumes of water produced during the works. Now, the regulations in this area have become tougher in recent years. Sol Environment, a subsidiary of Soletanche Bachy, provides solutions for works operators. Its mobile units are designed for each specific case. □

### LAS SOLUCIONES DE SOL ENVIRONMENT PARA TRATAR LAS AGUAS VERTIDAS POR LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

SOL ENVIRONNEMENT : DAVID VERSCHUERE & RÉMI FAVIER

**La realización de trabajos de movimientos de tierras y de construcción** pasa por la gestión de los volúmenes de agua que genera en un contexto en el que la normativa se ha endurecido en los últimos años. Sol Environment, filial de Soletanche Bachy, aporta soluciones a los operadores-obras. Sus unidades móviles se diseñan según cada caso concreto. □

# BÂTIMENTS, TRANSPORTS, BIODIVERSITÉ : LES APPORTS DE LA CHAIRE D'ÉCO-CONCEPTION PARISTECH – VINCI À LA VILLE DURABLE

AUTEURS : FERNANDA GOMES, ÉCOLE DES PONTS PARISTECH, LABORATOIRE NAVIER - GRÉGORI HERFRAY, MINES PARISTECH, CENTRE ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS - HOUDA BOUJNAH, ÉCOLE DES PONTS PARISTECH, LABORATOIRE VILLE MOBILITÉ ET TRANSPORTS - ALEXANDRE HENRY, AGROPARISTECH, LABORATOIRE ÉCOLOGIE SYSTÉMIQUE ÉVOLUTION - MATHIEU RIVALLAIN, ÉCOLE DES PONTS CO-ENCADRÉ PAR MINES PARISTECH, LABORATOIRE VILLE MOBILITÉ ET TRANSPORTS - MAXIME TROCMÉ, VINCI - CHRISTOPHE GOBIN, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

DEPUIS 2008, LA CHAIRE « ÉCO-CONCEPTION DES ENSEMBLES BÂTIS ET DES INFRASTRUCTURES » EST UN PARTENARIAT DE LONG TERME ENTRE VINCI ET TROIS ÉCOLES DE PARISTECH (MINES PARISTECH, L'ÉCOLE DES PONTS PARISTECH ET AGROPARISTECH) AYANT POUR BUT DE DÉVELOPPER LA RECHERCHE ET L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DANS CE DOMAINE. EN 2011, AU TERME DE TROIS ANNÉES D'ACTIVITÉ, LA CHAIRE « ÉCO-CONCEPTION » PARISTECH VINCI VIENT DE FRANCHIR UNE PREMIÈRE ÉTAPE, DONT IL EST UTILE DE PRÉSENTER LES ACQUIS EN RESTITuant LA PROBLÉMATIQUE AVANT DE LES DÉVELOPPER.

## MISE EN PERSPECTIVE DES PREMIERS ACQUIS

Elle s'opère en trois étapes.

### LES OBJECTIFS DE LA CHAIRE

La Chaire a pour objectif d'asseoir les démarches de progrès de l'éco-conception par la consolidation de méthodes appropriées, en particulier l'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Les outils de modélisation existants sont enrichis en élargissant leur domaine d'application à la dimension du quartier et en abordant de manière intégrée, bâtiment (neufs et existants), transports et espaces verts dans la conception des quartiers.

Il est en effet primordial de mieux prendre en compte les aspects environnementaux dans la conception et la gestion des éco-quartiers et des infrastructures de transport.

Enfin, la Chaire contribue à créer une communauté scientifique autour de la problématique de l'éco-conception, en mutualisant les efforts de trois écoles de ParisTech et de laboratoires de recherche qui leur sont associés, et en suscitant un vrai débat au niveau français.

### LES PROBLÈMES IDENTIFIÉS

Pour une mesure efficace au cours de cette première phase de vie de la chaire, il est apparu, autant aux chercheurs qu'aux opérationnels des

différents groupes miroir, qu'il était indispensable d'apporter une réponse à 5 questions essentielles :

→ Comment stabiliser les bases de données environnementales des composants élémentaires du cadre bâti ? La question de la fiabilité des bases de données environnementales Ecolinvent et INIES pose actuellement problème tant par l'échelle géographique pour la première que par les hypothèses simplificatrices de la seconde.

→ Comment prendre en compte la variation dans le temps des impacts

**1- Influence de la composition chimique des aciers sur les impacts environnementaux.**

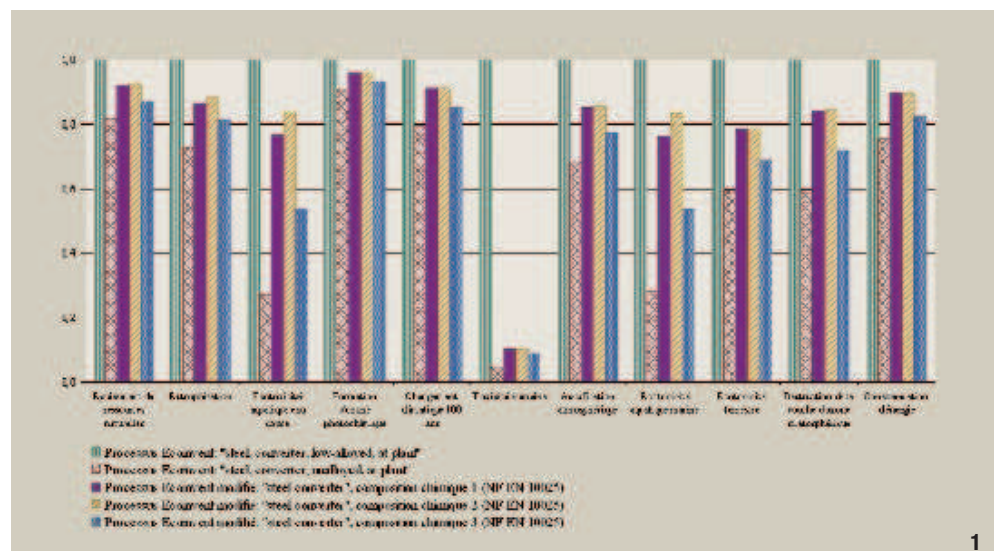
**1- Influence of the chemical composition of steels on environmental impacts.**

environnementaux (par exemple l'évolution environnementale horaire du mix électrique) ?

→ Comment améliorer la modélisation des déplacements, compte tenu de différentes morphologies urbaines, afin de l'intégrer dans le processus d'aide à la décision ?

→ Comment caractériser les services rendus à la ville par la biodiversité et les intégrer dans le cahier des charges urbain ?

→ Comment optimiser l'éco-conception par l'ACV sous contrainte de coûts ?

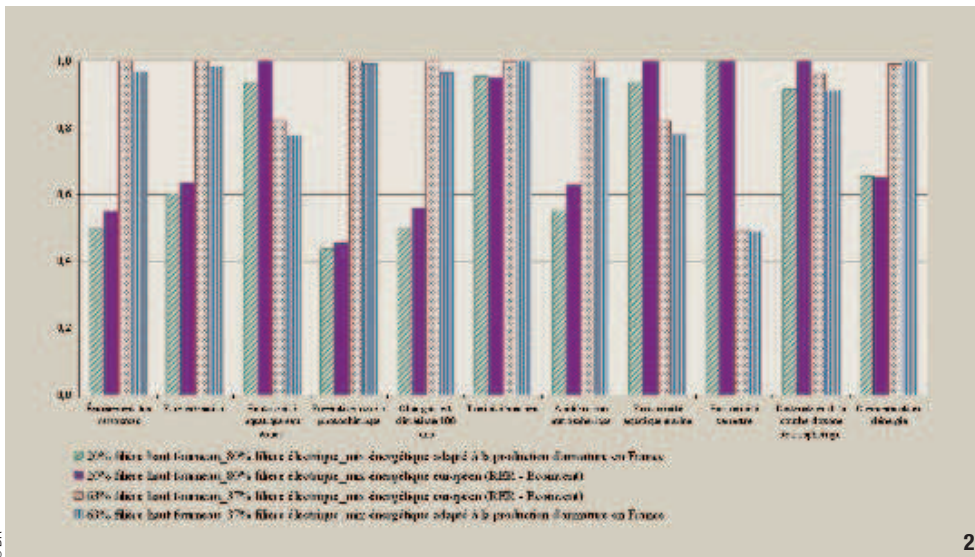




## L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE APPLIQUÉE AUX QUARTIERS

La sensibilisation aux problématiques environnementales a suscité la création de nombreux « éco-quartiers », sans que ce concept soit précisément étayé. Or l'importance des risques, du niveau local au niveau planétaire, justifierait une approche plus rigoureuse : les décisions prises en matière d'urbanisme ont une forte influence sur les secteurs du bâtiment et des transports, qui contribuent de manière très importante à la plupart des impacts environnementaux. L'analyse de cycle de vie (ACV) permet de répondre à cette problématique. Cet outil d'ingénierie a pour but d'évaluer les impacts environnementaux d'un système sur son cycle de vie, c'est-à-dire depuis sa fabrication jusqu'à sa fin de vie, en incluant un recyclage éventuel d'où la notion de cycle. Cette méthode a été développée d'abord dans l'industrie depuis les années 70, puis dans le secteur du bâtiment dans les années 80, et finalement étendue à l'ensemble des activités humaines. Son application aux ensembles urbains a été étudiée plus récemment, et plusieurs prototypes d'outils ont été développés durant ces dix dernières années. C'est le cas par exemple de la chaîne logicielle composée d'un modèleur graphique, ALCYONE (développé par Izuba Energies), d'un outil de simulation thermique dynamique (COMFIE), d'un outil d'ACV des Bâtiments (EQUER) et d'un outil d'ACV des quartiers, développés au Centre Energétique et Procédés de MINES ParisTech.

La figure 3a montre l'exemple d'un projet de quartier à Marne La Vallée (Cité Descartes), et la comparaison de variantes selon un diagramme radar (3b) où chaque axe correspond à un indicateur environnemental, par exemple consommation d'énergie et d'eau, contribution à l'effet de serre (bilan CO<sub>2</sub>), génération de déchets, atteintes à la santé et la biodiversité. Le projet proposé est comparé à deux références s'inspirant du quartier Vauban à Fribourg (Allemagne) : un quartier à énergie positive (QEP) et un quartier basse énergie (QBE). Se situant entre ces deux références correspondant aux meilleures pratiques actuellement identifiées, le projet proposé pour la Cité Descartes peut être considéré comme performant du point de vue environnemental. La pratique courante des ACV est basée sur des modèles statiques, c'est-à-dire considérant des procédés invariables dans le temps.



2

### LES PREMIÈRES RÉPONSES

Les travaux des chercheurs de la Chaire apportent des éléments de réponse à ces problématiques. Dans cet article sont développés les travaux de cinq des 20 doctorants ou post-doctorants de la Chaire.

Fernanda Gomes (École des Ponts ParisTech) contribue à la mise en place d'une base de données unique utilisable tant dans la construction de bâtiments que de construction de génie civil (cf revue TRAVAUX 877 de décembre 2010). Grégory Herfray (MINES ParisTech) a développé un modèle d'ACV dynamique adapté au quartier. Houda Boujnah (École des Ponts ParisTech) contribue à l'approfondissement de la fonction stationnement dans un quartier. Alexandre Henry (AgroParitech) entreprend une caractérisation de l'unité fonctionnelle dans sa dimension biodiversité. Enfin, Mathieu Rivallain (École des Ponts co-encadré par MINES ParisTech) contribue à l'optimisation de la ressource économique pour engager des actions d'éco-conception techniques au niveau d'un parc.

### LES BASES DE DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Les bilans environnementaux se généralisent dans le domaine de la construction. Comme dans toute analyse visant à comparer des structures ou des ouvrages, il est important d'utiliser des données fiables avec une source identifiée.

L'objectif du travail réalisé entre l'équipe Structure du laboratoire Navier et la Chaire concerne les principaux matériaux de construction : béton, acier, bois, matériaux composites et polymères.

### 2- Influence du type de filière de production de l'acier et du mix énergétique sur les impacts environnementaux.

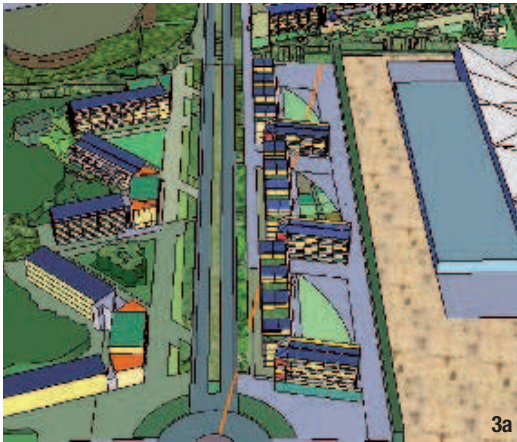
#### 2- Influence of the type of steel production process and the energy mix on environmental impacts.

Un focus est fait dans ce document sur le matériau acier mais la démarche suivie reste la même quel que soit le matériau étudié. Cette démarche se décompose en une étude fine du ou des processus de fabrication, une identification des bases de données environnementales existantes, une étude des différentes méthodologies appliquées et enfin une comparaison des résultats obtenus. Il est important de comprendre et d'évaluer la variabilité d'une base à l'autre et de savoir quels sont les paramètres qui influencent le plus l'impact environnemental d'un matériau (par exemple, pour le béton il est clair que c'est le type de ciment qui influence le plus son bilan CO<sub>2</sub>). Cela peut conduire à recréer des données environnementales plus fines et plus représentatives du secteur de la construction si besoin est. En parallèle à la démarche de la Chaire, l'Association Française de Génie Civil (AFGC) a créé le groupe « DIOGEN » en vue de construire une base de données relative aux impacts environnementaux

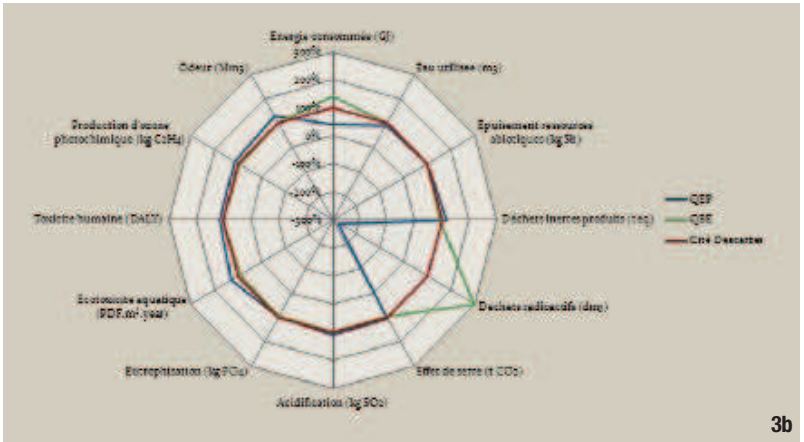
de production des matériaux utilisés en France constitutifs des ouvrages de génie civil. Ce groupe de travail, lancé en 2010, réunit tous les représentants de la profession (producteurs, entreprises, concepteurs, universités, réseau scientifique et technique du MEDDTL) en vue de réaliser une base de données spécifiques, librement accessible, autour de règles communes.

Quelques résultats relatifs au matériau acier sont présentés en figure 1. Il existe deux principales bases de données pour ce matériau : la base de la World Steel Association, qui regroupe les plus grands producteurs d'acier du monde, et la base Ecoinvent, comportant de nombreuses données génériques correspondant à des moyennes européennes ou d'origine suisse. Les résultats de la modélisation sont sensibles à certains aspects de la production de l'acier, comme par exemple le mix énergétique employé pendant la fabrication de l'acier, le pourcentage entre la filière haut fourneau et la filière électrique pour un certain produit et encore la composition chimique des aciers (alliages). La comparaison sur différents indicateurs (énergie consommée, CO<sub>2</sub>, toxicité, épuisement des ressources...) fait apparaître des différences importantes en fonction de ces paramètres. Il est connu que les aciers pour la construction sont plutôt du type non allié, mais leur composition est plus élaborée que celle proposée par Ecoinvent.

L'objectif est donc de créer des compositions chimiques intermédiaires, en respectant la norme des aciers de construction. Quelques résultats relatifs au matériau acier sont présentés en figures 1 et 2.



3a © ALTER STUDIOS



3b © EQUER, WWW.LZUBA.FR

Dans la réalité, les procédés et/ou les conditions climatiques qui les influencent varient. C'est le cas en particulier de la production d'électricité, qui présente des variations saisonnières liés au chauffage et à la climatisation, des variations hebdomadaires liées aux usages professionnels, et des variations horaires liées également aux usages domestiques. L'analyse de ces variations a permis d'élaborer pour chaque usage un modèle dynamique d'évolution du mix de production (% fournis par les différentes filières) en fonction du temps et d'une température moyenne de référence (du fait des pointes de consommations induites par le chauffage électrique en saison froide).

**LA PROBLÉMATIQUE DU STATIONNEMENT**

Au sein des agglomérations urbaines, le stationnement pose des enjeux majeurs. Outre sa forte consommation d'espace dû à l'immobilité des véhicules

qui passent la quasi-totalité de leurs temps en arrêt, il ne fait qu'accroître les problèmes de congestion de trafic, de pollution et plus généralement de dégradation du cadre de vie. La pression sur l'offre, souvent limitée localement en quantité, augmente sans cesse avec des besoins de demande hétérogènes dans l'espace et dans le temps. S'il fallait hiérarchiser des priorités sur les études à entreprendre en matière de stationnement, la compréhension et la représentation de sa dynamique interne viennent en premier essor et constituent une nécessité absolue et urgente. Dans ce contexte, la mise sur scène de l'éco-conception du stationnement permet de proposer une meilleure qualité de service tout en réduisant ses impacts environnementaux, comment entreprendre alors cette démarche éco-conçue et par quel outils la mettre en place ? Cette thèse réalisée au sein du laboratoire « Ville Mobilité Transport » a pour objet de fournir une aide à la

- 3a- Exemple de projet.
- 3b- Comparaison de trois variantes par ACV.
- 4- Analyse systémique du stationnement.

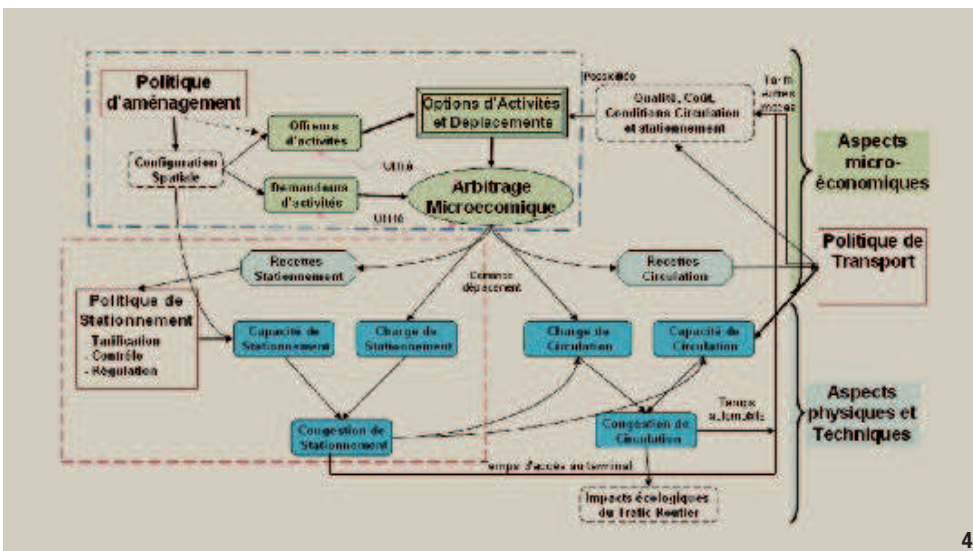
- 3a- Example of a project, source.
- 3b- Comparison of three variants by LCA.
- 4- Systemic analysis of parking.

d'évaluer l'ensemble de ses impacts environnementaux tout en mettant en évidence les interactions avec la circulation routière. L'enjeu à terme est de concevoir, par quartier et en termes d'infrastructure et de modes de régulation (contrôle, tarification), une offre adaptée aux besoins, à la préservation de l'environnement et qui garantie un équilibre durable.

La réalisation a une analyse systémique de stationnement a permis de dégager l'ensemble des composantes du système (offre-usage-demande), sa physionomie interne et ses mécanismes de fonctionnement, et aussi de tracer ses interactions avec les réseaux viaires (notamment la capacité routière) et les politiques de transport et d'aménagement (figure 4).

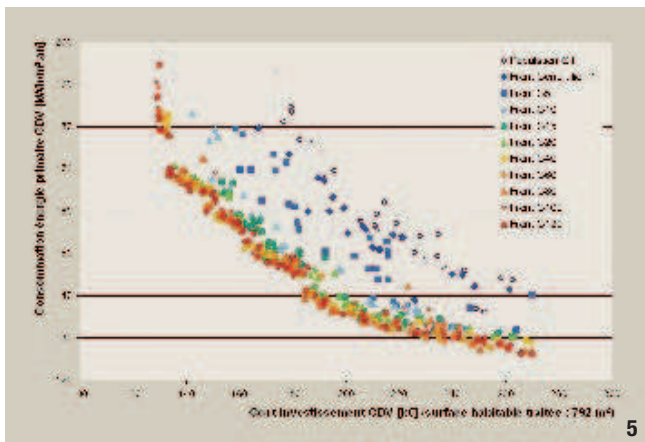
Le modèle considère trois échelles spatiales : une échelle « microscopique » pour les conditions très fines d'usage d'une place, en fonction de la géométrie dans son environnement immédiat, une échelle « mésoscopique » pour évaluer localement l'adéquation entre d'une part les activités présentes dans une zone (ex. quartier) et en conséquence les besoins, et d'autre part les possibilités locales, enfin une échelle « macroscopique » pour le fonctionnement d'un système de stationnement sur l'ensemble d'une agglomération, en intégrant les fonctions propres des zones et les possibilités de report dans l'espace et dans le temps entre zones, entre lots de stationnement et, a priori entre mode de déplacement.

décision pour la conception et la gestion de stationnement en milieu urbain par le développement d'un modèle offre-demande afin de reproduire les mécanismes internes du système et



4 © DR





© DR

La thèse réalisée au Laboratoire Écologie Systématique et Évolution à Orsay (Université Paris Sud 11) a pour objectif d'apporter des réflexions scientifiques, des méthodes de travail et des outils sur ces questions.

Les aménagements en faveur de la biodiversité dans les éco-quartiers existants ou en projet ont été étudiés en France et dans d'autres pays d'Europe. Parmi les principales mesures mises en œuvre, on retrouve la préservation des éléments naturels majeurs existants, une réflexion dans le choix des plantes à utiliser, l'augmentation des surfaces d'espaces verts (au sol et sur les bâtiments) et des campagnes de sensibilisation des résidents.

Une des premières questions a été de savoir quelle biodiversité est nécessaire ou désirée en ville et comment la mesurer. Les indicateurs de biodiversité sont principalement basés sur le nombre d'espèces et leur abondance dans un territoire donné. Mais il est surtout important de prendre en compte les caractéristiques des espèces, c'est-à-dire si elles sont rares, locales ou exotiques, leurs fonctions dans l'écosystème et les services écosystémiques

qu'elles peuvent rendre. On peut alors parler de biodiversité fonctionnelle. Utiliser des indicateurs centrés sur les processus écologiques plutôt que sur la quantité d'espèces est alors pertinent. Un nouvel outil, le Profil-Biodiversité, est actuellement appliqué à titre expérimental sur la Cité Descartes afin de le valider scientifiquement. Il s'agit du premier outil d'évaluation, de comparaison et de suivi de la progression de la biodiversité, permettant d'estimer le potentiel en biodiversité du site et de d'évaluer au cours du temps l'effet de mesures facilement réalisables. Cet outil

**5- Un nécessaire compromis entre le coût d'investissement et la performance énergétique en rénovation.**

**5- A necessary compromise between capital costs and energy efficiency in renovation.**

prend en compte cinq leviers d'action favorables à la biodiversité : la défragmentation du territoire, la réduction des intrants, les biotopes, les ressources, et les échanges.

Les nouveaux quartiers, dont les éco-quartiers, contribuent pour la plupart à l'étalement urbain, synonyme de destruction des milieux naturels et semi-naturels en périphérie des villes. Pour étudier cette problématique, une modélisation par système multi-agents est réalisée. Cette modélisation vise à constituer un outil d'aide à la décision en permettant aux acteurs concernés de prendre conscience des intérêts de chacun, de dialoguer sur le sujet de la biodiversité et de trouver un compromis satisfaisant.

**LA RÉHABILITATION DU PARC EXISTANT**

Le taux de renouvellement moyen du parc existant est inférieur à 1 % par an. Il est donc essentiel de travailler sur la rénovation pour atteindre des objectifs environnementaux comme la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050. D'autant plus que des projets de démonstration ont démontré qu'il est parfois possible d'atteindre un facteur 10 par la réduction des besoins en énergie, l'efficacité des équipements et l'intégration de la production d'énergie renouvelable.

Du point de vue de l'aide à la conception, si les outils de simulation existants permettent l'évaluation de scénarios, l'optimisation de programmes de rénovation, ciblant les mesures à mettre en œuvre et leur phasage dans le temps, demeure une tâche complexe à appréhender pour les professionnels qui procèdent généralement par simulations successives, guidées par l'expérience. Au sein de la Chaire, des méthodes d'optimisation multicritère sont alors développées dans le cadre d'une colla-

boration entre l'institut Navier de l'École des Ponts ParisTech et le CEP de MINES ParisTech. Des algorithmes génétiques ou la programmation dynamique sont mis en œuvre pour optimiser simultanément la composition et le phasage dans le temps des actions de réhabilitation. Les mesures de réhabilitation ciblent l'enveloppe de bâtiment pour la réduction des besoins (isolation thermique, remplacement des ouvrants, dimension des ouvertures), le remplacement des équipements de ventilation et de chauffage, la production d'eau chaude sanitaire solaire. Pour chacune de ces mesures, différentes variantes sont considérées.

Par exemple, la figure 5 représente les « fronts de Pareto » obtenus par l'étude de la réhabilitation séquentielle d'un petit bâtiment collectif de 10 logements. Résultats d'une optimisation multicritère, les fronts (de différentes couleurs) représentent les solutions optimales obtenues aux différentes générations issues d'un algorithme génétique.

Au fil des générations, on constate une amélioration de la qualité des solutions, tant sur le plan de leurs performances que de leur étalement sur la surface de compromis.

Ce graphique illustre explicitement la nécessité d'un compromis ; il n'est pas possible de minimiser à la fois la consommation d'énergie et le coût des travaux de réhabilitation. Plus on cherche à réduire la consommation sur le cycle de vie, plus la réhabilitation coûte cher. Les surfaces de compromis obtenues à l'issue de l'optimisation permettent aux décideurs d'ajuster les investissements pour maximiser les bénéfices en termes de performance énergétique et de bilan environnemental, sur le cycle de vie. □

**Pour en savoir plus :**  
[www.chaire-eco-conception.org](http://www.chaire-eco-conception.org)

**ABSTRACT**

**BUILDINGS, TRANSPORT AND BIODIVERSITY: THE CONTRIBUTIONS OF THE PARISTECH – VINCI ECO-DESIGN CHAIR TO THE SUSTAINABLE CITY**

PARISTECH : F. GOMES, G. HERFRAY, H. BOUJNAH, A. HENRY, M. RIVALLAIN  
VINCI : M. TROCMÉ, C. GOBIN

The "Building and Infrastructure Eco-design" chair is a long-term partnership established in 2008 between VINCI and three ParisTech schools (MINES ParisTech, Ecole des Ponts ParisTech and AgroParisTech) with a view to developing research and higher education in this field. In 2011, after three years in activity, the ParisTech - VINCI "Eco-design" chair recently completed a first stage, for which we outline the approach and describe the achievements in detail. □

**EDIFICIOS, TRANSPORTES, BIODIVERSIDAD: LAS APORTACIONES DE LA CÁTEDRA DE ECODISEÑO PARISTECH – VINCI A LA CIUDAD SOSTENIBLE**

PARISTECH : F. GOMES, G. HERFRAY, H. BOUJNAH, A. HENRY, M. RIVALLAIN  
VINCI : M. TROCMÉ, C. GOBIN

Desde 2008, la cátedra "Ecodiseño de conjuntos de edificios y de infraestructuras" es una colaboración de largo plazo entre VINCI y tres escuelas de ParisTech (MINES ParisTech, la École des Ponts ParisTech y AgroParisTech) que tiene como objetivo desarrollar la investigación y la enseñanza superior en este ámbito. En 2011, al término de tres años de actividad, la cátedra "Ecodiseño" ParisTech VINCI acaba de pasar una primera etapa, y es conveniente presentar sus experiencias exponiendo la problemática antes de desarrollarlas. □



1  
© SOLETANCHE BACHY

# LES PIEUX ÉNERGÉTIQUES : UNE SOLUTION D'AVENIR EN GÉOTHERMIE

AUTEURS : JEAN-FRANÇOIS HEITZ, ANTEA GROUP, ANIMATEUR DU GROUPE DE TRAVAIL DE SYNTEC INGÉNIERIE, COMPOSÉ ÉGALEMENT DE LIONEL DEMONGODIN, EGIS GÉOTECHNIQUE - HASSAN FARHAT, ARCADIS - JEAN-CLAUDE GRESS, HYDROGÉOTECHNIQUE - BRUNO SIMON, TERRASOL

ALORS QUE NOMBRE DE PAYS D'EUROPE L'ONT DÉJÀ LARGEMENT ADOPTÉE, LA GÉOTHERMIE EN FRANCE, DOIT BÉNÉFICIER DU DÉVELOPPEMENT ACTUEL DES ÉNERGIES RENOUVELABLES. LES GÉOSTRUCTURES ÉNERGÉTIQUES, DÉJÀ BIEN VISIBLES AU NIVEAU EUROPÉEN, REPRÉSENTENT UNE VOIE PRIVILÉGIÉE DE DÉVELOPPEMENT POUR L'HEXAGONE, AVEC UNE INITIATIVE EN DIRECTION DU LOGEMENT SOCIAL.

## LES GÉOSTRUCTURES ÉNERGÉTIQUES

Le principe des géostructures énergétiques est relativement simple. Il s'agit de profiter de la construction dans le sol d'un ouvrage de fondation, de soutènement ou de génie civil (pieu de fondation, paroi moulée, tunnel, etc.) pour l'équiper en dispositifs échangeurs de chaleur reliés à une pompe à chaleur et

initier des échanges thermiques entre le sol support et l'ouvrage cible (bâtiment, tunnel, parking, etc.).

Quand des calories sont prélevées dans le sol, elles participent pro parte aux besoins en chauffage de l'ouvrage cible ; inversement, quand des calories sont rendues au sol, elles participent à la climatisation (refroidissement) de l'ouvrage cible.

La nature et les propriétés thermiques du sol, la présence d'une nappe et ses caractéristiques d'écoulement, la géométrie des ouvrages en interaction et les besoins thermiques de l'ouvrage cible, conditionnent les caractéristiques du dispositif échangeur à mettre en place. Ce dispositif comprend *a minima* des tubes en PEHD (*polyéthylène haute densité, NDLR*), remplis d'eau claire ou

glycolée constituant les échangeurs thermiques disposés au sein de l'ouvrage en interaction, et reliés à une pompe à chaleur par un ensemble de connexions tubulaires (figure 3).

## LES RETOURS D'EXPÉRIENCE

Les géostructures énergétiques se sont développées en Europe depuis une petite trentaine d'années.



1- Installation de pieux géothermiques à l'usine EADS à Getafe (Espagne).

2- Image de synthèse de la future Résidence Saint-Georges à Limay (78), résidence de logements sociaux utilisant des pieux énergétiques.

3- Dispositif de connexion entre les pieux énergétiques et la pompe à chaleur.

4- Évolution du nombre de pieux énergétiques en Autriche entre 1984 et 2004.

1- Installation of geothermal piles at the EADS plant in Getafe (Spain).

2- Synthesis image of the future Saint-Georges residence in Limay (near Paris), a public housing residence using energy piles.

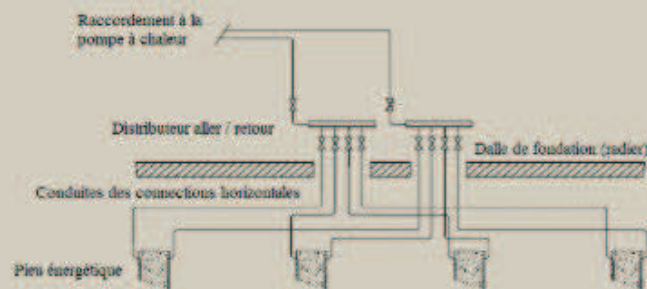
3- System of connection between energy piles and the heat pump.

4- Growth in the number of energy piles in Austria between 1984 and 2004.



### DISPOSITIF DE CONNEXION ENTRE LES PIEUX ÉNERGÉTIQUES ET LA POMPE À CHALEUR

(schéma CSTB, Rapport du Cofoge 2007)



### ÉVOLUTION DU NOMBRE DE PIEUX ÉNERGÉTIQUES EN AUTRICHE ENTRE 1984 ET 2004

(H. Brandl, Géotechnique 56, n°2, p. 81-122, 2006)



raction avec les pieux présenteront des caractéristiques thermiques favorables, appréciées principalement par la conductivité thermique. Lorsque celle-ci est supérieure à 1,3 W/m.K, la technologie est possible ; elle devient favorable à 2 W/m.K et excellente au-delà de 3 W/m.K. Plus le sol est fin, moins il est conducteur, ainsi le contexte est *a priori* plus favorable dans un sol sableux qu'argileux.

→ **Caractéristiques hydrogéologiques** : pour assurer une meilleure conductivité thermique, les sols en interaction doivent être saturés (baignés par une nappe). Pour permettre la régénération thermique du sol en interaction, un écoulement de la nappe doit exister (on peut retenir une vitesse de Darcy comprise entre 0,5 et 1 m/jour). En deçà, une recharge thermique du terrain est nécessaire ; au-delà, aucun stockage de froid ou de chaleur n'est en général possible (Rapport Cofoge [Conception de fondations géothermiques], 2007).

### UN EXEMPLE DE VARIATION DE TEMPÉRATURE SUR UN PIEU DE FONDATION

Le comportement d'un pieu soumis à des sollicitations thermo-mécaniques a fait l'objet de recherches expérimentales et théoriques basées sur l'instrumentation de pieux et sur des simulations numériques, en particulier à L'École polytechnique fédérale de Lausanne (Laloui et al., 2003).

Les variations thermiques dans un pieu induisent des contraintes et des déformations qui sont essentiellement fonction de :

→ Caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le pieu : module de déformation :  $E_{\text{pieu}}$  et coefficient de dilatation :  $\beta$ .

→ Caractéristiques mécaniques des terrains : lois de mobilisation du frottement latéral et de la résistance de pointe des pieux. Frank et Zhao (1982) ont proposé une formulation de ces lois qui s'appuie sur les valeurs du module pressiométrique  $E_{\text{m}}$ , du frottement limite  $q_s$  et de la résistance limite en pointe  $q_p$ .

→ Degré de liberté du pieu sur toute sa longueur et, notamment en tête, en fonction du comportement de la structure fondée sur ce pieu.

### L'ANALYSE DU COMPORTEMENT DES PIEUX SOUS SOLLECITATIONS THERMIQUES

→ Pieu flottant – bloqué en tête :  
 • **Réchauffement du pieu** : augmentation de l'effort en tête du pieu. Enfoncement de la base du pieu. ▷

C'est peut-être en Autriche que les premières réalisations ont vu le jour. Comme le montre la figure 4, leur développement sur vingt ans a été très important. De très nombreux pays européens se sont tournés vers cette technologie. Un développement important est connu en Suisse, en Allemagne et au Royaume-Uni. Des exemples en Espagne sont relatés.

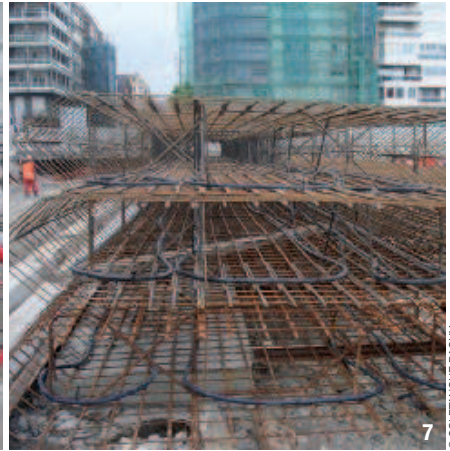
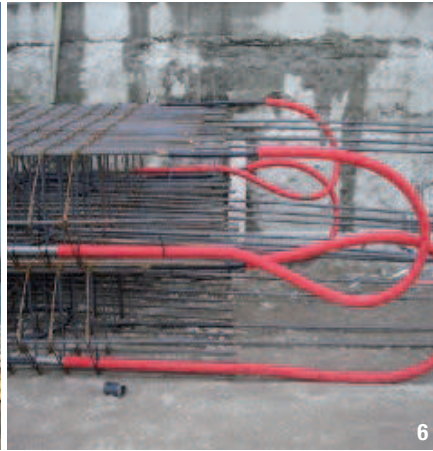
### LES CONDITIONS FAVORABLES À LA MISE EN ŒUVRE DE CES PIEUX

Le retour d'expérience des nombreuses réalisations en Europe permet de définir un ensemble de conditions favorables à l'efficacité de pieux énergétiques.

→ **Géométrie de l'ouvrage-cible** : une emprise au sol du bâtiment importante par rapport à son élancement,

favorisant ainsi une surface d'échange avec le sol satisfaisante. Plus un bâtiment sera élancé (par exemple IGH [immeuble de grande hauteur, NDLR]) moins les besoins en chauffage/ climatisation pourront être satisfaits.

→ **Caractéristiques thermiques** : outre leur qualité géotechnique médiocre justifiant la mise en œuvre de pieux de fondation, les sols en inte-



- **Refroidissement du pieu** : diminution de l'effort en tête du pieu. Soulèvement de la base du pieu.
- Pieux semi-flottants – bloqués en tête :
- **Réchauffement du pieu** : augmentation de l'effort en tête du pieu. Augmentation de l'effort à la base du pieu. Léger enfoncement de la base du pieu.
- **Refroidissement du pieu** : diminution de l'effort en tête du pieu. Soulèvement de la base du pieu.

Le dimensionnement des pieux énergétiques doit prendre en compte l'augmentation des contraintes induites par le réchauffement des matériaux constitutifs des pieux.

À titre d'exemple, l'augmentation des contraintes dans un pieu en béton complètement bloqué ( $n=1$  sur toute la longueur du pieu) est estimée de l'ordre de 0.3 MPa par degré de réchauffement. Elle est de l'ordre de 0.15 MPa par degré de réchauffement dans le cas d'un pieu partiellement bloqué.

Cette augmentation n'est pas négligeable et doit donc être bien prise en compte dans le dimensionnement des pieux.

Les déformations induites par le réchauffement (soulèvement en tête) ou par le refroidissement (tassement en tête) restent très faibles et non préjudiciables aux structures.

Au cours de la phase de conception, une modélisation thermomécanique du massif de sol, hôte du champ de pieux de fondation, est fortement recommandée. En particulier, pour le cas d'un groupe de pieux, dont certains seraient équipés en pieux énergétiques et d'autres non, cette modélisation peut apporter des résultats importants sur le comportement global du massif de fondations et sur ses effets potentiels sur la structure de l'ouvrage cible.

Pour ce faire, il est nécessaire d'accéder à des caractéristiques thermiques du terrain de fondation. Une première approche de celles-ci consiste à rechercher et utiliser, au stade de la faisabilité, des valeurs caractéristiques bibliographiques par famille de sols. À un stade plus avancé d'avant-projet, un test de réponse thermique au droit du site de fondation est fortement recommandé. Ce test de réponse thermique permet d'accéder à la fois à la conductivité thermique moyenne

5, 6 & 7- Paroi moulée à San Sebastian (Espagne).

5, 6 & 7- Diaphragm wall at San Sebastian (Spain).

## LES EFFORTS INDUITS SUR DES PIEUX EN BÉTON

Sous l'effet d'une variation thermique, la déformation du pieu en un point donné est la suivante :

- À déformation libre :  $\varepsilon_1 = \beta \Delta T$
- À déformation gênée :  $\varepsilon_g = n \beta \Delta T$  avec  $n$  : taux de liberté.  $n = 0$  si point à déplacement empêché.

La variation de contrainte correspondante dans le pieu :

$$\sigma = -E_{\text{pieu}} (\varepsilon_1 - \varepsilon_g)$$

Si  $n = 1$  (pieu libre) :  $\varepsilon_g = \varepsilon_1$  et donc  $\sigma = 0$

Si  $n = 0$  (pieu à déformation empêchée) :  $\varepsilon_g = 0$  et  $\sigma = -E_{\text{pieu}} \varepsilon_1$

Exemple numérique

$$E_{\text{pieu}} = 30\,000 \text{ MPa}$$

$$\beta = 10^{-5}$$

Variation de température :  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$

Si le pieu est complètement bloqué en tout point :

$$\sigma = -30\,000 \times 10^{-5} \times 10^\circ = -3 \text{ MPa}$$

Si le pieu est partiellement bloqué avec  $n = 0.5$  :

$$\sigma = -30\,000 \times (10^{-5} \times 10^\circ - 0.5 \times 10^{-5} \times 10^\circ) = -1.5 \text{ MPa}$$

Une modélisation tenant compte du comportement axial du pieu et du degré de liberté en tête peut être réalisée. Des programmes de calcul sont actuellement disponibles pour l'évaluation des effets des sollicitations thermiques, on peut citer le Programme Thermo-Pile à l'École polytechnique fédérale de Lausanne.

du terrain et à la résistance équivalente du pieu géothermique, grandeurs dimensionnantes du dispositif (voir spécifications de la norme sur la sonde géothermique verticale, NF X 10-970).

## UNE PREMIÈRE EN FRANCE POUR LE LOGEMENT SOCIAL

Aujourd'hui, Efidis [acteur du logement social en Île-de-France, NDLR] construit à Limay (78) une résidence de logements sociaux utilisant des pieux énergétiques (photo 2). Cinquante-six pieux de fondation de 13 ml sont équipés d'échangeurs géothermiques.

En bordure de Seine, la lithologie de ce site (alluvions modernes sur alluvions anciennes et formation de craie) présentait des caractéristiques géotechniques assez médiocres et nécessitait de dimensionner un dispositif de fondations profondes. Une étude de faisabilité technico-économique suivie d'une mission de maîtrise d'œuvre menée par Antea Group a permis à Efidis de décider la mise en œuvre de pieux géothermiques. C'est le croisement de compétences en hydrogéologie, en thermique et en géotechnique, qui permet d'apprécier les conditions favorables à la mise en œuvre de géostructures énergétiques et, en particulier, de pieux énergétiques.

## REGARD SUR LE FUTUR

La technologie des géostructures énergétiques ne présente pas de difficulté rédhibitoire du point de vue du géotechnicien. L'identification de conditions favorables et des précautions sur le dimensionnement des ouvrages équipés en échangeurs de chaleur, en interaction directe avec le terrain, est cependant à considérer.

Dans certains cas, des surdimensionnements peuvent être nécessaires, susceptibles de conduire à des surcoûts





© SOLEILANCE BACHY  
8



9

**8 & 9- Installation de pieux géothermiques à l'usine EADS à Getafe (Espagne).**

**8 & 9- Installation of geothermal piles at the EADS plant in Getafe (Spain).**

cependant relativement limités. Ce qui est indispensable de notre point de vue, c'est d'associer, dès la faisabilité d'une opération, le géotechnicien, l'hydrogéologue et l'énergéticien pour couvrir collégalement la problématique.

La multiplication et la valorisation de retours d'expérience au sein de la profession de géotechnicien, la réalisation de projets de recherche et la communication vers les maîtres d'ouvrage sont indispensables pour asseoir cette technologie dans la pratique courante. Des applications avec d'autres ouvrages en interaction que les pieux (parois moulées, tunnels, etc.) devraient rapidement se développer dans les prochaines années avec la double exigence d'aménagement/ rénovation urbaine et l'optimisation de la dépense énergétique dans une logique de développement durable. □

## DÉFINITIONS

**GÉOSTRUCTURE ÉNERGÉTIQUE** : Échangeur géothermique disposé dans un ouvrage en interaction avec le sol / sous-sol.

**PIEU GÉOTHERMIQUE OU PIEU ÉNERGÉTIQUE OU FONDATION THERMOACTIVE** : Pieu de fondation équipé d'échangeur de chaleur.

**POMPE À CHALEUR (PAC)** : Dispositif thermodynamique qui prélève la chaleur présente dans un milieu pour la transférer vers un autre.

**ÉCHANGEUR GÉOTHERMIQUE VERTICAL** : Échangeur géothermique très basse énergie qui permet de prélever ou d'injecter de la chaleur au sol / sous-sol. Son usage, en liaison avec la pac, peut être le chauffage ou la climatisation (pac réversible), mais également le refroidissement (*free cooling*) par *by-pass* [circuit d'évitement, NDLR] de la pac. Cet échangeur est constitué d'une boucle de sonde raccordée à la pac. Un fluide caloporteur circule à l'intérieur des tubes, en circuit fermé, pour prélever ou restituer la chaleur du sol / sous-sol, la transporter et la restituer à la pac.

**LITHOLOGIE** : Composition des sédiments ou des roches, (NDLR).

## [Bibliographie]

*Cofage (Conception de fondations géothermiques)* – Rapport final – CSTB [Centre scientifique et technique du bâtiment] – ESE [Énergie Santé Environnement] / ENR [Energies Renouvelables, NDLR]-07.044RS, septembre 2007.

*Interfaces Géothermie et Géotechnique en Europe.* Actes des tables rondes des IX<sup>e</sup> Rencontres de l'Ingénierie, Syntec Ingénierie, octobre 2010.

*Modélisation 3D de pieux sous sollicitation couplée mécanique et thermique cyclique.* Rapport de stage de Laëtitia Falque (ENTPE [Ecole nationale des travaux publics de l'État, NDLR]) à Antea Group, août 2011.

*Comportement d'un pieu bi-fonction, fondation et échangeur de chaleur.* Lyesse Laloui, Matteo Moreni et Laurent Vulliet, *Canadian Geotechnical Journal*, n° 40, p. 388-402, 2003.

NF X 10-970 – Forage d'eau et de géothermie – Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé) – Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon.

prNF X 10-960 – Forage d'eau et de géothermie – Systèmes caloporteurs pour eau glycolée et tubes de type polymère (boucles de sonde) – Exigences.

NF P 94-500 (décembre 2006) – Missions géotechniques.

## ABSTRACT

### ENERGY PILES: A SOLUTION FOR THE FUTURE IN GEOTHERMAL POWER

J-F. HEITZ, ANTEA GROUP - L. DEMONGODIN, EGIS GÉOTECHNIQUE - H. FARHAT, ARCADIS - J-C. GRESS, HYDROGÉOTECHNIQUE - B. SIMON, TERRASOL

While a number of European countries have already adopted it, geothermal power is still in the embryonic stage in France, but could benefit from the development of renewable energies. Energy geostructures, already clearly visible at the European level, represent an opportunity for France, with an initiative targeting public housing. □

### LOS PILOTES ENERGÉTICOS: UNA SOLUCIÓN CON FUTURO EN GEOTERMIA

J-F. HEITZ, ANTEA GROUP - L. DEMONGODIN, EGIS GÉOTECHNIQUE - H. FARHAT, ARCADIS - J-C. GRESS, HYDROGÉOTECHNIQUE - B. SIMON, TERRASOL

Aunque muchos países europeos ya la han adoptado, la geotermia todavía se está empezando a explotarse en Francia, pero podría beneficiarse del desarrollo de las energías renovables. Las geoestructuras energéticas, que ya cuentan con una gran visibilidad a nivel europeo, representan una apertura para Francia, con una iniciativa dirigida a la vivienda social. □

# L'AVENIR DES ÉOLIENNES *OFFSHORE* PASSE PAR LE BÉTON FIBRÉ À ULTRA-HAUTE PERFORMANCE

AUTEURS : FRANÇOIS-XAVIER JAMMES, LUCIANO TOSINI, XAVIER CESPEDES ET JACQUES RESPLENDINO, SETEC TPI

LES ÉOLIENNES *OFFSHORE* -AU LARGE DES CÔTES- S'IMPOSENT DE PLUS EN PLUS DANS LES PAYSAGES MARINS. UNE ÉNERGIE QUE L'ON TROUVE SOUS FORME DE FERMES EN HAUTE MER, COMPOSÉES DE MÉGA-ÉOLIENNES. MAIS L'ENVIRONNEMENT QUI LES ENTOURE REND LEUR CONCEPTION DÉLICATE. POUR CETTE RAISON, L'UTILISATION DE BÉTON FIBRÉ À ULTRA-HAUTE PERFORMANCE (BFUP) POUR LA CONSTRUCTION DU MÂT POURRAIT PERMETTRE UNE AVANCÉE PROMETTEUSE.



1- Exemple de  
ferme éolienne  
*offshore*.

1- Example of  
an offshore  
wind-power farm.

© SIEMENS AG,  
SIEMENS PRESS PICTURE



Avec une puissance installée estimée à 200 GW en 2011, l'énergie éolienne poursuit désormais son développement sous la forme de fermes en haute mer composées de méga-éoliennes (h > 100 m) (figures 2 & 3). Ces dernières permettent de tirer parti des meilleures conditions climatiques disponibles. Cela nécessite des structures massives soumises à des charges importantes dans des environnements complexes, ce qui rend la conception d'autant plus délicate lorsque l'on a recours à des matériaux traditionnels comme l'acier ou le béton armé.

L'utilisation d'un béton fibré à ultra-haute performance (BFUP) pour la construction du mât, présentant des propriétés prometteuses en termes de fatigue et de corrosion, pourrait permettre une avancée majeure.

### LES AVANTAGES DU BFUP DANS LA CONCEPTION DES MÂTS

L'environnement complexe en haute mer permet d'avoir un meilleur rendement énergétique mais implique des contraintes importantes en termes d'installation, de maintenance ainsi que des sollicitations intenses et répétées sur les mâts d'éoliennes. Une structure résis-

TABLEAU 1 : LES CARACTÉRISTIQUES DU BFUP

	Caractéristiques du BFUP
Masse volumique	2 500 kg/m <sup>3</sup>
Contrainte admissible en compression	150 MPa
Contrainte de traction admissible en flexion	30 MPa
Contrainte admissible en traction	8 MPa
Module de Young	50 000 MPa
Coefficient de Poisson	0.2
Retrait	5,5 10 <sup>-4</sup> m/m
Coefficient de fluage	0.3
Coefficient d'expansion thermique	11.8 10 <sup>-6</sup> m/m/°C

tante à des efforts cycliques, dans des conditions extrêmes, aurait un avantage indéniable sur les structures actuelles, en métal ou en béton armé, soumises à la corrosion ou à la dégradation rapide. Le comportement à la fatigue de structures en BFUP a fait l'objet d'études depuis de nombreuses années.

Des recherches décisives sont toujours en cours, et quelques conclusions essentielles peuvent être tirées. En compression, ce béton a un comportement à la fatigue considéré excellent jusqu'à la contrainte admissible. En traction, les anomalies dues à la fatigue apparaissent lorsque la contrainte atteint 0,5 à 0,6 fois la contrainte admissible.

Enfin, au niveau des joints entre deux éléments préfabriqués, ce béton se comporte de manière adéquate à condition que les coffrages soient parfaitement réalisés. Une structure en BFUP qui respecte les trois critères ci-dessus aura un meilleur comportement à la fatigue qu'une structure réalisée en matériaux traditionnels. Sa durée de vie sera donc augmentée.

En outre, les agressions de l'environnement naturel sur les matériaux jouent sur la durabilité de la structure. Le BFUP présente des propriétés intéressantes dans des environnements hostiles similaires aux conditions au large des côtes. Des études ont été menées sur la

pénétration de l'ion chlorure, l'abrasion, la réaction alcali-silice (*mécanisme de dégradation du béton, NDLR*) ou le phénomène de gel/dégel. Toutes révèlent la grande adaptation du matériau à un environnement agressif.

Certains montrent même que ce béton a la capacité d'accroître ses propriétés en milieu défavorable. De surcroît, il s'agit d'un matériau en partie hydraté. Soumis à un environnement marin, son hydratation augmente, diminuant ainsi sa porosité. Or, cette dernière est déjà faible, du fait d'une matrice cimentaire ultra-dense. Enfin, son haut taux en portlandite (chaux éteinte) retarde la carbonatation du matériau qui est la source de sa dégradation dans le temps. Ainsi, en remplaçant l'acier ou le béton conventionnel par le BFUP, une partie des pathologies dues à la corrosion de l'acier ou à la dégradation du béton serait résolue et la durabilité des structures en mer prolongée.

Le travail présenté ici est une étude de faisabilité dans le cas d'un mât d'éolienne terrestre qui ne traite pas l'ensemble des problèmes rencontrés pour les éoliennes en haute mer. De nouvelles études techniques seraient nécessaires pour étudier, par exemple, les effets du vent turbulent ou de la houle.

### 2- Évolution de la puissance éolienne mondiale installée.

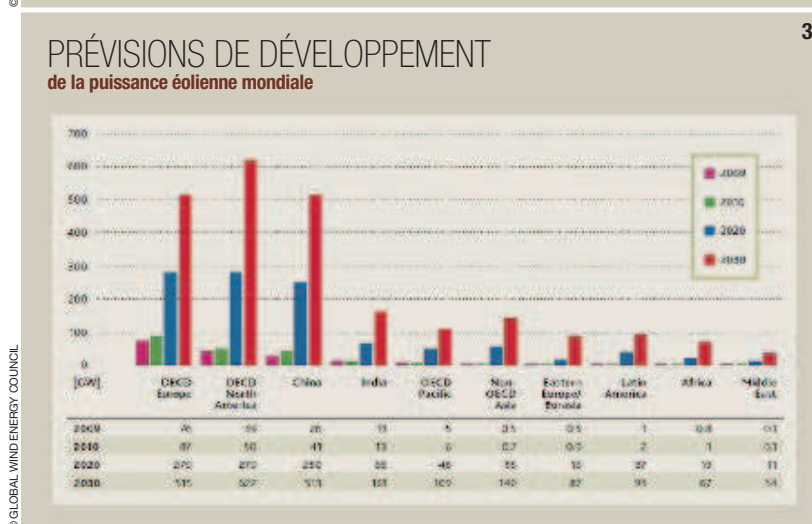
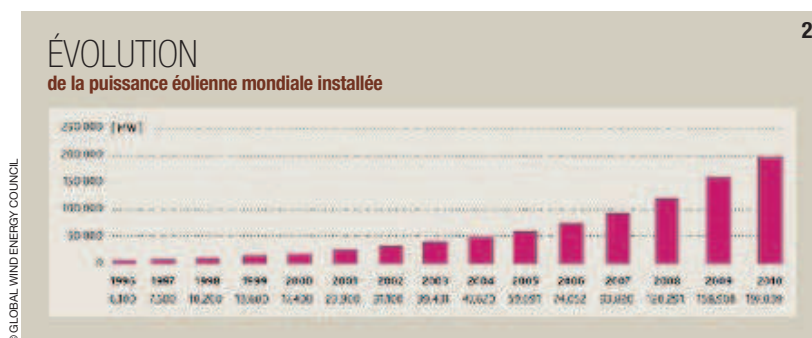
### 3- Prévisions de développement de la puissance éolienne mondiale.

### 4- La géométrie du mât.

### 2- Growth in installed wind power worldwide.

### 3- Forecasts for global wind power development.

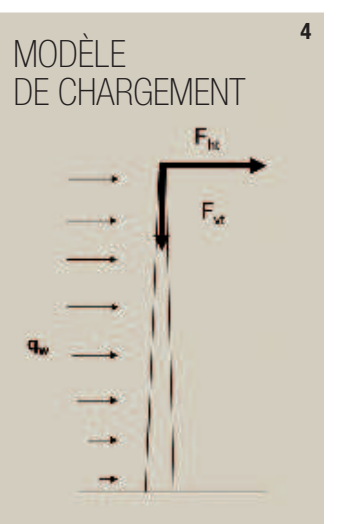
### 4- Geometry of the mast.



### CONCEPTION D'UN MÂT D'ÉOLIENNE EN BFUP

Les caractéristiques du BFUP utilisées dans cette étude sont récapitulées dans le tableau 1 et correspondent à des valeurs courantes pour ce type de matériau.

La géométrie du mât d'éolienne a été choisie pour être comparable aux plus puissantes éoliennes actuelles en acier. ▽



La forme est délibérément simple et seuls cinq paramètres définissent la géométrie de la structure dans son ensemble (tableau 2).

La structure est composée de 40 voussoirs de 3 mètres de haut, assemblés par des câbles non adhérents précontraints par post-tension. Pour des raisons constructives, chaque voussoir est lui-même composé de deux segments précontraints à la fois longitudinalement et de manière orthoradiale (voir la figure 8 et la figure 13).

Bien que le modèle de chargement utilisé soit sommaire, il a été choisi de manière conservatrice pour permettre un dimensionnement correct de la structure (figure 4). Il ne prend pas en compte les effets du vent turbulent ni les sollicitations de houle.

La modélisation de ces phénomènes nécessite des études plus poussées. Néanmoins, les valeurs du tableau 3 ont été validées par des experts du Laboratoire des énergies renouvelables du département de l'Énergie des États-Unis (NREL) et permettent de décrire, sommairement, les sollicitations que subissent les mâts d'éoliennes.

Les valeurs de ce tableau définissent la combinaison à l'état limite de service (ELS). La combinaison à l'état limite ultime (ELU) est obtenue en multipliant les charges permanentes par 1.35 et les autres charges par 1.5.

**MODÈLE DE CALCUL ET DIMENSIONNEMENT**

Un modèle de calcul global est réalisé pour dimensionner la précontrainte longitudinale globale. Le mât est encastré à la base et la précontrainte est prise

en compte comme une force centrée. La précontrainte est dimensionnée de manière à garantir la compression de toutes les sections pour le scénario ELS. Après la prise en compte des pertes instantanées et différées, la force de précontrainte maximale nécessaire est  $F_p=155$  MN et peut être obtenue avec 50 câbles 13T15S.

Les contraintes normales obtenues pour le scénario ELS sont représentées à la figure 5 et sont comprises entre 0.3 MPa et 82 MPa. Or, la contrainte admissible de compression du BFUP, avec les valeurs du tableau 1 est égale à 98 MPa.

À l'ELU une analyse a été conduite au niveau des joints entre voussoirs. Aucune traction n'est permise entre les voussoirs et le comportement en compression est caractérisé par une loi conventionnelle pour le BFUP, conforme aux recommandations de l'AFGC (*Association française de génie civil, NDLR*). Cette loi prévoit un comportement élastique linéaire jusqu'au palier plastique de 98 MPa. La vérification sur chaque section est satisfaite et un exemple de répartition de contrainte normale est fourni figure 6.

Les contraintes sont données en kPa. Les conventions sont celles utilisées en génie civil : les compressions sont positives.

**CONCEPTION DU VOUSOIR**

Le modèle local d'un voussoir a été réalisé pour en étudier sa précontrainte. Ce modèle est composé d'éléments de coques et prend en compte les nervures verticales et horizontales mesurant 20 cm d'épaisseur pour 50 cm

**5- Contraintes normales pour le scénario ELS. 6- Contraintes normales ELU dans une section.**

**5- Normal stresses for the SLS scenario. 6- ULS normal stresses in a section.**

de profondeur. Celles-ci permettent de renforcer le voussoir et sont utilisées pour la mise en place de la précontrainte locale.

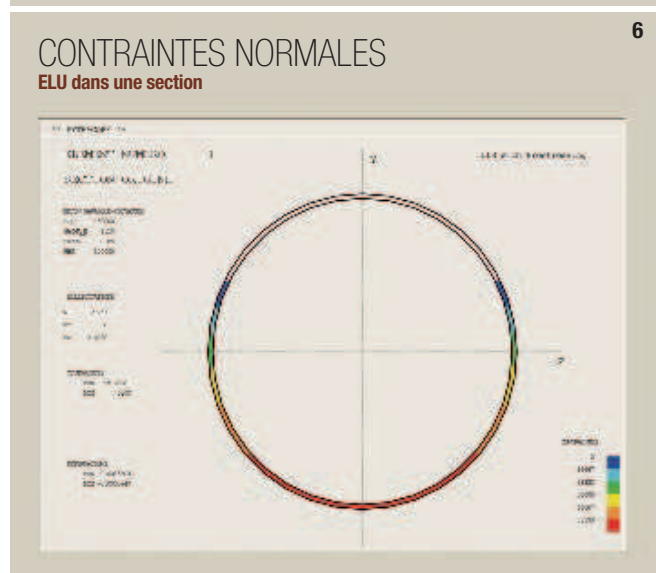
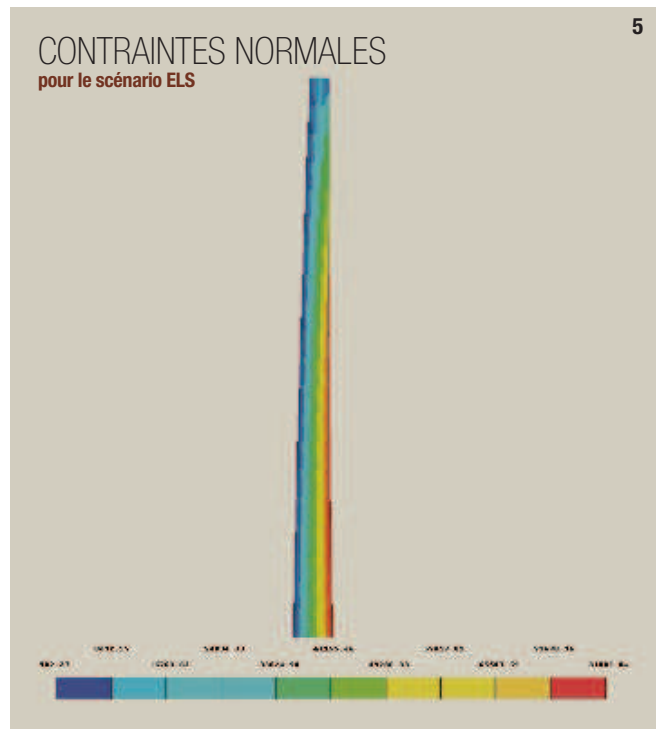
Les ancrages de la précontrainte globale sont modélisés en groupant plusieurs éléments de coques dans une zone rigide gouvernée par un nœud maître. La géométrie et le maillage du modèle sont représentés figure 7 où les zones rigides autour des ancrages sont indiquées en mauve. La précontrainte locale est décrite figure 8. Cette dernière est composée de barres verticales de type Freyssibar et de monotorons horizontaux pour lier

**TABLEAU 2 : CINQ PARAMÈTRES POUR DÉFINIR LA GÉOMÉTRIE DE LA STRUCTURE DANS SON ENSEMBLE**

Hauteur du mât d'éolienne	<b>h = 120 m</b>
Épaisseur à la base	<b>t<sub>w,base</sub> = 0.12 m</b>
Épaisseur en tête	<b>t<sub>w,tête</sub> = 0.06 m</b>
Rayon à la base	<b>r<sub>0,base</sub> = 4 m</b>
Rayon en tête	<b>r<sub>0,tête</sub> = 2 m</b>

**TABLEAU 3 : LES VALEURS DE CHARGEMENT CONFORMES AU LABORATOIRE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DU DÉPARTEMENT DE L'ÉNERGIE DES ÉTATS-UNIS (NREL)**

Description des chargements	Valeurs
Masse volumique	<b>d<sub>UHPC</sub> = 2500kg / m<sup>3</sup></b>
Poids de la nacelle et du rotor F <sub>N</sub>	<b>4000 kN</b>
Effort de poussée au niveau du rotor F <sub>Nt</sub>	<b>1200 kN</b>
Charge horizontale de vent le long du mât q <sub>w</sub>	<b>1/2 · ρ · V<sup>2</sup> · C.B kN / ml</b>
<b>V = 1.5 x V<sub>50</sub> (h) ; V<sub>50</sub> (h) = V<sub>50</sub>(10) ln (h/h<sub>0</sub>) / ln (10/h<sub>0</sub>) ; h<sub>0</sub> = 0.05 m ; V<sub>50</sub>(10) = 26 m/s</b>	





7- Géométrie et maillage du modèle de calcul d'un voussoir, (les zones rigides au niveau des ancrages globaux sont en mauve).

8- Description de la précontrainte locale, (en vert et rouge : la précontrainte verticale, en bleu : la précontrainte orthoradiale).

9- Contrainte normale circonférentielle (phase provisoire).

10- Contrainte normale longitudinale (phase provisoire).

11- Contrainte normale longitudinale (combinaison ELS/ configuration 1).

12- Contrainte normale longitudinale (combinaison ELU/ configuration 2).

7- Geometry and meshing of the design model for a segment (the stiff areas at the level of the overall anchorage point are in mauve).

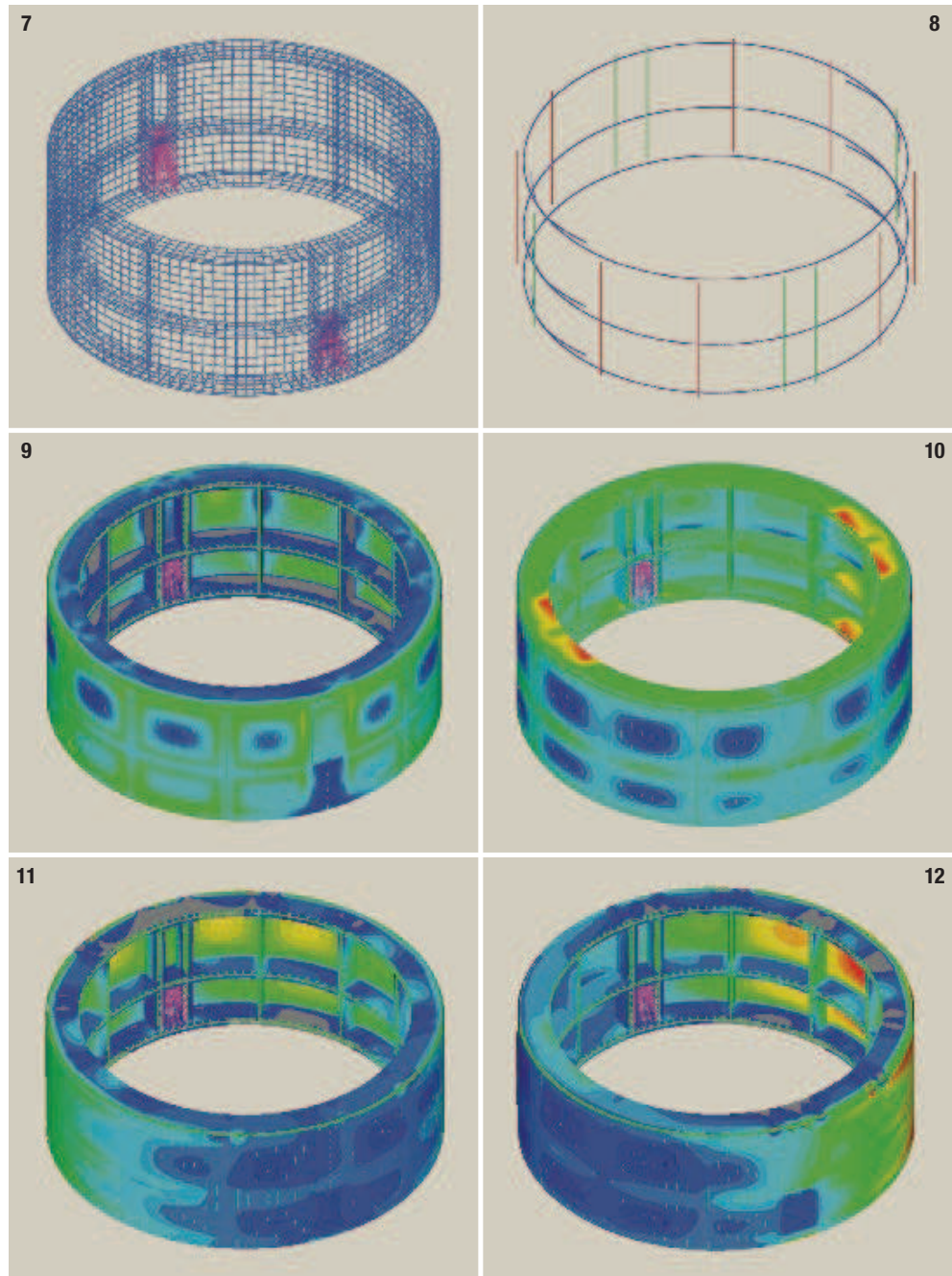
8- Description of local prestressing (in green and red: vertical prestressing, in blue: orthoradial prestressing).

9- Circumferential normal stress (provisional phase).

10- Longitudinal normal stress (provisional phase).

11- Longitudinal normal stress (combination of SLS/configuration 1).

12- Longitudinal normal stress (combination of SLS/configuration 2).



les segments du voussoir entre eux. Plusieurs analyses sont effectuées sur le modèle local.

La première concerne la phase de mise en place du voussoir en tête de la structure provisoire.

La précontrainte locale est mise en tension ainsi que la précontrainte globale à travers les blocs d'ancrage.

Cette phase est critique car la mise en tension de la précontrainte globale entraîne des tractions. Lors de cette étape le voussoir ne bénéficie pas encore de la compression apportée par les voussoirs en tête de mât.

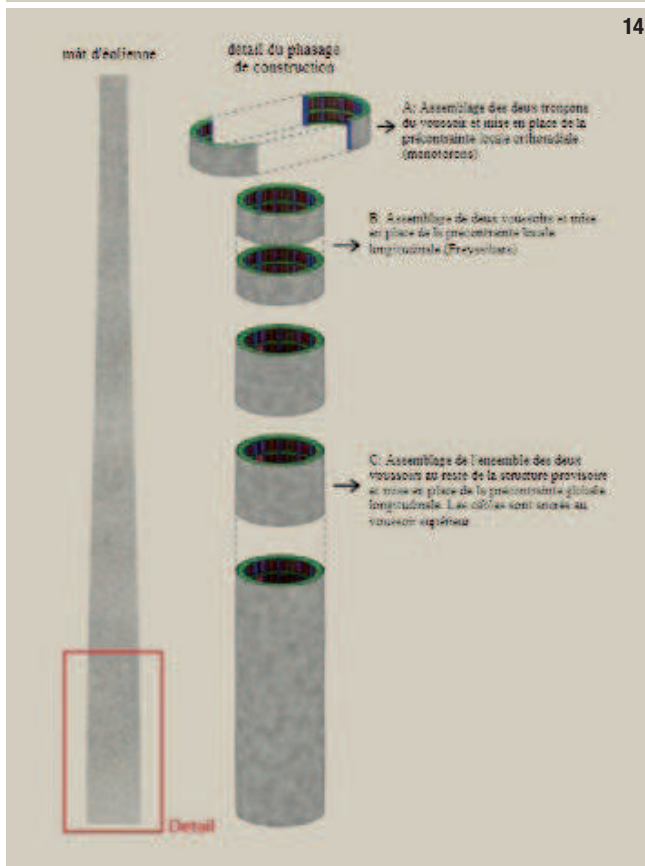
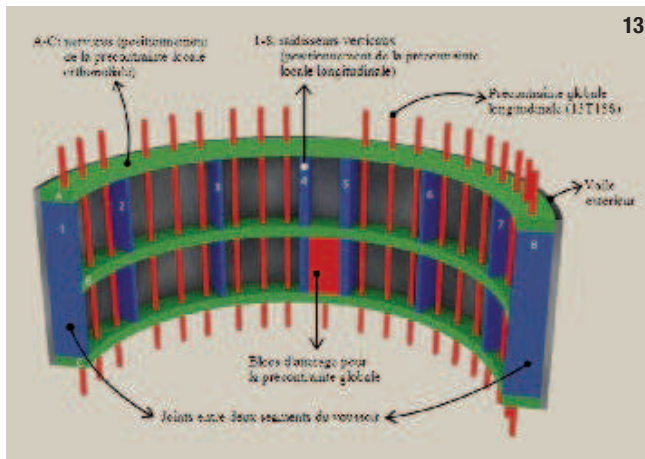
Cependant les résultats figure 9 et figure 10 montrent que les tractions restent inférieures à la contrainte admissible en traction, égale à - 8 MPa. Une analyse de la structure en service est également menée prenant en compte la construction complète du mât et les sollicitations statiques du vent. Le torseur à appliquer aux extrémités du modèle local découle de l'étude sur le modèle global. Deux configurations ont été étudiées, considérant la flexion globale suivant deux axes perpendiculaires, ceci afin de mettre en relief l'effet bénéfique ou non

de la précontrainte globale (configuration 1 et 2 respectivement).

Les résultats de cette analyse montrent que la configuration 2 est la plus défavorable, lorsque la flexion du mât se fait suivant l'axe des ancrages et que la précontrainte n'exerce pas d'effet bénéfique sur les tractions du matériau. Les contraintes minimales obtenues en traction sont de - 9 MPa, et correspondent à 30 % de la contrainte de traction admissible en flexion (- 30 MPa) garantissant ainsi un comportement correct vis à vis de la fatigue de la structure (figures 11 et 12).

TABLEAU 4 : LE RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES DE LA PRÉCONTRAINTE

Type de précontrainte	Caractéristiques de la précontrainte
Précontrainte globale longitudinale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 unités 13 T15S à la base et 10 unités 13 T15S en tête de mât avec une répartition linéaire le long du mât.</li> <li>• 2 ancrages globaux par voussoir de type 2.</li> </ul>
Précontrainte locale longitudinale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 barre précontrainte de type Freyssibar pour chaque renfort vertical (diamètres <math>\varnothing</math> 26.5 pour les renforts intermédiaires et <math>\varnothing</math> 40 pour les renforts au droit des ancrages et des jointures des demi-voussoirs).</li> <li>• 2 ancrages locaux par renfort vertical.</li> </ul>
Précontrainte locale orthoradiale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 monotorons T15S pour chaque nervure horizontale, ancrés aux jointures des demi-voussoirs (soit 60 T15S par voussoir).</li> <li>• 2 ancrages locaux par nervure.</li> </ul>



Le schéma d'un segment de voussoir détaillé en figure 13 précise l'ensemble des nervures verticales et horizontales dans lesquelles est positionnée la précontrainte locale.

Le bloc d'ancrage est mis en évidence ainsi que la précontrainte longitudinale globale. Le tableau 4, quant à lui, récapitule la précontrainte présente dans la structure.

#### LE PHASAGE DE CONSTRUCTION

Il est important de bien étudier le phasage de construction d'une structure précontrainte en BFUP.

En particulier, lorsque la structure est très grande, il faut pouvoir mettre en œuvre un phasage simple, répétitif et rapidement exécutable.

Le phasage proposé est composé de trois étapes (figure 14).

#### CONCLUSION

Le béton fibré à ultra-haute performance (BFUP) est un matériau qui a souvent été utilisé dans des projets innovants de génie civil. Il a été préféré aux autres matériaux traditionnels pour ses performances en termes de résistance et de rigidité.

L'étude de faisabilité a montré qu'il était possible de concevoir un mât de 120 mètres pour les fermes éoliennes et d'exploiter les autres caractéristiques prometteuses du BFUP pour les éoliennes en haute mer.

Le bon comportement à la fatigue de ce béton ainsi que sa faible dégradation même en milieu extrême font de ce matériau un concurrent direct des autres matériaux couramment utilisés pour les mâts d'éolienne.

L'étude de faisabilité a été menée sur un modèle et des sollicitations simplifiées correspondant à une situation d'éolienne terrestre. Des études approfondies seraient nécessaires pour prendre en compte d'autres types de sollicitation comme celles dues, par exemple, au vent turbulent ou à la houle. □

**13- Description du segment de voussoir préfabriqué de type 2. (Le segment de type 1 est identique à celui de type 2 mais n'a pas de bloc d'ancrage).**

**14- Le phasage de construction du mât d'éolienne.**

**13- Description of the type 2 precast segment. (The type 1 segment is identical to type 2 but has no anchor block).**

**14- Construction scheduling for the wind turbine mast.**

#### ABSTRACT

### ULTRA-HIGH-PERFORMANCE FIBRE-REINFORCED CONCRETE AND THE FUTURE OF OFFSHORE WIND TURBINES

SETEC TPI : F-X. JAMMES, L. TOSINI, X. CESPEDES & J. RESPLENDINO

*Offshore wind turbines are increasingly present in marine landscapes. Wind power is captured by farms of huge wind turbines on the high seas. But due to the environment their design is tricky. For this reason, the use of ultra-high-performance fibre-reinforced concrete (UHPFRC) for construction of the mast could be a promising breakthrough. □*

### EL FUTURO DE LOS AEROGENERADORES OFFSHORE PASA POR EL HORMIGÓN CON FIBRAS DE MUY ALTAS PRESTACIONES

SETEC TPI : F-X. JAMMES, L. TOSINI, X. CESPEDES & J. RESPLENDINO

*Cada vez se imponen más los aerogeneradores offshore –frente a las costas– en los paisajes marinos. Una energía que se encuentra en forma de parques en alta mar, compuestos por mega aerogeneradores. Pero el entorno que los rodea hace que su diseño sea delicado y, por este motivo, la utilización de hormigón con fibras de muy altas prestaciones (BFUP) para la construcción del mástil podría permitir un avance prometedor. □*



# UN TUNNEL ET DES PUIITS POUR CONTRER LES INONDATIONS À HONG KONG

AUTEURS : DANIEL ALTIER, DIRECTEUR DU PROJET *HONG KONG WEST DRAINAGE TUNNEL (HKWDT)* POUR *DNJV (DRAGAGES-NISHIMATSU JOINT VENTURE)*,  
ENTREPRISE : DRAGAGES HONG KONG, FILIALE DE BOUYGUES TP

SA SITUATION GÉOGRAPHIQUE REND HONG KONG SENSIBLE AUX RISQUES D'INONDATION. LE PROJET DE *HONG KONG WEST DRAINAGE TUNNEL (HKWDT)* EST CONÇU POUR PROTÉGER LA PARTIE BASSE DE LA VILLE, SITUÉE SUR LE VERSANT NORD DE L'ÎLE. AU TUNNEL PRINCIPAL S'AJOUTE UN RÉSEAU DE GALERIES ET L'ÉLABORATION DE PLUSIEURS PUIITS.



1- Une installation compacte et adaptée à la configuration du site a permis une mobilisation rapide et optimisée.

1- A compact installation adapted to the site configuration allowed fast, optimal deployment.

© DRAGAGES HONG KONG

## LA NATURE DU PROJET

Le projet de *Hong Kong West Drainage Tunnel (HKWDT)* a été conçu pour diminuer les risques d'inondation dans la partie basse de la ville sur le versant

nord de l'île de Hong Kong. Ces quartiers à forte densité de population se trouvent sur une zone étendue sur la mer d'environ 0,7 kilomètre par rapport à la rive d'origine. Au-delà, les buildings

sont accrochés à flanc de montagne pour atteindre 500 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Hong Kong est soumis à un climat de nature subtropicale avec une saison

des pluies qui s'étend d'avril à septembre et des précipitations moyennes annuelles de 2 200 millimètres par an. Des typhons accompagnés de pluies violentes peuvent atteindre des pointes



2- Inondations dans le quartier résidentiel de Happy Valley.

3- Vue en plan du projet.

4- Coupe du projet.

5- Tunneliers (TBM's [Tunnel Boring Machines]).

6- Vue d'excavation.

7- Chantier pour puits de surface.

2- Flooding in Happy Valley residential district.

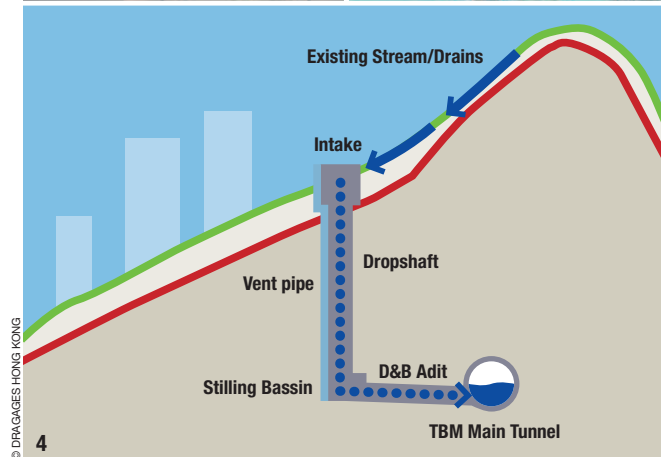
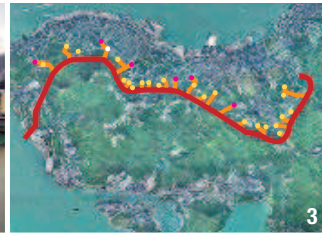
3- Plan view of the project.

4 : Cross section of the project.

5- Tunnel boring machines (TBM's).

6- Excavation view.

7- Construction site for surface shaft.



quartiers, comme dans celui de Happy Valley (photo 3). Afin de résoudre ce problème, Le Drainage Service Department (DSD) a donc lancé le projet de HKWDT en novembre 2007.

### LA DESCRIPTION DU PROJET

Le Projet HKWDT peut être divisé en quatre grands chantiers décrits ci-dessous (figure 4).

Toutes les activités ont dû être menées simultanément, ce qui a représenté un véritable défi en matière de planification, de séquences de travaux et de moyens logistiques.

De même qu'au niveau de la gestion des interfaces entre les différentes activités et les contraintes extérieures aux chantiers (le trafic, la circulation des résidents, l'environnement et la sécurité du public).

### LA CONSTRUCTION DE PUIITS AU RAISE BORING

Sur le chantier de HKWDT, la majorité des puits ont été creusés par quatre foreuses de type *Raise Boring*, pour des profondeurs allant de 40 à 175 m et de diamètres de 2,45 m ou 3,15 m.

La géologie rencontrée sur l'île de Hong Kong pour le creusement de ces puits est très adaptée à cette technique : ▷

de plus de 100 millimètres par heure ou de 300 millimètres par jour. De telles intempéries peuvent rapidement saturer un réseau d'écoulement existant depuis plusieurs dizaines d'années et rendu

inefficace par l'urbanisation extensive de la ville.

Les conséquences de ces inondations sont dramatiques sur le plan humain, avec des risques d'accidents comme

par exemple des glissements de terrain ou des effondrements.

Elles sont aussi économiques et se traduisent par la paralysie de l'activité et des transports dans de nombreux



### DESCRIPTION DU PROJET

- Le tunnel principal rejoignant Tai Hang à Cyberport d'une longueur d'environ 10,6 km qui a été construit à l'aide de 2 tunneliers à roche dure pour un diamètre intérieur de 7,25 m à l'Ouest et 6,25 m à l'Est (photo 5).
- Un réseau de 32 galeries reliant le tunnel principal aux puits d'une longueur totale de 7,9 km réalisé par creusement à l'explosif (photo 6).
- 32 puits de surface construits dans des quartiers résidentiels recentrés et fortement peuplés (photo 7).
- 23 puits reliant les puits de surface et les galeries souterraines creusés à l'aide de la technique du *Raise Boring*, (technique de forage, NDLR).





8



9



10



11

© DRAGAGES HONG KONG

La partie Est du projet se situe dans du granite allant de 120 à 220 Mpa, alors que la partie Ouest rencontre essentiellement des roches volcaniques allant de 150 à 270 Mpa.

Cette technique, essentiellement utilisée dans l'industrie des mines en Australie ou en Afrique du Sud, a été choisie car elle permet de diminuer l'impact sur l'environnement et de réduire les nuisances pour le public.

L'évacuation des matériaux excavés se fait par le tunnel, permettant ainsi d'éviter complètement toute circulation de camions en surface lors du creusement. Cet avantage est essentiel surtout dans les quartiers où se situent les puits entourés de nombreuses écoles ou de résidences, et où le trafic est important. Ces foreuses compactes et insonorisées permettent également de limiter les nuisances sonores.

La technique de RBM présente également d'autres avantages par rapport aux méthodes conventionnelles.

**8- Le transport de la tête de coupe.**

**9- Le montage de la tête de coupe.**

**10- Le début du creusement.**

**11- Le percement en surface.**

**8- Cutter head transport.**

**9- Cutter head mounting.**

**10- Start of digging.**

**11- Surface piercing.**

## LA MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION DES PUIITS AU RAISE BORING

La construction de ces puits s'est effectuée en quatre grandes étapes.

Pour commencer, les investigations de sol, les études et les pré-injections.

Ensuite, le creusement des puits au RBM, puis l'installation de confortements provisoires. Pour terminer, la mise en place des anneaux préfabriqués pour le revêtement définitif.

Tout d'abord un sondage a été effectué au centre de chaque puits afin d'obtenir

## LES AVANTAGES DE LA TECHNIQUE RBM PAR RAPPORT AUX MÉTHODES CONVENTIONNELLES

- Une installation compacte et adaptée à des sites recentrés a permis des mobilisations rapides et optimisées (photo 1).
- L'opportunité de modifier la taille des têtes de coupe nous a permis d'utiliser la même foreuse pour des puits de diamètres différents.
- Les ratios de creusement sont bien supérieurs à toute autre technique utilisée sur ce chantier.
- L'opérateur travaillant en surface dans une cabine adaptée est en complète sécurité.



une image plus précise des conditions géologiques et de permettre au bureau d'études de se déterminer sur deux sujets essentiels.

Le premier porte sur l'estimation de la stabilité du puits après excavation, en

particulier dans certaines zones interceptant des failles. Le second concerne l'appréciation des quantités de venue d'eau risquant d'affecter le niveau de la nappe dans la roche après excavation du puits.



12

**12- L'inspection du géologue.**

**13- L'application du Tunnelguard.**

**14- Une nacelle multiplateforme permet aux ouvriers de descendre.**

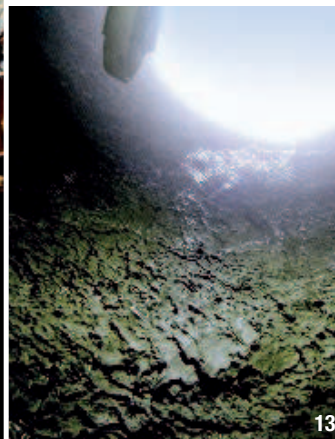
**15- Descente d'un anneau préfabriqué.**

**12- Geologist's inspection.**

**13- Tunnelguard application.**

**14- A multiple work platform lowers the workers.**

**15- Lowering a prefabricated ring.**



13



14



15

Les conclusions de cette étude nous ont permis de déterminer le régime des injections à réaliser avant le creusement.

Les injections, quand elles ont été nécessaires, ont été réalisées selon deux principes. Soit à partir de la surface pour atteindre la zone à injecter à l'aide de forages en périphérie de puits, pour les zones les moins profondes. Soit à partir de la galerie souterraine pour atteindre la zone à injecter à l'aide de forages subverticaux pour les zones les plus profondes.

Pour ce qui est du creusement des puits au *RBM*, compte tenu de la surface restreinte et des conditions différentes sur chaque site, il a fallu prévoir et étudier une méthode d'installation spécifique pour chaque site avec l'emplacement exact de chaque composant. Une plateforme métallique particulière pour chaque chantier a dû être conçue et réalisée pour recevoir les équipements. Ceux-ci se composent d'une foreuse *RBM* de 14 à 18 tonnes, d'un groupe hydraulique, d'un groupe électrogène, d'un compresseur, d'une cabine de contrôle, de bacs de rétention, de pompes à eau et de tiges de forage.

Certains sites accessibles uniquement par des véhicules de moins de 5 tonnes nous ont imposé le démontage et remontage de la foreuse afin d'en assurer le transport sur site.

L'étape suivante constitue une des phases clés du procédé. Un forage d'un diamètre de 350 millimètres est réalisé débouchant dans la galerie souterraine pouvant se situer 175 mètres plus bas. Le bon déroulement de cette opération passe par une implantation topographique très rigoureuse en surface, ainsi qu'une grande expertise du foreur.

En effet, le résultat de la tolérance de verticalité de ce forage (1 % théorique) va conditionner la verticalité finale du puits. Actuellement tous les forages ont été réalisés avec une déviation maximale de 0,8 %.

Le forage ayant débouché dans la galerie souterraine, on peut ensuite passer à l'étape suivante qui consiste à transporter la tête de coupe par train à l'intérieur du tunnel principal et ensuite à l'aide d'une remorque à l'intérieur de la galerie (photo 8).

La tête de coupe équipée de mollettes de creusement pour roches dures peut alors être montée sur le train de tiges débouchant de la surface (photo 9).

L'opération de creusement en remontant de la galerie vers la surface peut alors commencer (photo 10).



Les matériaux d'excavation tombant dans la galerie sont régulièrement évacués à l'aide d'un chargeur vers les trains d'évacuation des déblais allant aux portails du tunnel principal.

Le percement du puits s'effectue en surface avec des cadences de creusement de 5 ml par jour en moyenne sur un poste de 10 heures (photo 11). Une fois le puits creusé, la première opération consiste à vérifier l'état de la surface du puits pour déterminer les travaux éventuels de confortement à réaliser.

Une caméra est d'abord descendue dans le puits afin de visionner l'état des parois et de d'évaluer s'il y a des risques d'éboulement. Ensuite, à l'aide d'une nacelle, un géologue confirmé fait une cartographie de la surface du puits (photo 12). Le résultat de cette cartographie permet de déterminer la nature des confortements à réaliser. Deux types de confortements ont dû être réalisés. Premièrement, on a projeté du béton afin de réduire les venues d'eau et de stabiliser des zones peu altérées. Compte tenu de l'exiguïté du puits, un produit innovant, le *Tunnel-guard* a été mis en place.

D'un aspect plus plastique, sa composition évite les projections de poussières et les pertes rencontrées dans les bétons projetés classiques (photo 13). Deuxièmement, on a procédé à une combinaison d'ancrages au rocher (1,60 m) et de *Tunnelguard* afin de stabiliser des zones plus fortement altérées.

L'étape suivante est la mise en place des anneaux préfabriqués pour le revêtement définitif.

L'objet essentiel de cette opération était la méthode de réalisation ; la problématique étant d'assurer la sécurité des ouvriers travaillant à l'intérieur du puits pendant toutes les opérations de manutention.

Des plateformes spécifiques à plusieurs niveaux avec des plafonds anti-chutes ont été conçues par le service méthodes.

Elles sont toutes équipées de caméras permettant au grutier en surface de visualiser ce qu'il se passe en fonds de puits.

Le déroulement des opérations se fait en plusieurs temps.

Deux ouvriers descendent à l'aide d'une nacelle multiplateforme (photo 14).

Ils accèdent au niveau inférieur sous le plafond anti-chutes.

On descend un anneau préfabriqué (photo 15) et un tube de ventilation. Les ouvriers accèdent au niveau supérieur et l'on procède à l'ajustement de l'anneau sur l'anneau précédent.

On termine par la descente de la trémie de bétonnage pour placer le béton entre l'anneau préfabriqué et la paroi d'excavation.

Un suivi rigoureux de cette méthode nous permet d'installer 2 à 3 anneaux par jour.

L'exécution de ces puits a été l'occasion de faire appel à des techniques nouvelles propices à l'environnement du chantier.



© DRAGAGES HONG KONG 16

**16- L'équipe qui a œuvré au projet de Hong Kong West Drainage Tunnel.**

**16- The team that worked on the Hong Kong West Drainage Tunnel project.**

Un travail de préparation minutieux nous a permis de développer des outils sur mesure adaptés à des conditions de travail très difficiles.

Par ailleurs, la collaboration entre tous les membres de l'équipe et l'échange de connaissances nous ont permis de transformer cette activité en un véritable succès (photo 16). □

## LES ACTEURS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Drainage Service Department

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Arup

**ENTREPRISE PRINCIPALE :** Joint venture DNJV (Dragages Hong Kong [membre du groupe Bouygues] / Nishimatsu)

**BUREAU D'ÉTUDES :** Aecom

**ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE (EXCAVATION DES PUIITS) :** Mac Mahon Mining Services (Australie)

**ML D'EXCAVATION :** 2 050 ml

**NOMBRE D'ANNEAUX INSTALLÉS :** 585 u

**DURÉE DU CHANTIER RBM :** 20 mois

## ABSTRACT

### A TUNNEL AND SHAFTS TO COUNTER FLOODING IN HONG KONG

DANIEL ALTIER, DNJV (DRAGAGES-NISHIMATSU JOINT VENTURE) - BOUYGUES

*The Hong Kong West Drainage Tunnel (HKWDT) project has been designed to mitigate flood risks in the low-lying part of the city on the northern slope of Hong Kong Island. It consists of a 10.6 km main tunnel, 32 galleries 7.9 km long, and 32 shafts.*

*Most of the shafts (23) were dug by four raise boring type drillers, for depths ranging from 40 to 175 metres and diameters of 2.45 or 3.15 metres through volcanic and granitic rock layers.*

*Following a stability study, the boring machine executes an initial borehole 350 mm in diameter, coming out in the gallery, then a cutter head is mounted on the drill string and digs out the rock from the bottom upward to the shaft's final diameter. Finally, prefabricated rings are installed from the surface to complete the shaft's construction. □*

### UN TÚNEL Y POZOS PARA CONTRARRESTAR LAS INUNDACIONES EN HONG KONG

DANIEL ALTIER, DNJV (DRAGAGES-NISHIMATSU JOINT VENTURE) - BOUYGUES

*El proyecto de Hong Kong West Drainage Tunnel (HKWDT) se ha diseñado para reducir los riesgos de inundación en la parte baja de la ciudad en la vertiente norte de la isla de Hong Kong. Consta de un túnel principal de 10,6 km, 32 galerías de 7,9 km y 32 pozos.*

*La mayoría de los pozos (23) se han excavado con cuatro perforadoras de tipo Raise Boring, para profundidades de 40 a 175 m y diámetros de 2,45 m o 3,15 m a través de capas de rocas volcánicas o graníticas.*

*Después de un estudio de estabilidad, la perforadora realiza una primera perforación de 350 mm de diámetro que desemboca en la galería; después, se monta un cabezal de corte en la sarta de perforación, que excava la roca de abajo hacia arriba hasta el diámetro final del pozo. Por último, se colocan desde la superficie anillos prefabricados para terminar la construcción del pozo. □*



1- Le confinement de la rive amont du tablier.

1- Confinement of the upstream edge of the deck.

© SETEC TPI

# LE PONT JEANNE-D'ARC À ROUEN RENFORCE SON TABLIER ET SE REFAIT UNE BEAUTÉ

AUTEURS : ÉTIENNE DÉPALLE & MARIE-ALEX CÉLANIE, SETEC TPI, MAÎTRISE D'ŒUVRE - DAMIEN COUSIN, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS-FRANCE/ VSL FRANCE, CHEF DE GROUPE TRAVAUX, RESPONSABLE DU CHANTIER - ROMAIN CARREAU, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS-FRANCE/ VSL FRANCE, ADJOINT AU RESPONSABLE DU CHANTIER - NICOLAS GRAPIN, MAËS, RESPONSABLE DE L'AGENCE DE NOGENT-SUR-OISE (60), RESPONSABLE DU CHANTIER

RÉALISÉ À ROUEN (76) APRÈS LA SECONDE GUERRE MONDIALE, LE PONT JEANNE-D'ARC RELIE LES DEUX RIVES DE LA SEINE. L'ÉDIFICE FAIT L'OBJET D'UNE RÉFECTION COMPLÈTE. COMMENCÉE EN FÉVRIER 2011, ELLE VISE À RENFORCER LE TABLIER DE L'OUVRAGE QUI MONTRE DES SIGNES DE FATIGUE ET À AUGMENTER LA CAPACITÉ DE LA LIGNE DE TRAMWAY QU'IL SUPPORTE. L'ACHÈVEMENT DES TRAVAUX EST PRÉVU POUR CET ÉTÉ.

## HISTOIRE ET DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le pont Jeanne-d'Arc permet le franchissement de la Seine au centre de Rouen (76). Il a été réalisé entre 1953 et 1956 dans le cadre de la reconstruction du port de Rouen, après la Seconde Guerre mondiale qui avait vu la destruction des ponts.

L'édifice est un ouvrage remarquable constitué d'un tablier mixte à 3 travées (100 mètres pour la travée centrale et

48 mètres pour les travées de rive). Son tablier comporte un hourdis en béton armé d'une épaisseur de 15 centimètres et de 7 poutres métalliques de hauteur variant entre 5,30 mètres sur piles et 1,25 mètre en travée centrale et au droit des culées.

À son origine, il supportait une route à deux fois deux voies et ce, jusqu'en 1994, date à laquelle il a été adapté pour la mise en service d'une ligne de tramway. La largeur importante de

son tablier (20 mètres) a permis de conserver en outre 3 voies routières. La fréquentation de la ligne de tramway s'élève jusqu'à 60 000 voyageurs par jour, ce qui a conduit la Communauté de l'agglomération Rouen-Elbeuf-Austreberthe (Crea) à décider d'augmenter la capacité de cette ligne de façon conséquente.

La mission de maîtrise d'œuvre, confiée à Setec TPI en 2008, a consisté à la fois à identifier les travaux nécessaires

à l'entretien courant et spécialisé de l'ouvrage, mais aussi à vérifier la capacité de l'ouvrage à supporter les futures rames de tramway d'une longueur de 45 mètres, et de 55 mètres à plus long terme.

La complexité du tablier a nécessité l'établissement d'un modèle exhaustif avec le logiciel *Pythagore*® développé par Setec TPI. Ce modèle a permis un recalcul complet du tablier, validé par comparaison à une épreuve d'ouvrage



faite en 1994. On a par ailleurs procédé à une vérification au voilement des sections élancées des poutres métalliques ainsi qu'à une étude fine à la fatigue. En plus de la vérification structurelle du tablier, une étude a été réalisée conjointement avec les exploitants des voies franchies et supportées, à savoir : Voies navigables de France, RFF (Réseau ferré de France), la SNCF, le conseil général de la Seine-Maritime et la Ville de Rouen). L'objectif étant de mettre au point les méthodes de réalisation des travaux. La solution d'une plate-forme suspendue au tablier a été retenue,

**2- Vue d'ensemble depuis la rive droite de la Seine.**

**3- La plate-forme suspendue sous le tablier.**

**2- General view from the right bank of the Seine.**

**3- The platform suspended under the deck.**

ainsi qu'un phasage réduisant autant que possible les impacts sur les voies routières des quais bas en rive droite et sur le tablier (photo 3).

#### LE RENFORCEMENT DU TABLIER

Sur la base des études menées par Setec TPI et suite aux résultats de l'état des lieux réalisé par VSL France (Bouygues Travaux Publics Régions-France) dans le cadre de son marché de travaux, le bureau d'études de l'entreprise AC4S a effectué l'ensemble des études d'exécution. Ces dernières ont permis de confirmer que le tablier

souffrait principalement du phénomène de fatigue de l'acier de la charpente, plutôt que d'un manque de capacité portante. En effet, la finesse du tablier en travée centrale et les nombreux passages du tramway - 220 rames par jour et par sens de circulation -, ont rendu cet ouvrage très sensible au phénomène de fatigue. La durée de vie du renforcement à réaliser a été fixée à 30 ans par la Crea.

Afin d'obtenir des résultats précis, l'historique complet de la circulation routière et de celle du tramway a été pris en compte. L'endommagement de la structure a pu être estimé jusqu'en 2042 par l'application de la méthode de la goutte d'eau, implémentée dans un module du logiciel *Pythagore*<sup>®</sup>. Cette méthode consiste à comptabiliser le nombre de cycles de charge subi par un assemblage pendant sa durée de vie de calcul, et de le comparer au nombre de cycles conduisant à la ruine pour le détail concerné.

Le renforcement a concerné principalement les 5 files d'entretoises centrales et les 4 poutres situées sous la plate-forme du tramway. Pour ce qui est des poutres, le renforcement a consisté à souder des tôles de 15 à 25 millimètres d'épaisseur sous les semelles inférieures de ces dernières.

Concernant les entretoises, le renforcement retenu a été particulièrement astucieux, puisqu'en plus de réduire les efforts dans les diagonales et les membrures existantes, il permet également d'améliorer le fonctionnement du tablier en flexion transversale en le rigidifiant de façon importante.

L'astuce réside dans la conception même des renforts, constitués de diagonales qui viennent s'ajouter à celles existantes, plutôt que de souder des éléments sur celles-là. Cette solution permet également de venir souder les renforts dans des zones robustes, et non pas sur les diagonales existantes, très fines (photo 4).

La mise en place de ces renforts a été effectuée de manière innovante par VSL France, et contrôlée par l'équipe de Setec TPI présente sur le chantier. Un outil spécifique a été conçu par la direction technique de VSL France pour plaquer les renforts sous les semelles des poutres au-dessus des voies dans les zones difficilement accessibles.

Cette méthodologie permettait de libérer les voies de circulation de la SNCF dans un délai court (cinq minutes) et d'améliorer l'ergonomie du poste de travail tout en assurant la sécurité du personnel.



2



3

La technique de soudage qui a été utilisée est le procédé n° 114, dit *Innershield*.

Ce procédé a été accepté sans hésitation par l'équipe de Setec TPI, car il est le mieux adapté aux soudures réalisées sur chantier, puisqu'il est le moins sensible au vent en raison de l'absence d'apport de gaz de protection. Ce chantier est une complète réussite pour VSL France qui a mis en place les deux tiers du renforcement en part propre, le dernier tiers étant réalisé par le sous-traitant ADS.

Les conditions de mise en œuvre de ces renforts ont été particulièrement délicates pour l'ensemble des compagnons, qui ont dû faire face en rive gauche et en travée centrale à un gabarit réduit à 1,5 mètre entre la sous-face du tablier et la surface de la plate-forme suspendue.

Cette contrainte a été fixée conjointement avec Voies navigables de France afin d'assurer un gabarit fluvial minimal sous la plate-forme suspendue.

Par ailleurs, en rive droite, la présence de deux voies routières très fréquentées (2 000 véhicules par heure de pointe), et le passage d'une voie ferroviaire de fret, ont rendu les opérations de soudage complexes dans leur mise en œuvre. Pour remédier à ces contraintes, un phasage adapté a été défini pour les voies routières, et une étroite collaboration avec la SNCF a permis de libérer des créneaux de travail suffisants pour permettre des cadences de soudage raisonnables.

En outre, une réparation complexe a également été réalisée par VSL France sur cet ouvrage. Il s'agit du remplacement des bielles d'appui du tablier au niveau des culées. Ces bielles très fortement corrodées ne remplissaient plus leur fonction par rapport à la dilatation du tablier, car la corrosion les avait littéralement encastrées sur leur socle. Chaque poutre du tablier a dû être vérinée une à une pour permettre la réfection des socles et de leurs ancrages dans les culées, et pour remplacer l'ensemble des bielles et de leurs axes. Ces opérations délicates ont eu lieu de nuit pour les 4 poutres situées sous le tramway, et de jour pour les autres (photo 5).

### UN DÉCAPAGE SOUS HAUTE PROTECTION

Le décapage de la protection anticorrosion d'un ouvrage d'art existant est toujours une opération délicate, mais quand l'ouvrage en question franchit un fleuve névralgique comme la Seine,



4



5

des voies routières, une voie ferroviaire et des parkings publics très fréquentés, l'opération est encore plus complexe. La protection est donc au centre des préoccupations de l'entreprise Maès en charge du décapage et de l'application de la nouvelle protection anticorrosion. Cette protection concerne l'environnement avec la Seine et ses berges, mais aussi les usagers présents sur et sous l'ouvrage, et enfin l'ensemble des compagnons travaillant sur le chantier. Cette protection a été accrue dès lors que fut avérée la présence de traces de plomb dans la peinture existante. La méthodologie à employer a été mise

**4- L'entretoise est renforcée avant la mise en peinture.**

**5- Le dispositif de vérinage du tablier sur les culées.**

**4- The cross tie is strengthened before painting.  
5- The deck jacking system on the abutments.**

au point en collaboration avec le coordonnateur de sécurité et de protection de la santé (Apave), l'Inspection du travail et la Caisse d'assurance-retraite et de la santé au travail (Carsat). La protection principale a consisté à envelopper le tablier d'une double épaisseur de bâche thermo-rétractable afin de créer un confinement étanche (photo 1).

Ce confinement principal a été subdivisé en confinements secondaires afin de limiter la co-activité entre les différentes équipes présentes sur le chantier. Les compagnons affectés aux tâches de décapage accèdent aux confinements secondaires par l'intermédiaire d'un sas d'entrée/sortie dans lequel se trouvent un vestiaire « sale », un local de douches et un vestiaire « propre ». L'eau des douches est récupérée pour être traitée par une société spécialisée.

L'ensemble des confinements secondaires ainsi que les sas d'entrée/sortie sont reliés à des groupes déprimogènes de débit 5 000 m<sup>3</sup>/heure, qui permettent de purifier l'air vicié et de réinjecter de l'air propre. Enfin les compagnons sont munis d'appareils respiratoires isolants qui leur garantissent un apport d'air sain en permanence.

L'autre aspect important de la protection de l'environnement est l'évacuation et le traitement des déchets engendrés par ce décapage. En effet, 600 000 kilos d'abrasifs sont actuellement estimés nécessaires pour venir à bout des 27 000 mètres carrés de peinture existante. Pour ce faire, un sas d'évacuation des déchets a été créé sur chaque rive de l'ouvrage, afin de permettre la mise en sacs étanches des abrasifs souillés. Les sacs sont ensuite transportés dans un centre de traitement agréé qui prend en charge ces déchets classés comme étant des DIS (déchets industriels spéciaux).

### ENTRE INSERTION URBAINE ET RESPECT DE L'EXISTANT

Du point de vue architectural, les travaux les plus conséquents ont concerné le remplacement de l'ensemble des corniches et du garde-corps de l'ouvrage. Celui d'origine souffrait de corrosion, quant aux corniches également fortement corrodées, elles avaient toutes été déposées depuis quelques années en raison du risque de chute sur les péniches et les barges qui empruntent la Seine.

Le cabinet Stoa Architecture a souhaité conserver la forme du garde-corps d'origine tout en lui donnant une touche de modernité. Ce principe a été



validé par l'architecte des Bâtiments de France en charge du dossier. L'identité du garde-corps initial s'affirmait par son galbe au niveau des montants et du remplissage, ainsi que par sa main courante très imposante et rassurante pour les piétons. Ces deux points ont donc servi de base pour la conception du nouveau garde-corps (photo 6). Les montants oxydés qui ont été retenus rappellent le galbe d'origine.

**6- Le prototype du nouveau garde-corps et de la corniche.**

**6- The prototype of the new guard rail and parapet.**

Les touches de modernité sont insufflées dans un premier temps, avec le choix d'un remplissage réalisé par une maille constituée de fils en acier inoxydable tressés entre eux comme un cordage.

La surface ouverte de cette maille de 65 % permet de garantir la même transparence que le garde-corps d'origine tout en assurant la sécurité des usagers. Dans un second temps, un système de sécurité antivol a été mis en place pour que les éléments du nouveau garde-corps ne soient pas démontables facilement.

La corniche retenue possède la même forme que celle d'origine, mais elle a été conçue pour limiter la formation de condensation à l'intérieur de celle-ci, en permettant une ventilation naturelle grâce à des espaces vides entre ses fixations.

Enfin, le choix de la couleur de l'ouvrage a été simplifié par l'existence d'une charte établie par la Ville de Rouen qui est le gestionnaire du pont Jeanne-d'Arc. Cette charte définit que l'ensemble des ponts métalliques pré-

sents en centre-ville doit être peint en vert pâle (Nuancier-Ral 6021). Les usagers pourront découvrir cette nouvelle couleur au printemps, date à laquelle les travaux de réfection et de renforcement seront terminés. □



© SETEC TPI

6

## INTERVENANTS DU PROJET

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Communauté de l'agglomération Rouen-Elbeuf-Austreberthe (Crea)

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Setec TPI/ Stoa Architecture

**ENTREPRISES :** Groupement Bouygues TP Régions-France - VSL France/ Maës

**CONTRÔLEUR TECHNIQUE ET CSPS [Coordination de sécurité et de protection de la santé, NDLR] :** Apave

**SOUS-TRAITANTS :**

- AC4S : études d'exécution
- Socotec : contrôle externe des études d'exécution
- ADS : mise en place des renforts métalliques des poutres
- DR Équipement : garde-corps et corniche
- SAIT : échafaudages suspendus
- Aximum : signalisation provisoire

## LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES

**COÛT DES TRAVAUX :** 6,2 millions d'euros TTC

**DURÉE DES TRAVAUX :** De février 2011 à fin juin 2012

**PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE :**

- 20 000 kg de renforts métalliques soudés
- 27 000 m<sup>2</sup> de protection anticorrosion
- 14 appareils d'appui métalliques remplacés
- 400 ml de garde-corps et corniches remplacés
- 1 000 m<sup>2</sup> d'étanchéité refaite
- 4 000 m<sup>2</sup> de plate-forme suspendue provisoire
- Mise en sécurité des accès aux piles

### ABSTRACT

#### DECK STRENGTHENING AND RENOVATION OF JEANNE-D'ARC BRIDGE IN ROUEN

ÉTIENNE DÉPALLE, SETEC TPI - DAMIEN COUSIN, BOUYGUES - ROMAIN CARREAU, BOUYGUES - NICOLAS GRAPIN, MAËS

**The Jeanne-d'Arc bridge, built in Rouen after the Second World War, links the two banks of the Seine River. The structure is undergoing complete renovation. The work, begun in February 2011, is designed to strengthen the structure's deck, which is showing signs of fatigue, and increase the capacity of the tramway line running over it. Work completion is scheduled for this summer. □**

#### RED ESCOTA: ADAPTACIÓN DE LOS TÚNELES DE LA AUTOPISTA A8 SEGÚN LAS NUEVAS NORMAS DE SEGURIDAD

ÉTIENNE DÉPALLE, SETEC TPI - DAMIEN COUSIN, BOUYGUES - ROMAIN CARREAU, BOUYGUES - NICOLAS GRAPIN, MAËS

**Construido en Rouen (76) después de la Segunda Guerra Mundial, el puente Jeanne-d'Arc comunica las dos orillas del Sena. La construcción se ha sometido a una reforma completa que comenzó en febrero de 2011 y tiene por objeto reforzar el tablero de la estructura, que muestra signos de fatiga, y aumentar la capacidad de la línea de tranvía que sostiene. El final de las obras está previsto para este verano. □**





**1- Galerie  
de deux  
passerelles  
longitudinales  
entièrement  
vitrée.**

**1- Fully glazed  
gallery with  
two longitudinal  
foot bridges.**

© DIDIER MOREL, FNTF



# TRADITION ET MODERNITÉ POUR LA MAISON DES TRAVAUX PUBLICS

AUTEUR : LAURENT MEYER, ARCHITECTE

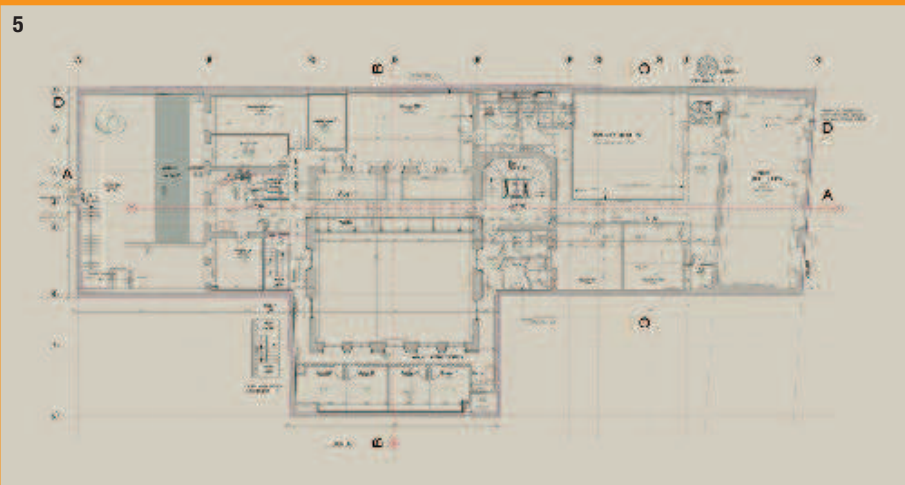
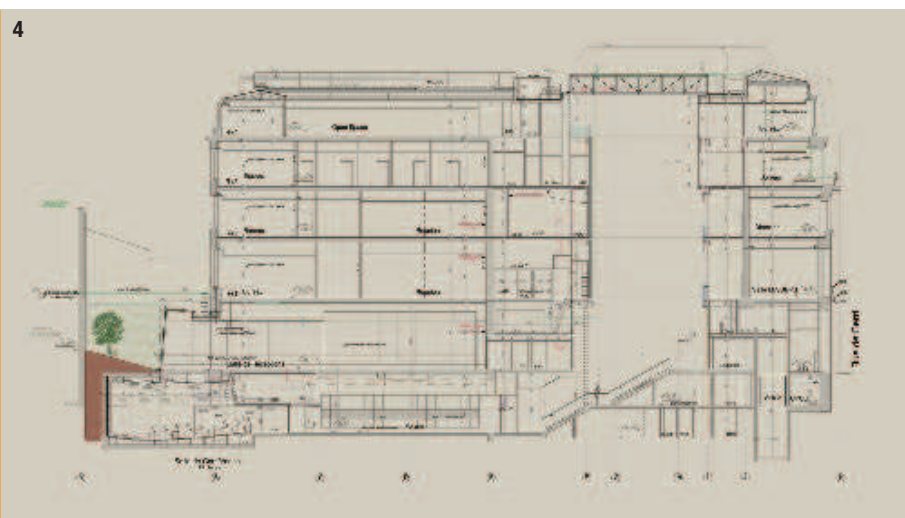
TOUT ÉQUIPEMENT PUBLIC DE QUALITÉ DOIT PROPOSER UNE ORGANISATION CLAIRE ET DES ESPACES FONCTIONNELS, LISIBLES ET CLAIRS. LA RESTRUCTURATION DU SIÈGE SOCIAL DE LA FÉDÉRATION NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS AU 3 RUE DE BERRI SE DEVAIT NON SEULEMENT D'OFFRIR DES NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS D'ACCUEIL, RÉCEPTION ET CONFÉRENCES À L'IMAGE DE LA FNTP, LE PROJET DEVAIT AUSSI ET SURTOUT PROPOSER UNE RÉORGANISATION COMPLÈTE EFFICACE DE L'ENSEMBLE DES ESPACES ET DE NOUVELLES DISTRIBUTIONS COHÉRENTES TANT VERTICALES QU'HORIZONTALES.



2- Passerelles reliant les deux ailes parallèles.  
3- Éléments métalliques et verriers dessinés avec Alto.

4- Plan d'ensemble du bâtiment.  
5- Plan-masse.

2- Foot bridges linking the two parallel wings.  
3- Metal and glass elements designed with Alto.  
4- General plan of the building.  
5- Layout plan.



Photos 2 & 3 © DIDIER MOREL, FNTP

Schémas © DR

## PASSERELLES DE LUMIÈRE ET NOUVEL AXE DE LECTURE

La lisibilité du site existant pénalisée par une grande profondeur de parcelle a été restituée par la création dans la cour historique d'une galerie et deux

passerelles longitudinales entièrement vitrées (photos 1 et 2).

Un ensemble transparent marque le nouvel axe clair reliant les bureaux du grand atrium (100 m<sup>2</sup>) créé côté rue de Berri, au nouveau jardin aménagé

en fond de parcelle, éclairant les nouvelles salles de réception (côté rue de Washington).

L'ensemble des éléments métalliques et verriers dessinés avec Alto sont traités en structure inox (photo 3). En

particulier, la structure tubulaire des 2 grandes poutres des passerelles de 14 m de long répond ainsi à la fois aux exigences de finesse esthétique face au mur rideau VEA et de stabilité au feu de la galerie. ▶





6



7



8

Photos 6, 7 & 8 © DIDIER MOREL, FNTP

Cet ouvrage technique issu de la collaboration entre architectes et ingénieurs est le symbole d'une démarche sans frontière entre l'art et la technique.

#### UNE ORGANISATION FONCTIONNELLE CLAIRE

L'ensemble des équipements d'accueil ERP sont implantés au niveau rez-de-chaussée : porche, salon, hall, atrium, salles de réception et d'exposition donnant sur le niveau jardin.

Un ensemble salle de conférence (170 places) et auditorium transparent (80 places) est créé au niveau bas Forum (figures 4 et 5).

6- La verrière de l'atrium du hall Berri.

7- Le porche réhabilité en zone salon.

8- Les façades-bureaux de l'atrium.

6- The glass roof of the atrium in the Berri lobby.

7- The porch renovated as a lounge area.

8- The office facades of the atrium.





9

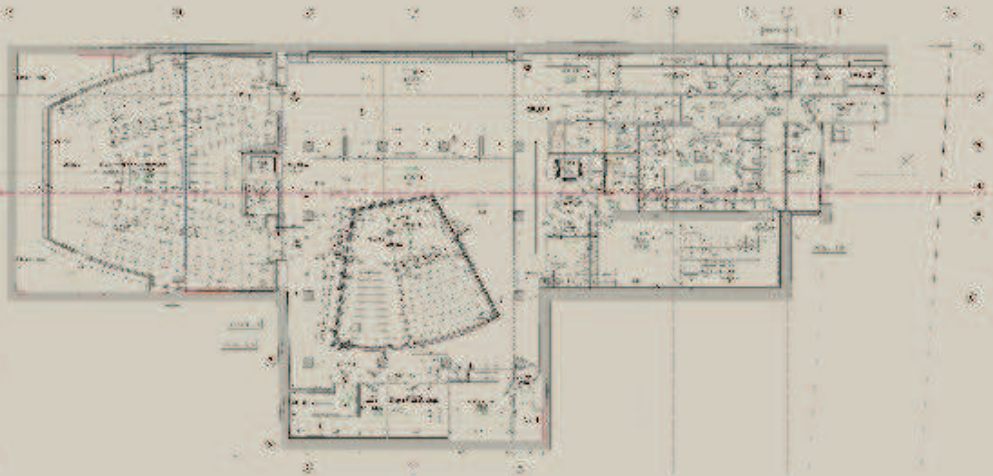


10

- 9- Le nouveau forum est en plafond tendu lumineux.
- 10- La reprise complète des colonnes sous la cour.
- 11- Création d'un niveau complet technique.
- 12- Salle de réception et jardin, côté rue Washington.
- 13- Des travaux de restructurations et reprise de façade côté Washington ont été réalisés pour créer le futur jardin et la nouvelle salle de conférence.

- 9- The new forum has a luminous stretch ceiling.
- 10- Complete underpinning of the columns under the courtyard.
- 11- Creation of a complete functional equipment level.
- 12- Reception room and garden, rue Washington (street) side.
- 13- Structural re-engineering and facade underpinning works on rue Washington side were carried out to create the future garden and the new conference room.

11



Photos 9, 10, 12 & 13 © DIDIER MOREL, FNTP / Schéma © DR

**UN FORUM DE LUMIÈRE, UN NOUVEAU POLE DE CONFÉRENCES - AUDITORIUM**

Implanté sous la cour centrale existante et le jardin côté Washington, le nouveau forum/pôle de conférences et auditorium a fait l'objet d'importants travaux en infrastructure et reprises en sous œuvre des fondations structures ou façades existantes (photo 9). Un grand

escalier monumental, véritable puis de lumière depuis le rez-de-chaussée, relie directement l'Atrium côté Berri aux espaces de réception du Forum, afin d'assurer une lisibilité claire des équipements recevant le public. L'ensemble du Forum, comme tout le site de la Maison des Travaux Publics, a été rendu complètement accessible aux handicapés. L'ensemble des sols des niveaux ERP

a été réalisé en grandes surfaces de Granito préconisé par A. Putman.

**UNE NOUVELLE ORGANISATION TECHNIQUE**

La restructuration architecturale de l'ensemble des équipements de réunion et réception a également été rendue possible par la réorganisation complète des locaux techniques incluant : ➤



12



13





14



15



16

14- L'auditorium transparent (80 places).  
15- La mise en œuvre des modules vitrés CF et des châssis Privalite (2,00 m x 3,00 m).  
16- La salle de conférence (180 places).

14- The transparent auditorium (80 seats).  
15- Installation of the fire-resistant glazed modules and Priva-Lite sashes (2.00 m x 3.00 m).  
16- The conference room (180 seats).

Photos 14, 15 & 16 © DIDIER MOREL, FNTP

→ La création d'un niveau complet sous le rez-de-chaussée côté Berri (figure 11).

→ Le regroupement de tous les équipements techniques d'étage dans une même zone compacte en cohérence verticale avec les plates-formes techniques externes implantées en toiture.

→ Le site est équipé d'un groupe électrogène et de locaux de réserves

et services en particulier restauration en liaison avec le centre de conférences.

#### LE NOUVEAU JARDIN DE LA SALLE DE RÉCEPTION

Des travaux de restructuration et reprises de façade côté Washington ont été réalisés pour créer le futur jardin et la nouvelle salle de conférence. □

### PRINCIPAUX ACTEURS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** ITP

**ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE :** EGIS Conseil

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Cap Architecture & Laurent Meyer Architectes

**DÉCORATEUR :** Andrée Putman

**BET :** ALTO / B2E / SYNCHRONÉ / GECIBA / Cabinet Lamoureux / Labeyrie

**ENTREPRISE :** Bouygues Rénovation Privée

**DÉLAIS :** 22 Mois

### ABSTRACT

#### TRADITION AND MODERNITY FOR THE FRENCH PUBLIC WORKS FEDERATION'S HEADQUARTERS

LAURENT MEYER, ARCHITECTE

**All high-quality public facilities must offer a clear organisation and easily understandable functional areas.** The project for reorganisation of the headquarters of the French Public Works Federation (FNTP) in Paris had to provide not only new reception and conference facilities reflecting the FNTP's image, but above all it also had to offer a complete and efficient reorganisation of all the office space and consistent new vertical and horizontal partitioning. □

#### TRADICIÓN Y MODERNIDAD PARA LA SEDE DE LA FEDERACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

LAURENT MEYER, ARCHITECTE

**Todos los equipamientos públicos de calidad deben proponer una organización y espacios funcionales legibles y claros.** La reestructuración de la sede social de la Federación Francesa de Obras Públicas (FNTP), situada en el nº 3 de la calle de Berri no sólo debía ofrecer nuevos equipos de acogida, recepción y conferencias al igual que la FNTP, sino que, sobre todo, el proyecto también debía proponer una reorganización completa y eficaz del conjunto de los espacios y nuevas distribuciones coherentes, tanto verticales como horizontales. □



# 16 bd MONTMARTRE : CONFORT D'AUJOURD'HUI DANS LE RESPECT DU PATRIMOINE

REPORTAGE DE MONA MOTTOT ET MARC MONTAGNON

À PARIS, 16 bd MONTMARTRE, DANS LE QUARTIER DES GRANDS BOULEVARDS, SPIE SCGPM ET PLUSIEURS DE SES FILIALES ENTREPRENNENT, POUR LE COMPTE DE GECINA, LA RÉHABILITATION INTÉGRALE D'UN IMMEUBLE HAUSSMANNIEN DU XVIII<sup>e</sup> SIÈCLE. LES CONDITIONS DE TRAVAIL SONT DIFFICILES DANS UN ENVIRONNEMENT URBAIN DENSE ET SENSIBLE, ET PAR LA COMPLEXITÉ DES TRAVAUX ENGAGÉS POUR METTRE AUX NORMES UN BÂTIMENT EN PIERRE DE TAILLE, AYANT SUBI, EN DÉPIT DE SES QUALITÉS CONSTRUCTIVES D'ORIGINE, LES « OUTRAGES » DU TEMPS ET LES « AMÉNAGEMENTS » ERRATIQUES DE SES OCCUPANTS SUCCESSIFS.



© STÉPHANE LOY

L'opération de rénovation lourde est d'autant plus compliquée qu'elle doit transformer ce qui n'était qu'un classique immeuble d'habitation en un bâtiment à destinations multiples qui abritera, à l'issue des travaux, des commerces, des bureaux, des logements et des espaces de réception (classés ERP).

**1- L'immeuble du 16 bd Montmartre, anciennement hôtel Mercy-Argenteau.**

**1- The building at 16 bd Montmartre, formerly known as Hôtel Mercy-Argenteau.**

À ceci s'ajoute le fait que Gecina, le promoteur du projet, souhaite concilier conservation du patrimoine d'origine et projet immobilier d'exception aux normes de confort les plus modernes, ce qui implique la création d'aménagements et d'équipements qui n'existaient évidemment pas à l'époque de la construction du bâtiment.

**DE L'HÔTEL MERCY-ARGENTEAU À LA SALLE DES FÊTES CHARLES GARNIER**

Connu sous le nom d'hôtel Mercy-Argenteau, l'immeuble du 16 bd Montmartre est l'un des tout premiers à avoir été construit à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle sur ce qui n'était pas encore à l'époque le boulevard Montmartre. ▶



C'est en 1778 qu'un banquier a confié sa construction à l'architecte Firmin Perlin pour le vendre rapidement au comte de Mercy-Argenteau, ambassadeur d'Autriche à Paris.

Au fil des années, le bâtiment subira plusieurs transformations. Il sera d'abord amputé de ses jardins et de ses communs à la Révolution, avant d'être surélevé de trois étages entre 1827 et 1829 et augmenté de deux ailes sur une cour intérieure pour devenir un immeuble de rapport. Par la suite, il hébergera au Second Empire des cercles mondains en vogue, et finira par être agrandi d'une vaste salle des fêtes que l'on attribue à Charles Garnier, inscrite à l'inventaire supplémentaire des Monuments Historiques, tout comme l'un de ses salons, orné de colonnes corinthiennes.

### UN PROJET COMPLEXE DANS SA CONCEPTION

Le projet voulu par Gecina est ambitieux car il vise à restructurer les 6 000 m<sup>2</sup> SHON sur 6 niveaux de l'immeuble existant pour aboutir à un ensemble immobilier à usage mixte. Il en est donc de même des travaux confiés à Spie SCGPM et à ses filiales spécialisées, puisque la réhabilitation lourde dont l'immeuble fait l'objet concerne aussi bien le réaménagement complet et l'extension des sous-sols en sous-œuvre que la configuration de nouveaux espaces, la création de circulations verticales, la restauration ou la rénovation des éléments constructifs d'origine, très souvent en bois, tels les planchers et la charpente de couverture ou en métal en ce qui concerne la salle des fêtes et les verrières.

À ceci s'ajoute l'intégration la plus discrète possible dans le bâtiment des équipements de confort les plus modernes tels que la climatisation et le chauffage, des ascenseurs, une isolation acoustique et thermique performantes, des réseaux électriques aux normes les plus exigeantes...

Tout ceci dans le strict respect de l'intégrité architecturale de l'immeuble, c'est-à-dire sous le contrôle et avec l'approbation permanente de l'architecte du Patrimoine et de la DRAC (Direction Régionale des Affaires Culturelles – Architecture et Patrimoine).

### L'EXTENSION EN SOUS-ŒUVRE DU SOUS-SOL

Lors de sa construction, il semble que l'ensemble du volume abritant les caves ait été creusé dans sa totalité ce qui a permis aux constructeurs de l'époque



de réaliser des fondations solides qui n'ont pas nécessité de reprise générale lors de la réhabilitation. Les caves voûtées en pierre ont pu ainsi être conservées et rénovées pour devenir des espaces privés ou des réserves. En revanche, il a été nécessaire de créer 300 m<sup>2</sup> d'espace supplémentaire, en sous-sol, sous l'une des deux ailes et de la cour pour loger les installations techniques nouvelles : électricité, réseau de chaleur urbaine de la CPCU (Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain), réseau de froid urbain de Climespace.

Ces travaux ont dû être effectués après reprise en sous-œuvre des superstructures concernées du bâtiment dont certains murs porteurs ont été « suspendus » sur des tabourets, de façon à réaliser les poutres de structure et la dalle de couverture des futurs locaux techniques.

À leur achèvement, les terrassements, représentant un volume d'environ 1 200 m<sup>3</sup> de matériaux, ont été assurés mécaniquement par des engins compacts (mini-pelles et mini-chargeurs) déchargeant les déblais sur le tapis d'un convoyeur assurant leur évacua-

2- Les deux ailes sur cour ajoutées entre 1827 et 1829.

3- Le tapis d'évacuation sur le boulevard des déblais de terrassement et des matériaux divers.

4- Le cheminement protégé des piétons sous le portico des installations de chantier.

2- The two courtyard wings added between 1827 and 1829.

3- The conveyor to remove to the boulevard the earthworks debris and miscellaneous materials.

4- The protected path for pedestrians under the portico of the site facilities.

tion directement sur le boulevard, dans une emprise sécurisée du chantier, sans que jamais ne soit interrompue ni la circulation des véhicules, ni le cheminement des piétons.

Par ailleurs, pendant la durée de la totalité de ces travaux de gros-œuvre, le bâtiment a fait l'objet d'un suivi précis de nivellement afin de prévenir toute variation importante de son altimétrie. Cette reprise en sous-œuvre a porté la superficie utile du sous-sol à 1 500 m<sup>2</sup>.

### LES PLANCHERS HISTORIQUES EN CHÊNE

La qualité et la structure originale des planchers en bois de chêne régnant sur la quasi-totalité du bâtiment a conduit la DRAC à demander leur conservation et leur restauration dans les règles de l'art. Cette contrainte technique n'a pu être respectée que par la mise en place d'un passage en flux tendu au fur et à mesure de l'avancement des travaux de curage ou de décapage. En effet, la nature des travaux à effectuer était directement liée à l'état de conservation des planchers et nécessitait, quasiment au coup par coup, un diagnostic spécifique.

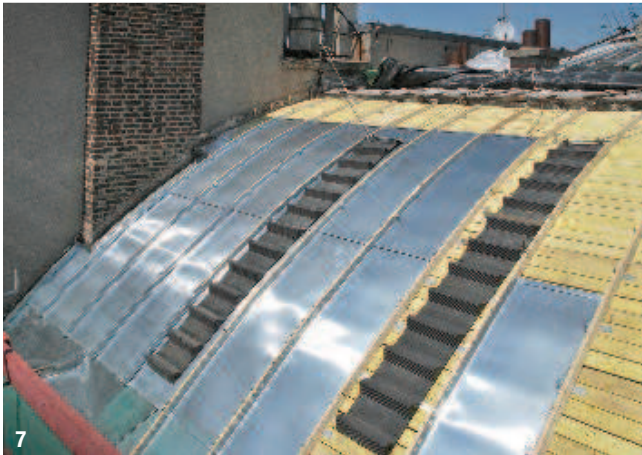




5



6



7



8

© STÉPHANE LEVY

Ainsi, le chantier a réuni pratiquement toutes les techniques de renfort habituellement en usage en réhabilitation :

- Planchers bois conservés avec assemblages restaurés ;
- Connexion de poutres en bois existantes à une chape béton (procédé Sylvabat) ;
- Connexion de poutres en bois lamellé collé neuves à une chape béton (procédé Sylvabat) ;
- Renforts des planchers en sous-faces par des poutres métalliques dans les cas de forte dégradation ;
- Ponctuellement, renforts par résine et fibre de verre (procédé Rénofors) ou connexion métal/ béton...

Par ailleurs, dans les espaces nouvellement créés, en particulier en sous-sol, au niveau des locaux techniques où les contraintes mécaniques et les contraintes acoustiques sont importantes, l'entreprise a réalisé des planchers en béton armé largement dimensionnés.

Les murs et cloisons en pans de bois ont fait eux aussi l'objet d'un traitement complet : ils ont été vidés de leurs remplissages et, selon leur état, remplacés pour 20 % d'entre eux ou renforcés par

moisage pour 60 à 70 %, soit à l'aide de plats métalliques, soit par injection ou application de résine.

Tous ces travaux ont été assurés par des compagnons hautement spécialisés : la rénovation de la charpente de couverture, des planchers et murs en pans de bois a mobilisé une équipe de 14 charpentiers pendant 18 mois.

#### DES TOITURES « À L'IMPÉRIALE »

La rénovation complète des toitures à l'impériale qui forment la couverture et le couronnement convexe caractéristique des bâtiments de cette époque concernait les deux derniers étages de l'immeuble, tous à usage résidentiel.

Comme pour les travaux liés aux planchers et à la charpente, elle a mobilisé une équipe spécialisée composée de charpentiers et couvreurs qui a œuvré, pendant près d'un an.

Partout où la charpente pouvait être conservée et, dans la mesure où les éléments à remplacer n'excédaient pas 30 % de la surface, la rénovation a été réalisée à l'identique, en chêne. Exceptionnellement, dans les zones où elle était extrêmement dégradée, la reconstruction a été effectuée en sapin.

**5- Structure d'étaie provisoire lors de la phase de renforcement des planchers.**

**6- Travaux de décapage et de renforcement des planchers.**

**7 & 8- Rénovation des toitures à l'impériale et de leurs petites verrières.**

**5- Temporary propping structure during the floor strengthening phase.**

**6- Floor stripping and strengthening works.**

**7 & 8- Renovation of the imperial-era roofs and their small skylights.**

Les équipes de couvreurs et de charpentier ont également assuré la rénovation de l'ensemble des petites verrières anciennes incluses dans les toits ainsi que les verrières d'escalier.

#### DES FAÇADES DIFFÉRENCIÉES, CÔTÉ PIERRE ET CÔTÉ COUR

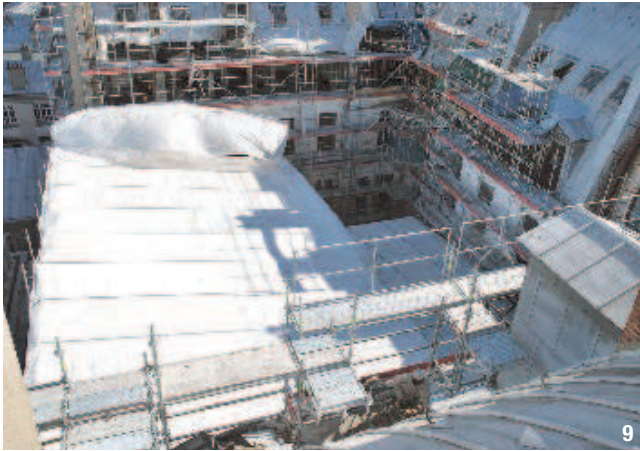
Le bâtiment comportait deux types de façades : côté boulevard, une façade en pierre de taille, côté cour, des façades en plâtre et pans de bois.

La façade en pierre de taille était très dégradée car recouverte d'un enduit emprisonnant l'eau à l'interface de la pierre. De ce fait, elle a dû être entièrement décapée par brossage puis ponçage des parties planes à la surfaceuse à disque diamant et ponçage fin des joints, refends et moulures.

Dans les zones trop abimées, SPR Rénovation a procédé à des inclusions de pierre massive et au remplacement des modénatures.

Au niveau du rez-de-chaussée, la façade a été recréée pour restituer le dessin global harmonieux, dans l'esprit des XVIII<sup>e</sup>/XIX<sup>e</sup> d'origine, qui s'est avéré conciliable avec les impératifs des nouveaux commerces. ▶





Côté cour, les rénovations ont été compliquées par la présence de mэрule, un champignon lignivore bien installé, qui n'a pu être éradiqué qu'à l'issue de quatre mois de travail. Les bois trop dégradés ont été remplacés tandis que les autres ont été renforcés par des inclusions de résine ou des inserts métalliques.

#### SALLE DES FÊTES : VERRIÈRE D'AUJOURD'HUI SUR STRUCTURE D'HIER

La belle et imposante verrière éclairant la salle des fêtes attribuée à Charles Garnier n'était constituée, en dépit de ses dimensions imposantes, que d'une structure légère posée sur une charpente métallique de type Eiffel (poteaux + charpente).

Or, la vocation nouvelle d'accueil du public dans cet espace nécessitait qu'il soit isolé des façades environnantes par une verrière pare-flamme trois fois plus lourde et dont la dilatation devait être possible sous l'action de la chaleur.

Spie SCGPM et la société Verre et Métal ont donc été amenées à mettre en œuvre une procédure hautement technique pour adapter la structure existante à la surcharge de la nouvelle verrière : une poutre en béton reliant entre eux les poteaux métalliques de la structure du XIX<sup>e</sup>, la pose du nouvel équipement a nécessité d'être menée sans porter atteinte au décor précieux de staff situé juste en dessous. En effet, les décors de cette salle des fêtes seront entièrement restaurés à l'identique tant en ce qui concerne les moulures et les bas-reliefs en staff que les frises décoratives, les faux marbres et les feuilles d'or. De plus, les éléments manquants du plafond vitré seront reconstitués par un artisan spécialisé tandis qu'un parquet massif en chêne sera posé dans le respect du calepinage d'origine.

#### SALONS DE RÉCEPTION : JUSQU'À 11 COUCHES DE REPEINTS

Certains des salons datant du XVIII<sup>e</sup> avaient été profondément « remaniés » au XIX<sup>e</sup>, à tel point que les restaurateurs ont mis en évidence, lors de leur analyse stratigraphique, jusqu'à 11 couches de repeints par endroit.

Face à cette situation, un parti pris de restauration original a dû être pris avec la DRAC et l'architecte du Patrimoine selon les styles et l'état de conservation des décors : l'état initial du XVIII<sup>e</sup> est restitué dans certains salons, la restau-

ration privilégie l'esprit du XIX<sup>e</sup> dans un autre... En définitive, des échantillons de couleur sont proposés au cas par cas par l'entreprise qui procède également à des essais successifs.

#### AMÉNAGEMENTS TECHNIQUES : INCORPORATION DÉLICATE

Ainsi que nous l'indiquions en préambule, les caractéristiques de cet immeuble historique ne devaient pas constituer un obstacle à l'intégration dans ses murs des éléments de confort inclus dans une réalisation immobilière qui se veut de qualité.

Les étages de bureaux sont donc isolés des étages d'habitation par des plafonds pare-feu et acoustiques tandis que les espaces de réception du 1<sup>er</sup> étage abritent la climatisation par soufflage au sol et reprise par des grilles dans les plafonds. Par ailleurs, l'ensemble des réseaux de courants forts et faibles est intégré astucieusement au décor.

Il faut noter à ce sujet que la cohabitation dans le même bâtiment d'espaces régis par des réglementations différentes (bureaux, logements, ERP) a constitué un paramètre lourd à gérer pour la conduite du chantier.



### LE « 16 bd MONTMARTRE » MILLÉSIME 2012

Les 6 000 m<sup>2</sup> SHON sur 6 niveaux de l'immeuble haussmannien sont entièrement restructurés pour en faire un ensemble immobilier caractérisé par une destination mixte.

C'est ainsi que le nouveau bâtiment, dont la façade en pierre de taille et la toiture à l'impériale sont intégralement conservées et rénovées abritera :

- Au rez-de-chaussée, des locaux commerciaux sur les 40 m de longueur de la façade ;
- Au 1<sup>er</sup> étage, des espaces de réception, classés ERP comprenant notamment la salle des fêtes historique due à Charles Garnier et 7 salons ;
- En R+2 et R+3 des bureaux ;
- En R+2, R+3, R+4, R+5 et R+6, 22 logements dont 6 logements sociaux, du studio au duplex ;
- Des caves restaurées et des locaux techniques en sous-sol, dans un nouvel espace aménagé spécialement à cet effet.

9- Les installations pour la rénovation des façades sur cour.

10- La salle des fêtes avant les travaux.

11- L'hôtel Mercy-Argenteau du 16 bd Montmartre dans son état initial.

9- The installations for renovation of the courtyard facades.

10- The festival hall before the works.

11- Hôtel Mercy-Argenteau at 16 bd Montmartre in its original state.





© STÉPHANE LEVY

12

Dans de nombreux cas, il a fallu gérer « l'exception patrimoniale » avec les autorités compétentes, dont les exigences étaient quelquefois inconciliables.

Ainsi par exemple, face à l'impossibilité d'inclure une colonne sèche dans un salon protégé, il a fallu, avec une autorisation spéciale, la remplacer par plusieurs extincteurs dissimulés dans des placards inclus dans la boiserie.

#### DISCRÉTION ET SÉCURITÉ PLANIFIÉES

Ce chantier parisien est situé au 16 du boulevard Montmartre, entre deux restaurants réputés – l'Indiana et le Hard Rock Café – et à proximité immédiate du Musée Grévin.

Il s'agit d'un quartier très animé, fréquenté de jour comme de nuit par des touristes, des noctambules et... des Parisiens.

Par ailleurs, l'immeuble ne dispose que d'un accès unique sur le boulevard.

Il a donc fallu installer la base de chantier sur un portique métallique enjambant le trottoir et prenant appui sur une voie de bus. Cette structure abritant les

**12- Nouvelle verrière.**

**13- L'emprise du chantier et les échafaudages au-dessus de la voie de bus.**

**12- New glass roof.**

**13- The site area and scaffolding above the bus lane.**

bungalows était également utilisée pour les approvisionnements des charges lourdes et l'évacuation des matériaux divers.

La présence de la voie de bus permettait également le stationnement des camions de livraison et d'évacuation, dont le trafic était planifié avec précision par un logiciel de livraison développé en 2008 à l'initiative de Spie batignolles et utilisé par l'ensemble des fournisseurs du chantier.



13

Toute file d'attente et toute gêne étaient ainsi évitées dans un quartier où la circulation est souvent très dense.

Les travaux ont débuté en octobre 2009. La réception est programmée pour juin 2012. □

## 16 bd MONTMARTRE : LES ACTEURS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Gecina

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** DTACC – Carvunis-Cholet (Joachim Ganuचाud, architecte du Patrimoine, Agence DTACC)

**CONSERVATEUR RÉGIONAL DES MONUMENTS HISTORIQUES :** Serge Pitiot

**BET STRUCTURE-FLUIDE :** Setec

**ENTREPRISE GÉNÉRALE MANDATAIRE :** Spie SCGPM, groupe Spie batignolles

**AUTRES FILIALES DE SPIE BATIGNOLLES :**

- SPR Rénovation, façades et sols pierre
- Sedib, menuiserie intérieure
- Trouvé-Leclair, peinture neuve et restauration (en liaison avec des spécialistes agréés par la DRAC Île-de-France)
- Verre et Métal, verrières
- Spie batignolles énergie, électricité, plomberie et CVC

**LOTS TECHNIQUES SPÉCIFIQUES :**

- Caillaud Île-de-France, charpente et ossature bois
- Face Centre Loire, couverture

**BE STRUCTURE BÉTON ARMÉ :** Ingerco

#### ABSTRACT

### 16 bd MONTMARTRE: MODERN COMFORT RESPECTING THE CULTURAL HERITAGE

MONA MOTTOT & MARC MONTAGNON

**At 16 bd Montmartre, Paris, in the "Grands Boulevards" district, Spie SCGPM and several of its subsidiaries are performing, for Gecina, the complete renovation of a Haussmann style building from the 18th century. The work conditions are difficult both because the work is carried out in the midst of a dense and sensitive urban environment and because complex work is needed to bring into line with modern standards a cut stone building that, despite its original construction qualities, has suffered from the ravages of time and the erratic "improvement works" of its successive occupants. □**

### NÚMERO 16 DEL BULEVAR MONTMARTRE: COMODIDAD DE HOY RESPETANDO EL PATRIMONIO

MONA MOTTOT & MARC MONTAGNON

**En París, en el número 16 del bulevar Montmartre, en el barrio de los Grandes Bulevares, Spie SCGPM y varias de sus filiales han iniciado, por cuenta de Gecina, la rehabilitación completa de un edificio haussmaniano del siglo XVIII, en condiciones muy difíciles tanto por la presencia inmediata de un entorno urbano denso y sensible como por la complejidad de las obras iniciadas para adaptar a las normas un edificio de piedra tallada que, a pesar de sus calidades constructivas originales, ha sufrido los "estragos" del paso del tiempo y los "acondicionamientos" erráticos de sus sucesivos ocupantes. □**