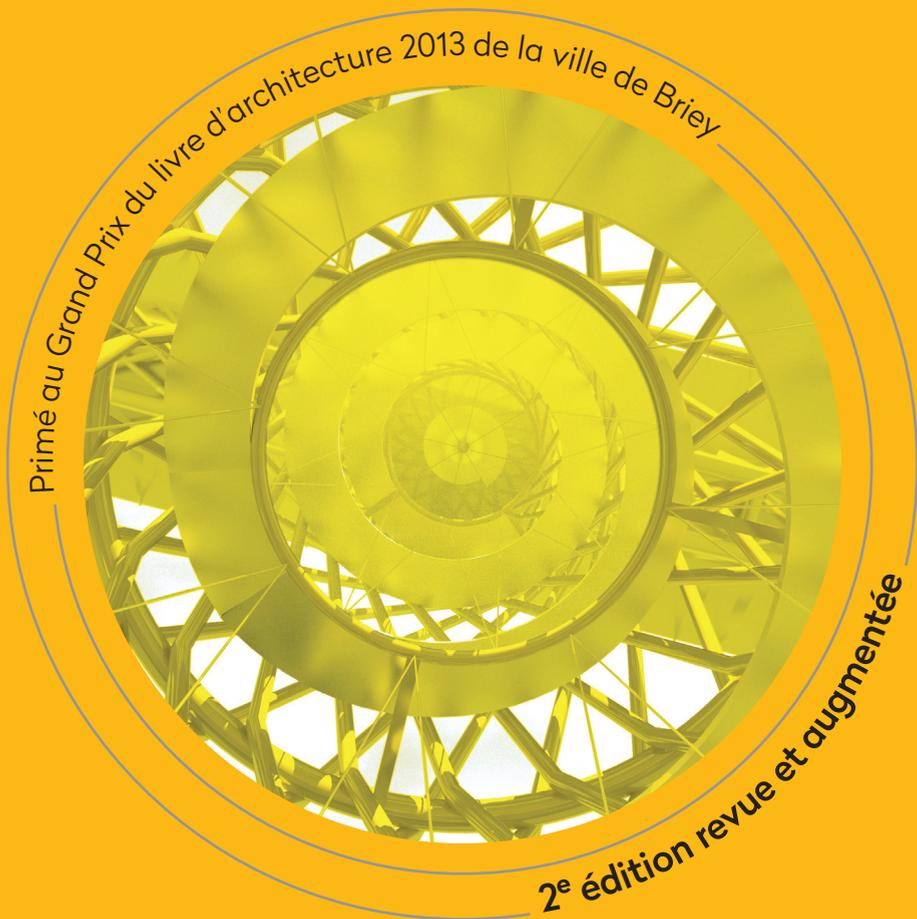


Grégoire Bignier

# Architecture & écologie

COMMENT PARTAGER LE MONDE HABITÉ ?



EYROLLES

Grégoire Bignier

# Architecture & écologie

**COMMENT PARTAGER LE MONDE HABITÉ ?**

2<sup>e</sup> édition revue et augmentée

*Primé au Grand Prix du livre d'architecture 2013 de la ville de Brie*

La crise écologique à laquelle nous sommes désormais sensibilisés — et contre laquelle la lutte s'organise progressivement à différents échelons de la société et du pouvoir — remet à l'ordre du jour la grande question de l'harmonie entre l'homme et la nature.

Positions théoriques des uns ou action immédiate des autres convergent vers un questionnement commun auquel les architectes sont eux aussi appelés à répondre: dans quels champs évolue la pensée écologique? Sur quelles valeurs repose la conception environnementale? L'approche écologique en crée-t-elle de nouvelles? Quel regard l'architecte peut-il porter sur la biodiversité?

En vue d'y répondre, ce petit livre contient différents outils tels que *l'analyse du cycle de vie d'un bâtiment*, la redéfinition — fondée sur la notion d'échanges — des *liens unissant architecture et aménagement du territoire*, ou encore le *comportement biodynamique d'un territoire urbain*. En s'appuyant sur l'écologie au sens scientifique du terme, l'auteur propose, comme on le verra, un paramètre nouveau pour la conception architecturale et urbaine.

Théorique, la première partie repose sur le cours d'écologie de l'auteur à l'École nationale supérieure d'architecture de Versailles tandis que la seconde partie décrit trois projets d'ouvrages d'art créés par B+M *Architecture*, agence dont l'auteur est l'associé fondateur. Conçus à des échelles très différentes, ces projets sont les produits directs de l'enseignement de la première partie.

**Grégoire Bignier** est architecte, métier qu'il exerce en France comme à l'étranger, notamment en Inde et en Extrême-Orient. Titulaire d'un mastère en ingénierie de l'École nationale des ponts et chaussées, il enseigne par ailleurs l'écologie appliquée à l'architecture à l'École nationale supérieure d'architecture de Versailles (Ensa-V) ainsi qu'à l'Essec, dans le cadre du mastère spécialisé Management urbain et immobilier.

Illustration de couverture: projet de pont sur la Liffey River (Irlande), détail © B+M *Architecture*

Code éditeur : G14279  
ISBN : 978-2-212-14279-2

[www.editions-eyrolles.com](http://www.editions-eyrolles.com)

Couverture: Christophe Picaud

Architecture & écologie

# Architecture & écologie

ÉDITIONS EYROLLES  
61, bd Saint-Germain  
75240 Paris Cedex 05  
[www.editions-eyrolles.com](http://www.editions-eyrolles.com)

Chez le même éditeur, en coédition avec Construire'Acier dans la collection « Les essentiels acier »  
Marc Landowski & Bertrand Lemoine, *Concevoir et construire en acier*, 112 pages (en couleurs), 2011  
Collectif Construire'Acier, *Lexique de la construction métallique*, 272 pages, 2012  
et des centaines de livres d'architecture, de construction et de génie civil dans le catalogue en ligne  
[www.editions-eyrolles.com](http://www.editions-eyrolles.com)

Conception graphique : Page B / Alain Bonaventure.

Aux termes du Code de la propriété intellectuelle, toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. L'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie doit être obtenue auprès du Centre Français d'exploitation du droit de Copie (CFC) – 20, rue des Grands-Augustins – 75006 PARIS

© Groupe Eyrolles, 2015  
ISBN 978-2-212-14279-2

# Architecture & écologie

Comment partager  
le monde habité ?  
2<sup>e</sup> édition, 2015

Grégoire Bignier

**EYROLLES**

The logo for EYROLLES features the brand name in a bold, sans-serif font. Below the text is a horizontal line with a small, solid black circle centered underneath it.



À Armelle et à Aurèle

## Avertissement

*Cet ouvrage se présente en deux parties :*

- une première partie théorique, essentiellement bâtie à partir du cours d'écologie de l'auteur à l'École nationale supérieure d'architecture de Paris-Versailles, objet du livre 1 ;*
  - une deuxième partie constituée par la présentation de projets d'ouvrages d'art créés par l'agence B+M Architecture, agence dont l'auteur est un des associés.*
- Ces projets, conçus à des échelles très différentes, sont les produits directs de l'enseignement de la première partie.*

*L'objectif de l'auteur est de lier théorie et pratiques, questions et réponses soulevées par la prise en compte par l'architecte des exigences écologiques. Il aimerait contribuer à libérer les énergies créatrices provoquées par la juxtaposition intime de ces deux disciplines.*

*Le lecteur jugera si cet objectif théorique est atteint et si les projets qui sont issus de cette approche contribuent à créer un nouveau langage architectural, que notre millénaire attend.*



# Sommaire

<b>Livre 1</b>	9
Préface de Marc Bénard	10
Avant-propos	14
Introduction	18
Éthiques	22
Valeurs	34
Cycles	44
Flux	56
Énergies	70
Biodynamisme	86
Métabolisme	100
Matrices	114
Gouvernance	128
Prospective	146
Conclusion	158
Bibliographie	162
Remerciements	169
<b>Livre 2</b>	171
Préambule	173
Projets de ponts et passerelles : Gruissan, Maisons-Laffitte, canal du Lamentin (Martinique), Cherbourg, Le Havre	174
<i>Infrastructures de la matrice</i>	
Projet du viaduc aérien de la ligne B du métro de Rennes	186
<i>Low Global Cost Bridge</i>	
Projet de pont sur la Liffey River (Irlande)	198
<i>Partager le monde</i>	





# Éthiques

« *L'homme passe l'homme.* »

Pascal<sup>1</sup>

Dans l'Europe du XII<sup>e</sup> siècle, le succès de la règle monastique de saint Benoît est tel que le besoin en infrastructures capables de recevoir de plus en plus de moines et de fidèles a amené la mutation de l'architecture romane, d'une trop faible capacité d'accueil, en une architecture gothique capable de recevoir des milliers de pèlerins. C'est dire qu'une pensée et un mode de vie afférent sont à l'origine de la mutation d'une architecture.

De la même manière, les impératifs écologiques du XXI<sup>e</sup> siècle conduiront peut-être à la transformation du modèle industriel générateur d'une croissance de l'entropie de la biosphère en un modèle qui s'invente aujourd'hui. C'est ce changement de pensée, dont nous voulons montrer qu'il pourrait être à l'origine d'un changement d'architecture, sans doute radical, qui est décrit ici.

Il est utile de s'interroger, à propos du rôle de ce changement de regard, sur la constitution d'une nouvelle approche conceptuelle. Où chercher le nouveau paradigme qui présidera à

la construction d'un nouveau type d'organisation? Pouvons-nous tirer des leçons du passé? Nous inspirer des exemples offerts par la nature? Comment faire d'un bâtiment une partie d'un tout? Comment parvenir à concevoir un élément d'infrastructure « immanent », en interconnexion avec son environnement?

Les projets émergeant de ce ou ces nouveaux modèles dépendent évidemment de la pensée de l'architecte, et on s'aperçoit maintenant, avec les premières leçons de la mondialisation, que cette pensée est largement tributaire du cadre culturel dans lequel elle évolue et que différents modèles coexistent. Pour ne donner qu'un exemple de cette géolocalisation des cultures qui évoluent dans un cadre éthique donné, là encore, les travaux de Philippe Descola nous sont fort utiles. La classification qu'il a proposée, sur la base des liens entre monde animal et monde humain (voir, pour plus de détails, le chapitre « Biodynamisme »), permet de comprendre intuitivement que, si les problèmes écologiques peuvent être interconnectés au niveau de la planète, les approches architecturales visant à leur apporter une réponse sont largement différenciées. Et la différence

1 - Blaise Pascal, *Pensées*, liasse VII, « Contrariétés », 1670.

entre ces approches vient elle-même davantage de la variété de leurs cadres éthiques que d'éventuelles différences d'emploi de solutions architecturales ou techniques.

Le domaine de l'écologie étant très vaste, il n'est donc pas anormal que les nombreux champs disciplinaires s'orientent, de par la nature même du cadre de leur pensée, vers des approches très différentes. Ces grandes orientations révèlent un fond « idéologique » sous-jacent et des méthodes qui leur sont propres, reposant sur des conceptions différentes de l'écosphère. Il nous semble que les difficultés actuelles soulevées par la donne écologique viennent en grande partie de ce que l'on passe constamment d'un système éthique à l'autre. Par exemple, on pose souvent la question de la sécurité liée à l'utilisation de l'énergie nucléaire ; or la question est posée dans le champ scientifique (statistiques des accidents, règles de causalité accidentelle...), mais la réponse est souvent située dans le champ économique (rentabilité de cette énergie, lourdeur des investissements consentis, etc.). Dans ces conditions, le dialogue n'est pas possible. C'est pourquoi un effort de clarification entre ces systèmes nous semble un préalable à toute tentative de solution.

Nous avons identifié trois champs éthiques différents qui encadrent généralement les formes de pensée qui s'y rattachent. Ils sont logiquement fondés sur les piliers des disciplines utilisées pour les définir. Soit :

- un champ scientifique qui pense principalement la biosphère et les solutions à son évolution en interface avec le développement humain selon une approche systémique ;
- un champ économique qui considère la biosphère en termes d'échanges selon des organisations descriptibles et quantifiables ;
- un champ philosophique et théologique qui questionne en permanence la place de l'homme au sein d'un système, à la fois tangible et spirituel.

Analysons successivement ces trois champs.

## Les champs scientifiques

Le succès du livre *Effondrement* de Jared Diamond<sup>2</sup> est symptomatique de l'intérêt porté aux leçons du passé. S'intéresser à l'histoire permet de tirer profit des échecs et des réussites de ceux qui nous ont précédés. Alors qu'aujourd'hui, on utilise souvent des technologies dont on ne maîtrise pas encore les conséquences, le recours au passé permet un retour d'expérience, une limitation des risques et la construction d'hypothèses plus fiables.

Notre regard se porte ainsi naturellement vers la nature, source inépuisable d'exemples. Elle offre aux hommes des sources d'inspiration précieuses tant au niveau de la forme (figures géométriques régulières), de la structure, des matériaux (résistance d'un brin d'herbe ou des toiles d'araignée, etc.) que des comportements.

Ainsi, l'intérêt porté à la Nature permet de tirer des leçons des stratégies durables qu'elle a mises en place. Elle est à même de nous fournir des exemples pour repenser nos sociétés contemporaines. La Nature élabore des micro-solutions riches d'enseignements. Dans son livre *La Quatrième Feuille*, Philippe Jamet<sup>3</sup> décrit des herbacées de la savane qui ont répondu à la pauvreté du milieu en se recyclant elles-mêmes. La graminée *Hyparrhenia diplandra* organise le recyclage de ses racines mortes en minéralisant ses propres nutriments (azote, carbone). Ainsi pourrait se penser le cycle de vie de l'anthropocène.

On peut également s'inspirer de la Nature à une échelle plus vaste : Pascal Gontier met en

2 - Jared Diamond, *Effondrement. Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*, Gallimard, 2006.

3 - Philippe Jamet, *La Quatrième Feuille. Trois études naturelles sur le développement*, Presses de l'École des mines, 2004.

avant la notion de symbiose pour définir un nouveau type de ville. Les bâtiments qui composent une « symbio-cité » ne sont pas conçus comme des bâtiments passifs, autonomes, véritables « bouteilles Thermos » ; ce sont les éléments constitutifs d'un écosystème urbain, échangeant entre eux ressources et déchets. Pascal Gontier<sup>4</sup> définit d'ailleurs le cadre de cette approche mimétique : « L'écologie industrielle ne vise pas nécessairement à imiter littéralement le fonctionnement des écosystèmes naturels, avec leurs producteurs (les plantes), leurs consommateurs (les animaux) et leurs décomposeurs (les bactéries et micro-organismes), mais à s'en inspirer afin de minimiser les ressources et à valoriser les déchets dans un dispositif de flux circulaire. »

Cependant, la mise en réseau des éléments qui constituent nos sociétés ne doit pas se limiter aux constructions humaines. Comme nous l'avons vu précédemment, nous faisons partie de la Nature et tout objet que nous créons dans le monde devrait être pensé en continuité, en connexion, avec son environnement.

Dans sa trilogie intitulée *Sphères*, Peter Sloterdijk<sup>5</sup> résume clairement les idées que l'on remet aujourd'hui en cause. Cet ouvrage analyse les conditions grâce auxquelles l'Homme peut rendre son monde habitable, il dresse une morphologie générale de l'espèce humaine. Ainsi, pour rendre intelligible le concept de société humaine, Sloterdijk emploie l'image de l'écume ; cette écume est composée d'une multitude de sphères (ou foyers). Une sphère est

une solidarisation, c'est-à-dire la création d'un espace intérieur (comme un couple ou une famille). Ces cellules individualisées sont les atomes qui forment l'écume sociale.

L'aspiration anthropotechnique est un des éléments à l'origine de la création d'une sphère. Cette notion permet de différencier l'homme de l'animal. En effet, l'homme utilise des outils qui mettent à distance le monde. C'est ainsi qu'il se constitue un lieu propre, une sphère ontologique qui lui est réservée : la *clairière* (alors que l'animal évolue, lui, dans un environnement). Aujourd'hui, on ne peut plus concevoir l'être humain comme un individu dont le territoire (les sphères, la clairière) se superpose à la Nature. Cette vision du monde sous la forme d'un palimpseste évolue progressivement vers la pensée d'un espace partagé par tous. Nous ne sommes plus des individus isolables, mais une véritable communauté.

Parallèlement, avec le phénomène de la mondialisation, on assiste à la clôture de la planète sur elle-même. Raphaël Bessis<sup>6</sup> parle d'« écho-système » : l'échoïsation produit l'équivalent d'un enchaînement de dominos. Tout est lié, soumis à l'effet papillon. Dans ces conditions, l'affrontement devient dangereux : dans un monde clos, une situation d'opposition engendre la destruction de tous les protagonistes. Nous sommes donc amenés à penser la coexistence, le partage équitable des ressources. Nous ne pouvons plus ignorer la Nature, sa biodiversité, sa fragilité, sous peine de nous détruire nous-mêmes. L'homme doit se penser dans son « immanence » vis-à-vis de son milieu.

Au cours d'entretiens en juillet 2007, Francis Hallé<sup>7</sup> et Raphaël Bessis ont évoqué des stratégies différentes d'existence dans les règnes animal et végétal.

F. Hallé : « Si l'on se place sur le plan de l'évolution biologique, celle de Darwin, alors l'évolution de la plante et celle de l'animal sont très différentes. Évoluer pour les animaux, c'est

4 - Pascal Gontier, « Symbiocité », *art. cit.*, p. 2.

5 - Peter Sloterdijk, *Sphères*, vol. 1 : *Bulles, microsphérologie*, Pauvert, 2002 ; vol. 2 : *Globes, macrosphérologie* et vol. 3 : *Écumes, sphérologie plurielle*, Maren Sell, 2010 et 2005.

6 - Raphaël Bessis, anthropologue français.

7 - Francis Hallé, botaniste français.

se dégager de mieux en mieux des contraintes du milieu, et en ce sens, l'homme est bien placé au sommet de la pyramide, parce que pour nous, à la limite, on ne sait même plus ce qu'est le milieu. Évoluer pour une plante, c'est se conformer de mieux en mieux aux contraintes du milieu, cela consiste donc non pas à s'échapper, mais au contraire à se dissoudre dedans, à disparaître d'une certaine manière. C'est en quoi la plante m'est apparue immanente, alors que l'animal serait transcendant.»

R. Bessis: «Je pense que notre société actuelle développe un devenir de type végétal, mais elle n'en a pas véritablement le choix. Tout ce qu'elle fait, soi-disant à "l'autre" (au milieu, à la nature, au monde) par volonté carnassière, c'est en fait à elle-même qu'elle le fait. Si bien que le meurtre de l'autre se retourne en suicide, et la pulsion d'agression en pulsion de mort. Le devenir végétal appelle, au contraire, à ne plus vivre une opposition, mais à déployer une immanence.»

Il apparaît au fil de ce développement que le moindre des gestes humains doit être réfléchi, pensé de manière à mesurer exactement son empreinte dans le temps, l'espace et sur le vivant. Cependant, il apparaît tout aussi clairement que notre connaissance du monde vivant évolue vers de plus en plus de complexité, rendant toujours plus difficile pour les acteurs du développement la tâche d'en prendre la mesure.

La complexité du fonctionnement biologique du monde a été mise en évidence par les travaux d'Ilya Prigogine<sup>8</sup>, qui a opposé au déterminisme du monde de la physique classique un modèle non linéaire du développement biologique. C'est-à-dire qu'au caractère prédictif du modèle de Laplace, il substitue un processus dont le déroulement comporte des « points de bifurcation ». Si on veut donner une image de cette opposition entre les deux modèles, on peut se figurer l'interaction gravitationnelle entre deux planètes (on peut dévoiler passé et

futur en connaissant l'état du système à l'instant présent) et, parallèlement, considérer le même jeu entre trois planètes : il est impossible de décrire l'évolution autrement que par une approche probabiliste. Ainsi, il semble difficile aujourd'hui de ne décrire la complexité du monde vivant qu'au moyen d'une approche exclusivement déterministe.

Or, les architectes qui n'ont eu jusqu'à présent à utiliser du monde de la physique que la gravité dans un modèle simple et déterministe, se trouvent confrontés à la réalité d'un milieu vivant, donc, si l'on en croit Prigogine, à un tout autre modèle. Ce dernier peut être décrit comme un modèle fondé sur l'auto-organisation. Si le développement vivant obéit à des fluctuations, passe par des points singuliers et trouve, à chaque changement de phase, ses propres lois de comportement, les objets qui se présentent à lui en interface (l'architecture) doivent pouvoir s'adapter à des réalités bien différentes, dont la principale pourrait être un brutal changement du contexte dans lequel ils se trouvent.

Il est à noter d'ailleurs que si ce changement de paradigme n'a pas encore été pris en compte réellement comme une donnée fondamentale de l'architecture écologique, il a cependant, en tant que modèle, été la source d'inspiration de nouvelles approches structurelles, dites non linéaires<sup>9</sup>, dont l'exemple le plus frappant est la piscine de Pékin pour les Jeux olympiques de 2008. Pour les architectes en général, les avancées scientifiques sont d'abord des sources d'inspiration avant d'être des déterminants conceptuels.

Mais le savoir scientifique n'est pas le seul à annoncer un changement radical des conditions dans lesquelles évoluerait l'architecture.

8 - Ilya Prigogine, avec Isabelle Stengers, *La Nouvelle Alliance*, Gallimard, 1986.

9 - À ce sujet, voir le chapitre « Métabolismes ».

La littérature, quand elle s'empare des questions actuelles du monde, est révélatrice de changements qui peuvent interpeller les architectes ou leur servir de sources d'inspiration. C'est le cas de Michel Houellebecq<sup>10</sup>, qui dans ses romans *Les Particules élémentaires* et surtout *La Possibilité d'une île* s'interroge sur les conséquences des progrès de la médecine sur l'avenir de l'homme. *La Possibilité d'une île*, par exemple, décrit l'évolution d'un homme nommé Daniel qui, successivement cloné, devient un autre être, Daniel X. Cet homme trouve, dans le clonage, la réponse à un monde en mutation constante. Il n'est ni vraiment un homme, au sens où nous l'entendons usuellement (une singularité unique), ni vraiment son projet, au sens où il aurait été conçu comme tel (le mythe de Frankenstein), mais un *process*, qui évoluerait en même temps que son milieu (un projet dont le sujet et l'objet se confondent).

Ainsi, si le modèle de Prigogine, l'auto-organisation, décrit mieux que la physique déterministe ou plus utilement pour les architectes de l'écologie leur cadre conceptuel, et si la littérature en décrit des anticipations, l'architecture devrait pouvoir apporter ses propres réponses.

Nous verrons, dans le chapitre « Cycles », qu'une des données principales de l'architecture écologique est la prise en compte de la durée de vie des bâtiments. Cette durée de vie, si elle va au-delà de possibles changements radicaux de conditions vitales, implique une réflexion sur la flexibilité des bâtiments écologiques caractérisés par l'incertitude qui pèse sur

leurs conditions de vie au sein d'un milieu changeant.

De cette façon, une des stratégies que l'architecture écologique pourrait adopter face à cet univers malléable et incertain serait d'acter que l'anthroposphère peut muter au gré des changements du milieu. Cette capacité de mutation a déjà été mise en œuvre, non pas en vertu de considérations écologiques mais pour des raisons de service. Par exemple, la conception de la station spatiale internationale (ISS) s'est fondée sur des objectifs de possible interchangeabilité de ses éléments constitutifs. Sa modularité est une performance qui lui permet de muter, soit au rythme des progrès technologiques de ses composants de base, soit au gré de leur vétusté. Cette performance est de surcroît permanente, dans la mesure où elle est atteinte en phase de fonctionnement sans interruption de service.

Ainsi, cette stratégie de mutation de l'ISS, si elle n'obéit pas à des impératifs écologiques, est une réponse à des conditions d'exploitation qui varient durant la période de fonctionnement. On constate que cette capacité a été d'emblée recherchée (du fait également de l'éloignement de la station de son centre de maintenance) et est issue d'une approche technologique de la question<sup>11</sup>.

Dès lors, l'exemple de la mutation, en tant que réponse architecturale, est-elle une stratégie écologique possible? Si la réponse à cette question dépend probablement des programmes et des lieux dans lesquels ils s'inscrivent, l'exemple de l'ISS montre que la conception architecturale pourrait viser à définir un *process* plutôt qu'un projet figé pour une durée de vie habituellement indéterminée.

Ainsi, l'approche scientifique des questions écologiques engendre des solutions qui, si elles s'appliquaient strictement à l'architecture, soulèveraient des questions fondamentales quant aux principes conceptuels servant aujourd'hui de paradigme aux architectes. Et donc relève-

10 - Michel Houellebecq, *La Possibilité d'une île*, Fayard, 2005.

11 - On pourrait même se demander incidemment si l'ISS peut être considérée comme « belle ». Certainement pour ses concepteurs, en tant que modèle scientifique élaboré pour répondre à des enjeux du même champ.

raient de l'éthique, dans la mesure où le point de vue strictement anthropocentrique se révélerait inopérant.

## Les champs économiques

Là encore, nous allons nous appuyer, dans notre entreprise de tri des approches concrètement utiles pour l'architecte, sur des travaux significatifs d'une nouvelle approche de la biosphère. En l'occurrence, ceux d'Alain Grandjean, Jean-Marc Jancovici<sup>12</sup> et Nicholas Georgescu-Roegen.

Dans leur ouvrage *C'est maintenant!* publié en 2009, Alain Grandjean et Jean-Marc Jancovici ont exposé très clairement le découplage entre monnaie et valeur écologique. Sans doute en référence au livre *Effondrement* de Jared Diamond, ils ont situé leur démonstration dans le cadre d'une île, fonctionnant originellement sur les bases d'une économie de troc. Ils en brossent les configurations financières successives, depuis l'économie de troc jusqu'à une situation analogue à notre système économique actuel.

À l'origine, les ressources naturelles ont chacune une valeur identifiée : énergétique avec le bois de chauffe, constructive avec le bois de construction, nutritive avec le poisson, esthétique avec, par exemple, des coquillages rares ou remarquables, etc. Ces ressources sont échangées selon le système du troc. Il y a donc un lien direct et visible entre les ressources, transformées ou non, et leur valeur, variable suivant l'état de ces ressources.

Mais, constatant qu'il est plus facile de transporter un coquillage qu'un tronc d'arbre pour les évaluer, la monnaie est créée : elle affiche, selon la loi de l'offre et de la demande, une valeur équivalente pour chaque bien au moyen des coquillages. Pour s'assurer que les habitants ne se fourniront pas en coquillages sans les indexer sur un bien, le pouvoir en interdira la récolte. De plus, puisque ces biens ont une va-

leur intrinsèque très différente, des coquillages sans valeur esthétique particulière seront employés, car ils sont plus nombreux que les coquillages rares. Pour en garantir la valeur, le pouvoir politique y apposera son sceau. On constate alors qu'il y a un premier découplage entre valeur écologique réelle et valeur monétaire, surtout si le pouvoir politique ne l'adosse pas à un stock réel.

Puis, pour donner aux producteurs les moyens de se développer ou de se garantir contre une catastrophe naturelle, le prêt bancaire et l'assurance sont inventés. Ces contrats acquièrent eux-mêmes une valeur monétaire grâce à la loi de l'offre et de la demande qui pousse à la négociation ou à la spéculation (promesse d'un gain monétaire). Le marché boursier est né et sera complexifié par des produits multiples formés de différents contrats, dont les plus sûrs seront mis « en haut du panier » pour être plus attractifs, les fameux produits dérivés. Ils acquièrent une valeur en soi, puisque adossés à la confiance que les habitants de l'île accordent à la stabilité du système politico-économique. À ce stade, le découplage entre valeur réelle et valeur fictive est complet.

Mais, parallèlement, les habitants de l'île constatent, grâce à leur meilleure connaissance des ressources réellement à leur disposition (finitude de leur île comme celle de notre biosphère), que ces ressources ne sont pas forcément suffisantes pour satisfaire leur croissance démographique. Dès lors, ils s'interrogent sur la garantie que ce système économique leur offre. Même si ce système a permis plus de fluidité dans les transactions, notamment avec les îles avoisinantes (la mondialisation), les ressources réelles reprennent une valeur essentielle, qui n'aurait jamais dû être occultée par le caractère virtuel du marché financier.

12 - Alain Grandjean et Jean-Marc Jancovici, *C'est maintenant!* Seuil, 2009.

Cet aperçu économique, même très simplifié, permet de montrer que les architectes de l'écologie peuvent garantir une valeur à leur bâtiment en travaillant sur des concepts qui intègrent les fondamentaux économiques réels, c'est-à-dire couplés à une valeur écologique. Par exemple, en calculant le bilan carbone de leur bâtiment, au moyen des indicateurs environnementaux, pour en évaluer le coût écologique. Nous verrons qu'ils peuvent même créer de la valeur en proposant des bâtiments producteurs de ressources, notamment énergétiques.

Un économiste et mathématicien roumain, Nicholas Georgescu-Roegen, a théorisé dans les années soixante ce constat. Nous pouvons en retracer ici les grandes lignes.

Construire et faire fonctionner des bâtiments nécessite des ressources en matière et énergie puisées dans la lithosphère naturelle. Or, celles-ci ne sont pas inépuisables. Un des postulats du développement durable est de considérer une juste répartition de celles-ci entre toutes les générations présentes et à venir. Si les réserves en hydrocarbures sont épuisables et partiellement épuisées à ce jour, nécessitant la recherche d'autres ressources énergétiques à l'avenir, et si on met momentanément de côté les ressources renouvelables ou inépuisables (végétaux, énergie solaire, etc.), les autres ressources, notamment les métaux et les roches, sont à gérer en fonction d'un capital puisé dans la lithosphère.

Or, dans son ouvrage *La Décroissance*, Nicholas Georgescu-Roegen<sup>13</sup> a bien montré que la gestion de ces ressources n'obéissait pas aux règles usuellement utilisées par une approche strictement économique: «Un point important – apparemment ignoré des économistes – est que le recyclage ne peut être intégral. Nous pouvons ramasser toutes les perles

tombées par terre et reconstituer un collier cassé, mais aucun processus ne peut effectivement réassembler toutes les molécules d'une pièce de monnaie usée.»

Pour bien faire comprendre les enjeux environnementaux du développement, Nicholas Georgescu-Roegen se sert de la notion d'entropie comme grandeur fondamentale de mesure de l'épuisement des ressources. Ici, l'entropie mesure le degré de désordre d'un système au niveau macroscopique. Plus l'entropie du système est élevée, moins ses éléments sont ordonnés, liés entre eux, capables de produire des effets mécaniques, et plus grande est la part de l'énergie inutilisée ou utilisée de façon incohérente.

Cela revient à dire qu'utiliser des ressources non renouvelables en tant qu'énergie ou matière dispersée, c'est prendre le risque que les générations à venir ne puissent plus les utiliser en tant que matière à un coût soutenable. L'entropie de la biosphère en serait trop élevée. «Plus d'avions militaires aujourd'hui, c'est moins de socs de charrue pour demain.»

La mesure de cette grandeur permet de mettre en évidence quelques considérations importantes comme :

- l'irréversibilité d'un état ou l'impossibilité de revenir à un état antérieur, notion qui peut être prise en compte au titre du principe de précaution ;
- l'impasse du recyclage intégral des ressources minières, qui, avec le recul statistique, ressort de la prévention ;
- la singularité des ressources en matière/énergie autre qu'inépuisable ou renouvelable.

Pour illustrer son propos, examinons deux exemples très différents de développement: les villes de Luang Prabang au Laos et de Paris en France.

À Luang Prabang, il n'y a pas de feux rouges, pas de stops, pas de couloirs de bus ou de vélos. Pas de klaxons, pas de problèmes de stationnement, pas d'embouteillages. La circulation y est

13 - Nicholas Georgescu-Roegen, *op. cit.*, p. 70.

dense, mais aussi fluide que le trafic fluvial sur le Mékong qui longe la ville. On y croise plus de bonzes que de policiers, et la ville respire la sérénité, qualité que semblent apprécier ses habitants autant que de nombreux touristes. Pour tout dire, un « paradis » comme il est difficile d'en imaginer un pour nous, les Occidentaux.

À Paris, après des travaux d'aménagement qui visaient à sectoriser les espaces de circulation (couloirs de bus et de vélos séparés de la chaussée automobile), la municipalité a mis à la disposition des habitants le système de cycles Vélib' comme complément des transports en commun et alternative aux transports privés. Cependant, les Parisiens ont pu constater que ces mesures ont été faites au prix d'incivilités croissantes : vélos qui brûlent les feux rouges, fourgonnettes de livraison stationnées sur les couloirs de bus, piétons traversant la chaussée au mépris de toutes les règles de prudence, conduite dangereuse des voitures et des camions, dégradations volontaires de l'équipement public... tout cela indique une organisation de plus en plus complexe dont les règles sont de plus en plus difficilement acceptées.

Est-ce à dire qu'une mesure louable (aménagement de voies de service ou joliment appelées douces), sans gouvernance urbaine adaptée et sans appropriation par les usagers, préfigure l'échec d'une politique de développement durable ? L'organisation de Luang Prabang, ville préindustrielle à faible densité, procède d'une volonté politique délibérée des autorités en place (contrairement à ses voisins vietnamiens et chinois, qui recherchent une croissance à deux chiffres). Paris, ville postindustrielle à très forte densité, continue de concevoir son système de déplacement sur un vieux modèle mis en œuvre dans les années soixante, modèle fondé sur la sectorisation des voies de déplacement (couloirs de bus et cycles, voies sur berge dévolues au trafic automobile ou aux loisirs, autoroutes urbaines comme le périphérique, etc.).

Malgré les différences de densité entre les exemples laotien et français, les modèles sont-ils comparables ou transposables ? Existe-t-il un autre modèle de développement pour une ville comme Paris ? Par exemple, la décroissance, ou simplement le refus d'une croissance de la densité présentée comme une sempiternelle solution à tous les maux, pourrait-elle être un modèle possible de développement ?

« Décroissance », le mot est lâché, provoquant généralement des réactions épidermiques : retour aux cavernes, élucubrations de quelques énergumènes, etc. (réactions déjà suscitées par les écologistes dans les années soixante). La décroissance est un modèle de développement fondé sur la gestion de l'entropie de notre biosphère, alors que le développement durable est un modèle fondé sur la gestion autorisée des ressources non renouvelables (modèle acceptant d'emblée la croissance économique). Un modèle fondé sur la décroissance n'est pas un modèle régressif d'antidéveloppement : il permet une croissance à partir de ressources renouvelables, mais empêche la croissance des biens élaborés à partir de ressources non renouvelables. C'est, de ce fait, un autre modèle de développement.

Appliquée à l'urbanisme, la décroissance s'y matérialise par des offres de quantités non basées sur l'extrapolation de chiffres en croissance constante comme, par exemple, le surdimensionnement des voies de circulation fondé sur des estimations de trafic à telle échéance. Certaines propositions vont jusqu'à limiter les déplacements dans la ville aux transports en commun et à ceux dévolus au strict fonctionnement de la ville (livraisons, enlèvement des déchets, maintenance de l'équipement public). Loin d'être une utopie, la décroissance est déjà une hypothèse de travail. Florian Hertweck<sup>14</sup>

14 - Florian Hertweck, « Infraville », Actes du colloque ENSAPM, 2010.

en a déjà exposé la réalité pour certaines régions allemandes qui, face à la décroissance démographique, entreprennent de réfléchir à un modèle de redéploiement urbain qui accompagnerait cette décroissance. Refus de *flag-ships*, gestion des réseaux et de leur démantèlement, aménagement en « archipel » de la ville de Berlin (îlots urbains denses au sein d'un territoire re-naturalisé), etc.

Il cite d'ailleurs une anecdote significative à propos de la gestion des réseaux de distribution d'eau de ces régions en décroissance. Alors que les pouvoirs publics avaient auparavant incité les habitants à économiser l'eau potable grâce à des campagnes de sensibilisation écologique et des équipements limitant sa consommation (chasses à débit variable, par exemple), ces derniers sont invités à présent à consommer davantage d'eau pour assainir le réseau. Preuve s'il en est du lien entre gestion écologique et gouvernance.

Ainsi, Jim Harrison<sup>15</sup>, romancier américain, écrivait en 1975 dans son roman *Farmer*, à propos de certaines aires urbaines américaines : « Villes balancées sur cette terre d'une certaine hauteur et qui s'étalent comme de la bouse de vache dans l'herbe. Flop, flop, flop. Sans ordre, acéphales. Une huile répandue sur des eaux calmes ; abords de la ville avec motels, parkings, *drive-in* d'où l'on emporte ses hamburgers, stations d'essence aux néons de trente mètres de haut, pour être certain qu'on les voit de l'autoroute, et des milliers de petites entreprises aux activités indéfinissables abritées dans des bâtiments de brique ou de béton en rez-de-chaussée où l'on poursuit de sombres desseins. Vente de biens immobiliers et vente de vent. Installations sanitaires. Aux Mille Lampes. Chez Brad, Steak'n'Egg Stop. Mais nous savons tout ça et il n'y a pas moyen de recommencer à zéro. »

15 - Jim Harrison, *Farmer*, 1975 (trad. fr. *Nord Michigan*, Robert Laffont, 1984).

Si Nicholas Georgescu-Roegen a raison, il faut faire mentir Jim Harrison et, profitant, si l'on peut dire, des impératifs environnementaux qui s'imposent à nous et du débat sur le développement, ne pas écarter d'un revers de manche l'hypothèse qui serait celle de « recommencer à zéro ».

## Les champs philosophiques et théologiques

L'amplification actuelle du débat autour du développement durable est significative. En effet, cette préoccupation grandissante vis-à-vis de notre milieu de vie trahit un véritable changement de point de vue, la présence d'un questionnement, d'une remise en cause fondamentale d'un modèle en crise.

Cette récente prise de conscience de l'impact des êtres humains sur leur territoire est révélatrice de l'évolution du regard que nous portons sur notre environnement. Ce changement, loin d'être le premier du genre, s'inscrit dans une perspective historique au cours de laquelle le rapport de l'Homme à la Nature s'est successivement modifié au gré de l'évolution de la pensée et des civilisations.

Durant l'Antiquité, les Grecs définissaient la Nature comme l'ensemble des choses sur lesquelles l'action humaine n'a pas de prise (les arbres poussent, le soleil se lève, la pluie tombe...). Platon voit le cosmos comme un ensemble beau et ordonné, source de rationalité et témoin d'une sagesse. La Nature incarne un modèle éthique pour l'Homme.

Cette conception éthique évolue avec la montée en puissance des religions monothéistes – judaïsme, christianisme, islam –, qui considèrent la Nature comme une œuvre par laquelle la divinité est révélée, mais dont l'enseignement éthique est incarné par un transmetteur humain : le Prophète ou le Sauveur. Ce paradigme culmine avec le christianisme où éthique et Nature sont nommément dissociées

en deux entités distinctes : Jésus (incarnation de l'éthique) et l'œuvre de Dieu (la Nature, la Création, signes de la toute-puissance divine).

À la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, la Nature est « éthiquement neutralisée » : Newton découvre les lois de la gravité et démontre ainsi que le rapport entre les astres n'est pas régi par la perfection, mais par un rapport de forces. L'Homme est le seul à avoir une conscience du Bien et du Mal ; la Nature n'a pas de finalité, elle n'est plus spirituelle mais matérielle, nous seuls pouvons lui donner un sens. Cette pensée atteint son point culminant avec l'ouvrage de Jacques Monod, *Le Hasard et la Nécessité*<sup>16</sup>.

Dès lors, la Nature n'est plus considérée comme étant immuable ; elle devient « perfectible ». Par la technique, l'Homme est à même de la transformer en un monde meilleur. Ce bouleversement de la perception de l'ordre naturel signe l'avènement d'une ère nouvelle : celle de l'interventionnisme par lequel l'Homme s'immisce dans la structure même de son milieu. Son instrumentalisation, son industrialisation sont dès lors possibles, avec tous les excès que l'on connaît.

Mais il est progressivement apparu que, pour atteindre ces objectifs, l'espèce humaine s'est retrouvée, du fait de son hégémonie, face à une responsabilité vis-à-vis des autres espèces vivantes. La protection de la Nature en vue d'un développement durable implique une prise en compte plus globale des intérêts communs. Notre approche ne peut plus se réduire au seul point de vue de l'Homme, mais doit découler d'une vision holistique qui prenne en compte les multiples intérêts coexistants (ceux des êtres humains et de la biosphère dans son ensemble). Or si, parmi l'ensemble du corps vivant, chaque espèce dispose de ses propres armes, de sa propre organisation pour assurer sa survie (par exemple, la mobilité pour les mammifères ou la socialisation chez certains insectes comme les fourmis ou les termites), il en est une, indéniablement,

qui permet à l'Homme de s'imposer ou de réparer : la logique.

Il n'est donc pas étonnant que la première réponse ordonnée que les architectes français aient donnée aux enjeux écologiques ait été bâtie sur cette capacité de logique. Issue d'une démarche « qualité » empruntée aux industriels, ils ont utilisé à partir de 1996 une méthode, dite HQE<sup>®</sup> (Haute Qualité Environnementale), qui décrit les objectifs d'une approche environnementale en quatre volets : écoconstruction, écogestion, confort et santé. Pour satisfaire les objectifs (appelés « cibles ») de ces volets, la démarche est rationnelle et peut être décrite comme suit.

Le projet soulève des enjeux de toute nature qu'il faut préalablement identifier et hiérarchiser. Cet « ordre » sera réputé capable d'éviter des contresens et permettra de définir des objectifs à atteindre en termes de performances. Dès lors, ces performances, relevant d'un engagement liant concepteur et maître d'ouvrage, seront obtenues par des moyens à mettre en œuvre, permettant d'atteindre une plus faible empreinte écologique.

Si c'est bien la logique, comme réponse à une question écologique, qui permet le déroulement de cette méthode, on voit au travers de son énoncé qu'elle s'inscrit dans le cadre d'une approche fondamentalement anthropocentrée et qu'elle maintient l'approche architecturale dans un modèle ancien restrictif.

Ainsi que nous l'explique Philippe Descola, dans son article « À qui appartient la Nature ? », les motivations qui animent aujourd'hui l'Homme dans son rapport à l'élément naturel sont très souvent anthropocentriques : il instrumentalise la Nature à des fins proprement humaines. Par exemple, la création des parcs nationaux aux États-Unis participe plus de la

16 - Jacques Monod, *Le Hasard et la Nécessité*, Seuil, coll. Points, 1973.

construction de l'imaginaire et de l'identité nationale que de l'action purement environnementaliste. On imprime à la Nature une valeur culturelle, symbolique, voire mystique. De même, les raisons de la protection d'espèces «spectaculaires» telles que l'ours blanc ou le dauphin, relèvent d'une projection humaine purement affective (ordre de sentiments que la plupart des individus auraient peine à éprouver face à la disparition d'une espèce de nématodes). Enfin, il arrive à certains de défendre la Nature par crainte des effets néfastes que pourrait avoir un trop grand bouleversement des écosystèmes sur leur sphère de confort (climat par exemple).

Descola a ainsi établi une corrélation directe entre, d'une part, la nature des liens qui lient le genre humain avec le monde animal et, d'autre part, les grands groupes de croyances (naturalisme, animisme, totémisme et analogisme). D'après lui, ce sont ces rapports qui définissent le cadre de pensée écologique dans lequel les cultures évoluent. Mais cette approche structuraliste ne prend que peu en compte les exigences du développement humain, à tout le moins les interrogations qu'il soulève.

Ainsi, on peut se poser la question du but ultime, du sens à donner au développement. Penser la protection de l'environnement revient aujourd'hui à définir le positionnement de l'Homme vis-à-vis de ce dernier. Le protège-t-il pour lui-même? Cette attitude est-elle absolument désintéressée? Quelles raisons invoque-t-il? Que révèlent-elles de son rapport à la Nature?

Ces interrogations ont été relevées par l'encyclique papale *Populorum Progressio* de Paul VI

et rappelées par celle de Benoît XVI, *Caritas in Veritate*<sup>17</sup>. «Définir le développement comme une vocation, c'est reconnaître, d'un côté, qu'il naît d'un appel transcendant et, de l'autre, qu'il est incapable de se donner par lui-même son sens propre ultime<sup>18</sup>.»

À l'image de la démocratie, dont il ne faut attendre que ce qu'elle peut donner, le modèle du développement durable ne peut se référer qu'à sa stricte définition (préserver les ressources naturelles des générations futures). Il serait illusoire de lui associer ontologiquement une destinée pour le genre humain. Mais en parallèle, l'analyse des autorités théologiques des grandes religions concernant le développement humain tente de lui donner un sens qui lui soit extérieur, c'est-à-dire transcendant.

On voit que se dessine une opposition entre transcendance des religions monothéistes et immanence des approches matérialistes. Mais à l'opposition pourrait se substituer la conjugaison. Dans la sphère chrétienne, celui qui est allé le plus loin dans une pensée qui unisse congénitalement l'homme à la biosphère, c'est Pierre Teilhard de Chardin. Même si sa pensée a été considérée comme hétérodoxe par les autorités ecclésiastiques de l'époque, elle procède d'un même projet de penser le développement conjoint de l'homme et de la biosphère en tant que destinée humaine.

Pour le résumer, Teilhard figure ce projet par ce qu'il a appelé la noosphère, laquelle possède deux dimensions: l'une est concentrique au globe, constituée par l'ensemble des réseaux d'infrastructures qui font fonctionner le système homme/biosphère, l'autre est radiale et oriente la destinée de ce système vers un horizon cosmique représenté par Dieu.

Il est intéressant de constater que certains phénomènes actuels comme l'apparition du réseau Internet et le concept d'économie circulaire renvoient au caractère concentrique de la figure de Teilhard de Chardin, les encycliques à son caractère radial. Les thèses de cet auteur

17 - Benoît XVI, Encyclique, *Caritas in Veritate*, Libreria Editrice Vaticana, 2009.

18 - Paul VI, Encyclique, *Populorum Progressio*, Libreria Editrice Vaticana, 1967.

se voient ainsi gratifiées d'un regain d'intérêt, comme en témoignent de récents travaux<sup>19</sup>. Notons également que l'approche scientifique s'inscrit parfois dans un cadre de pensée qui frise la théologie; citons à cet égard Philippe Jamet: «La survie de chacun est dans l'alliance de tous, [...] et dans la construction d'un partage [...]. Ainsi, dans une crise sans retour, la solidarité est-elle ce qui fait la différence entre l'extinction et la pérennité.»

Pour conclure, rappelons qu'on peut identifier trois champs encadrant les questions liant écologie et architecture: scientifique, économique et, enfin, philosophique et théologique. Ces champs permettent de faire émerger des projets dominants qui s'imposent, selon les disciplines, comme modèles ou comme morales. Mais ces modèles s'excluent-ils? Peuvent-ils se combiner pour définir un paradigme général qui s'imposerait comme modèle pour la période à venir? L'avenir le dira, mais retenons que, d'une part, l'architecte doit être conscient du champ éthique dans lequel il évolue et que, d'autre part, à cette condition, la combinaison et l'hybridation entre ces modèles restent possibles pour élaborer une réponse architecturale.

On peut parfaitement confronter deux systèmes de pensée pour bâtir une approche prospective: par exemple, allier l'approche économique de Georgescu-Roegen<sup>20</sup> à celle issue de la pensée théologique de Teilhard de Chardin. Ainsi, une approche en termes de déchets et de démantèlement, ce que les Anglo-Saxons appellent "*cradle to cradle*" et les chrétiens "*ashes to ashes*", doit s'accompagner d'une approche en termes de ressources pour s'inscrire dans le cadre d'une économie circulaire, tenant compte des limites de la biosphère (le contraire du vieux modèle "*end-of-pipe*" décrit par Suren Erkman).

Mais, pour échapper à la finitude de la biosphère, inéluctable si on la réduit à notre système planétaire, on est en droit de penser que

tant les mystères actuels du cosmos (sa topologie, son origine, son sens) que la connaissance que nous en avons aujourd'hui (essentiellement, la rupture d'échelle entre l'Homme et l'Univers<sup>21</sup>) peuvent simultanément renvoyer à l'adage de Protagoras, selon lequel l'Homme est la mesure de toute chose. Dès lors, la destinée comme la survie de l'Homme ne résideraient-elles pas dans l'expansion de la biosphère au-delà de ses limites actuelles, tel un principe actif vital ensemençant l'Univers par l'Homme? Les deux entités, habituellement pensées séparément, y trouveraient un sens conjoint.

L'existence et le sens de l'Univers seraient donc nécessairement liés à l'existence de la vie. Son mystère serait consubstantiel à son existence, donnant un sens à celle de l'Homme et assurant ainsi sa survie par l'accomplissement d'un destin hégémonique<sup>22</sup>. ■

19 - Gustave Martelet s.j.,  
*Et si Teilhard disait vrai...*,  
Parole et silence, 2006.  
20 - Nicholas Georgescu-Roegen,  
*op. cit.*  
21 - De l'ordre de 10<sup>26</sup>, en l'état  
actuel de nos connaissances.  
22 - Conférence GC'2011 de  
l'Association française de génie  
civil, Grégoire Bignier.



# Livre 2

# Projets de ponts et passerelles : Gruissan, Maisons-Laffitte, canal du Lamentin (Martinique), Cherbourg, Le Havre

## *Infrastructures de la matrice*

Puisque nous avons émis l'hypothèse, dans les chapitres précédents, qu'une approche écologique nécessitait de localiser les processus de conception en fonction du type de lieu dans lequel ils s'inséraient, il nous reste à présenter des exemples de cette démarche, ici au cœur des matrices urbaines.

Rappelons notre définition d'une matrice : c'est le produit d'une géophysique alliée à une morphologie urbaine au service d'une vocation écologique, de manière à créer une plus-value servant de potentiel d'échange entre la

géophysique et la morphologie urbaine. Ainsi, les projets sont bâtis pour créer ou renforcer la valeur de cette matrice. C'est elle qui crée la valeur écologique et – nous en sommes convaincu – la valeur tout court.

Dès lors, si chaque matrice est évidemment particulière, la démarche architecturale est commune : il faut d'abord identifier et connaître les paramètres géographiques du site, à l'échelle adéquate (quand bien même cette géographie aurait déjà un caractère anthropomorphique), puis s'inscrire dans une morphologie urbaine dont les qualités auront

été reconnues et enfin tendre le processus vers la création d'une valeur qui aille au-delà de la simple fonctionnalité de l'ouvrage.

C'est pourquoi nous présentons ici plusieurs projets dont la multiplicité montre les aspects singuliers. Bien sûr, les lieux ont été choisis pour leur contraste en même temps que leur similitude de manière à mettre en évidence l'exemplarité de chaque proposition, mais également leur cousinage. Ainsi, plusieurs lieux sont lacustres, mais à des échelles différentes, leur fonctionnalité (franchissement) est la même, mais dans des lieux très variés (ports, faisceau ferroviaire, etc.). Logiquement, leur écriture ar-

chitecturale est très différente, mais cet éclectisme stylistique ne se rapporte pas, on l'aura compris, au souhait de la variété, mais à une démarche découlant des convictions que nous avons démontrées précédemment.

Cette entreprise de clarification, appelée de nos vœux dans le chapitre « Éthiques », aboutit à identifier des enjeux très différents : durabilité, biodiversité, santé, énergies, usages, etc., qui sont les réalités décrites au chapitre « Prospective ». Nous voulons montrer que leur convergence contribue à former une réponse écologique au défi actuel du développement urbain de la planète.

## Une passerelle piétonne pour le port de Gruissan

Le site du projet de la nouvelle passerelle se trouve au-dessus d'un canal du port de Gruissan dans l'Aude. Jusqu'au lancement du projet, il existait une passerelle en lamellé-collé avec un tablier métallique datant de 1977, permettant le passage d'une rive à l'autre pour une portée d'environ 35 mètres.

Or, le canal se trouve très exactement dans l'axe de la tramontane et la passerelle, ayant des flancs pleins formant garde-corps, a subi régulièrement les coups de boutoirs d'un vent qui peut être puissant. Ainsi, au fil des ans, elle s'est progressivement fissurée par fatigue. Des renforts métalliques ont été fixés pour tenter de préserver la cohésion de l'ensemble au cours de réhabilitations successives, mais sans succès.

Nous avons donc conçu un projet sur la base d'une analyse de cycles de vie : assurer la durabilité de la future passerelle est quasiment l'enjeu unique du projet. La simplicité de la question permet d'en faire ressortir la valeur d'exemple : permettre le passage de piétons d'un quai à l'autre, mais sous une contrainte géophysique majeure, le vent. Ainsi, pour lutter contre les ravages causés par la tramontane, son aérodynamisme devient un vecteur essen-

tiel de la conception technique et architecturale du projet.

De même, cette rapide analyse de cycles de vie nous apprend que :

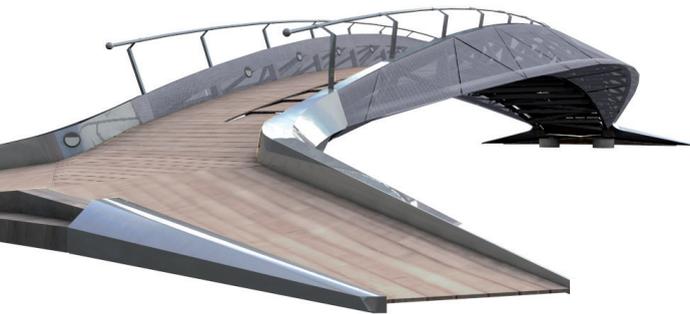
- la phase de ressources est d'autant plus légère que le poids des matériaux employés dans la conception de la passerelle est minime : les impératifs écologiques de cette phase imposent donc une recherche poussée sur l'économie de moyens à réaliser ;
- le démantèlement de la passerelle actuelle doit être pris en compte dans le bilan écologique du projet, car la démarche écologique s'appuie sur l'analyse d'un process et non sur la seule considération d'un ouvrage en phase de fonctionnement : par exemple, pour ne pas démanteler les fondations existantes, il convient de dessiner une passerelle plus légère que celle qui est actuellement en place, nous serons ainsi certain que les fondations actuelles la supporteront ;
- toutes les phases, par principe, impliquent un travail sur l'entropie du système et donc une utilisation réduite de la matière.

C'est ainsi que la recherche conceptuelle s'est portée l'optimisation de l'aérodynamisme et du poids de l'ouvrage.

Les premières esquisses ont donc été ébauchées avec le souci d'offrir le profil le plus à même de résister aux assauts de la tramontane. Si nous suivons les recommandations du chapitre « Biodynamisme », nous savons que l'observation et le respect de la biodiversité nous payent en retour de l'inspiration de solutions mimétiques. Ainsi, il existe de nombreux exemples d'espèces animales dont les morphologies se sont élaborées à partir de contraintes similaires: dauphin, phoque et raie manta comptent parmi les exemples les plus achevés

d'une symbiose entre un corps vivant et le milieu dans lequel ils évoluent.

Par exemple, la nage du dauphin, qui profite de la forme du ressac et du bulbe de son crâne dessiné pour casser la vague d'étrave (inspirant la nage moderne et la proue des supertankers), et les propriétés hydrodynamique de sa peau sont les paramètres qui lui assurent une efficacité optimale dans son milieu. De même, la raie manta utilise sa « voilure » pour profiter des courants marins afin de minimiser son effort.



*La passerelle s'inspire des exemples du règne animal, ici la raie manta.*

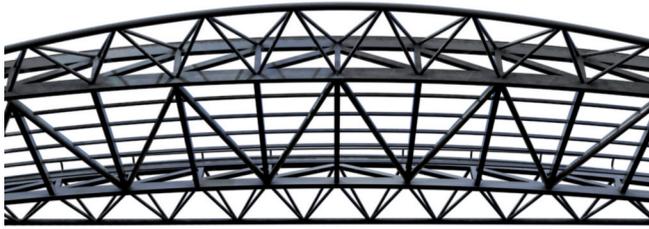
Dès lors, sans qu'il soit besoin d'entreprendre une étude aérodynamique poussée, le profil de la passerelle se dessine de lui-même: un bord d'attaque tranchant, une forme générale de lentille et une porosité de la peau de revêtement de la structure.

Pour former ce profil, la conception s'est orientée vers les caractéristiques suivantes :

- une structure métallique constituée par une ossature dont les éléments forment un squelette (colonne vertébrale, vertèbres et côtes). C'est la recherche de la légèreté de l'ensemble et du bord d'attaque de la coupe transversale qui a défini l'ossature métallique donnant sa forme générale à la passerelle. La structure porteuse de la passerelle est constituée de deux poutres latérales reliées entre elles horizontalement par des en-

tretoises métalliques. Chaque poutre latérale est composée de deux membrures supérieure et inférieure courbes, inclinées légèrement vers l'extérieur, et d'un arc excentré, l'ensemble formant un triangle recouvert par la toile d'habillage. Dans ce triangle sont logés tous les fourreaux de l'éclairage de la passerelle. Ces deux poutres caissons sont reliées entre elles par des montants verticaux et diagonaux en profil creux carré servant de contreventement. Les membrures alliées aux montants verticaux et diagonaux forment au final une poutre-trellis figurant un fuseau ou un croissant ;

- une peau constituée par une tôle dont la perforation permet d'équilibrer à la fois la pression et la dépression sous obstacle. En effet, une perforation légère est plus efficace qu'une



*La structure du pont en définit la forme.*

tôle pleine pour s'affranchir des turbulences sous le vent. S'adaptant comme la peau des cé-tacés, la passerelle cherche le meilleur fonc-tionnement possible avec le milieu ;

- une queue qui permet la stabilisation de la structure générale face à des coups de vent ex-ceptionnels. La queue du phoque, qui fait of-fice de stabilisateur sur terre, a servi de modèle pour dessiner la morphologie générale de la passerelle.

Conformément à l'intuition que nous avons suivie tout au long de cet ouvrage, cette démarche n'a pas seulement l'ambition d'être écologique, elle présente également l'avantage d'offrir des qualités spécifiquement architec-turales, prouvant l'intérêt immédiat d'une ap-

proche mimétique. Pour la nouvelle passerelle, ces qualités sont :

- sa fluidité et sa légèreté, répondant à un souci de transparence, nécessaire à la préservation de la perspective depuis les quais ;
- son caractère arachnéen, permettant la trans-parence et l'accroche de la lumière, afin de mettre en valeur les nombreux détails constructifs ;
- son aérodynamisme, obtenu par une coupe transversale fluide, qui augmente son confort et sa durée de vie ;
- sa ligne générale épousant une ligne courbe et douce et répondant à la sérénité du lieu et aux exigences d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.



*L'ouvrage est sculpté par les contraintes géophysiques.*