

# Métabolisme

*« Voilà qui nous conduit à une conception radicalement différente de la cosmologie et de la relation de cause à effet car les histoires [de l'Univers selon Richard Feynman] n'ont pas d'existences indépendantes : elles dépendent de ce que l'on mesure. Ainsi, nous créons l'histoire par notre observation plutôt que l'histoire nous crée. »*

Stephen Hawking et Leonard Mlodinow<sup>1</sup>

Dans nos tentatives précédentes pour comprendre les spécificités d'une approche conceptuelle écologique, nous avons décrit successivement :

- la nature des systèmes de pensée dans lesquelles elle évoluait ;
- les valeurs sur lesquelles elle pouvait reposer ;
- la forme cyclique qu'elle prenait ;
- les effets de seuil qu'elle subissait ;
- les rapports qu'elle tentait de formaliser entre anthroposphère et biosphère.

À la suite de cela, il apparaît qu'il manque une réflexion sur les principes épistémologiques qui pourraient la fonder : principe de précaution ou de prévention, analyse statistique des risques, équité, topologie de projet, etc. Comme pour les sciences physiques et naturelles dont les progrès spectaculaires invitent à une réflexion nouvelle sur leurs principes fondateurs, la nécessité de concilier développement humain et équilibres écologiques conduit non pas tant à donner à cette démarche une forme particulière qu'à tenter de la décrire en mécanismes simples. Soit, comme pour appré-

hender le fonctionnement d'un corps vivant au sein d'un biotope, un ensemble de règles qui définiraient un métabolisme.

Toutefois, nous voudrions préciser que l'objet du présent chapitre ne traite pas de l'architecture ou de l'urbanisme métaboliste, mouvement culturel du siècle dernier dont le plus illustre représentant fut l'architecte Kisho Kurokawa<sup>2</sup>, mais bien des principes qui pourraient conférer à l'aménagement du territoire les aptitudes nécessaires pour répondre aux nouvelles questions environnementales liées à notre développement humain<sup>3</sup>. Nous voudrions ainsi éviter les écueils du métabolisme historique, écueils clairement perçus par Aldo Rossi : « Même les travaux d'écologie les plus sérieux ont fini par abandonner les théories qu'ils avaient avancées, et qui établissaient un parallèle entre la ville et l'organisme humain ou les processus du monde biologique<sup>4</sup>. »

Nous n'avons pas l'ambition ici de décrire exhaustivement certaines formes urbaines qui auraient les caractéristiques d'un métabolisme vivant, mais nous souhaitons simplement pro-

poser à l'étude deux angles d'approche qui nous semblent profondément liés à cette idée de forme métabolique :

- la question du comportement de ces formes urbaines en phase critique (catastrophe) que l'hypertechnologie de notre siècle repose de manière historiquement nouvelle ;
- et, articulée étroitement avec elle, la question de la densité qui leur est associée.

## Sinistres et cataclysmes

Le comportement métabolique des aires urbaines nous apparaît plus facile à décrire à l'aune de ses phases critiques, car ces dernières – nous emploierons le terme générique de « catastrophe » dans un premier temps – révèlent souvent, de par leur nature paroxysmique, de profonds déséquilibres humains et/ou écologiques. En effet, le premier réflexe est de considérer la situation courante comme un état stable, à l'équilibre, tandis que la situation catastrophique serait un état critique exceptionnel, instable, perturbé ou déséquilibré. Ce sont ces comportements singuliers qui sont riches d'enseignements<sup>5</sup>. C'est pourquoi il nous faut entreprendre l'analyse de leurs causes comme de leurs conséquences, de leurs formes comme des principes qui s'en dégageraient.

Les catastrophes peuvent avoir un caractère naturel, au sens où elles ne dépendraient que de *causes* naturelles : séisme, éruption volcanique, tempête, inondation, raz-de-marée, sécheresse, incendie, épidémie, fléau lié au règne animal (sauterelles, termites, etc.). Ces phénomènes ont une envergure qui dépasse largement celle de l'homme qui les subit, mais il en existe aussi qui sont plus en rapport d'échelle avec lui : avalanche, mascaret, éboulement, effondrement, foudre, etc. Ce n'est donc pas le gigantisme qui caractérise nécessairement ce type de catastrophe, mais son origine (phénomène naturel) et seulement elle.

En effet, l'ampleur des effets d'une catas-

trophe sur l'homme peut être liée soit à son envergure soit au degré de l'exposition à laquelle il est confronté, ces deux états étant parfois découplés. Par exemple, le tremblement de terre de Lisbonne qui a eu lieu le 1<sup>er</sup> novembre 1755 a occasionné le décès d'environ soixante mille personnes, surtout dû aux nombreux incendies consécutifs. Or, la ville de Lisbonne ne se trouve pas directement sur une faille de la croûte terrestre, la plus proche passant au sud du pays (plaques africaine et eurasiennne). À l'opposé, l'avalanche qui a eu lieu au pied du mont Huascarán au Pérou en 1962 a englouti la ville de Ranrahirca aux ruelles étroites, faisant plus de trois mille morts. La ville se trouvait dans une région sismique, au creux d'une vallée formée par les contreforts abrupts d'une montagne granitique. Ces deux exemples montrent qu'une catastrophe peut être caractérisée tant par sa cause que par le contexte dans lequel elle se produit. Nous verrons que cette

1 - Stephen Hawking et Leonard Mlodinow, *Y a-t-il un grand architecte dans l'Univers?* Odile Jacob, 2011, chap. 6 « Choisissons notre Univers », p. 172.

2 - Kisho Kurokawa, architecte japonais (1934-2007).

3 - En effet, les questions écologiques conduisent actuellement à produire de nouvelles utopies architecturales, dont le formalisme fonctionnel direct rappelle souvent les tentatives avortées du mouvement métaboliste (façade fractalisée, analogie entre structure du bâtiment et forme végétale, bâtiment-ville censé répondre au problème de la densité et de l'étalement urbain, etc.).

4 - A. Rossi, *L'Architecture de la ville*, op. cit., chap. 1 « Structure des faits urbains », p. 42.

5 - Pour Schrödinger, le métabolisme vivant est même une phase de déséquilibre permanent ; il le définit comme la propriété organisationnelle de non-équilibre énergétique.

dualité est importante, s'agissant notamment des épidémies, où parler d'envergure n'a de sens que par rapport à la configuration humaine dans laquelle elle évolue.

La deuxième origine de catastrophe est humaine : conflit, crise économique, catastrophe industrielle, etc. Écologiquement parlant, seule la dernière cause nous intéresse, bien que les conflits guerriers aient souvent une incidence sur l'écologie de la biosphère<sup>6</sup>. La catastrophe industrielle, quant à elle, nous renvoie généralement, d'une part, aux conséquences d'une économie linéaire que nous avons évoquée dans les chapitres précédents, d'autre part, au fonctionnement même d'un certain type d'industrie. Le premier cas peut être illustré par les dégradations de la vallée du Rio Tinto en Espagne du fait de l'industrie du cuivre ou, de plus grande ampleur encore, par l'assèchement du lac Baïkal (Russie) à cause de la culture industrielle du coton. Le deuxième cas peut l'être par la catastrophe de l'usine chimique de Seveso en Italie en 1976<sup>7</sup>. Notons, pour finir, que la crise peut être larvée (Minamata, Japon, 1950) ou brutale (AZF-Toulouse, France, 2001).

On sent d'emblée, à l'exposé de l'origine de ces catastrophes, que les questions de leur gestion et des dispositions que l'aménageur prendra pour s'en prémunir seront posées différemment selon l'origine de leurs causes. Mais, s'agissant d'aménagement écologique, nous devons aller plus loin dans l'analyse des formes catastrophiques et parler de leurs conséquences.

En effet, les conséquences des catastrophes sont elles aussi très variées, tant par leur étendue que par le nombre et le type de victimes. Ainsi, le bilan humain de tel séisme en Asie au cours de l'histoire moderne pourra se chiffrer en centaines de milliers de morts, tandis qu'aucun compte de l'état écologique de la biosphère n'en sera tenu. Mais, durant la même période, les catastrophes du *Torrey Canyon* (1967) et de l'*Amoco Cadiz* (1978) au large d'Ouessant n'ont pas fait de victimes humaines, mais des dégâts considérables au sein de la faune et de la flore locales. Il semble, par ailleurs, qu'au moins pour la première marée noire, les remèdes aient été au moins aussi destructeurs que le sinistre lui-même (emploi de détergents pour contenir les hydrocarbures et incendie volontaire de la nappe, ajoutant au sinistre une pollution de l'air). On voit au travers de ces exemples que les victimes peuvent être indifféremment humaines ou non et que l'émotion qui leur est liée est indépendante de ce fait.

Enfin, avec les catastrophes nucléaires, nous cumulons les types de conséquences. Peut-être du fait des progrès des recensements des dégâts du fait du caractère récent de ce type de catastrophes, mais plus sûrement du fait de la nature de la catastrophe, le constat des conséquences de « l'accident » nucléaire s'est étendu à l'ensemble des espèces vivantes. Les accidents de Three Mile Island, de Tchernobyl et de Fukushima ont révélé que leurs dégâts concernaient aussi bien l'homme que la biosphère et qu'ils traversaient les frontières et les âges. Trois « premières » dans l'histoire de l'humanité qui ont poussé Jean-Claude Dupuy, à la suite des travaux de Günther Anders<sup>8</sup>, à développer une nouvelle épistémologie des risques humains.

Ce rapide exposé des causes et des conséquences des catastrophes écologiques met en évidence un fait que les assureurs connaissent bien : il existe à la fois une différence et un lien entre danger et risque. Ce rapport peut s'exprimer de la manière suivante : le risque est le

6 - Il serait intéressant d'étudier les incidences écologiques du second conflit mondial, par exemple.

7 - Illustrant, de surcroît, la question de la gestion d'une crise écologique.

8 - Günther Anders, *L'Obsolescence de l'homme* (1956), L'Encyclopédie des Nuisances, 2002.

produit du danger par un certain nombre de paramètres propres à chaque situation (l'aléa), par exemple :

- l'exposition au risque (proximité avec le danger) ;
- la durée de cette exposition ;
- le comportement des populations exposées (psychologie, hygiène, par exemple) ;
- l'information sur le danger dont elles disposent (conscience du danger) ;
- leur profil (âge, culture, état de santé, profil génétique, etc.) ;
- d'autres paramètres spécifiquement liés au type de catastrophe étudié et dont l'analyse fait parfois ressortir la singularité.

Chaque situation doit être analysée selon ce produit (risque = danger x aléa). Ainsi, il peut exister des dangers considérables, mais très fortement diminués par une série de mesures prises pour s'en prémunir (argumentaire des pronucléaires, par exemple) ou, inversement, des dangers réputés mineurs, mais catastrophiques dans certaines situations car récurrents (courants d'air dans une maison de repos, par exemple). La différence entre danger et risque est importante à saisir pour un architecte ou, plus généralement, pour tout aménageur d'espace, dans la mesure où il peut agir sur le contexte et donc sur l'aléa, ainsi que le démontrent les deux exemples suivants.

Le premier exemple concerne une épidémie de grippe dans une crèche. La première question que l'on peut se poser est liée à la dangerosité de la souche grippale. Mais est-il même possible de l'évaluer avant le bilan rétrospectif de l'épidémie ? Il y a ainsi une incertitude sur le niveau du danger<sup>9</sup>. La deuxième question concerne l'évaluation des risques, que l'on pourrait décrire ainsi : l'exposition est forte du fait du regroupement dans un espace confiné, la durée d'exposition est en rapport avec la période d'incubation, les enfants en bas âge n'ont pas de comportements spontanément préventifs par rapport à la transmission du virus, ils

constituent une population à risque du fait de leur jeune âge, etc. Ainsi, les risques sont réputés élevés par rapport au danger d'une grippe. L'architecte devra donc concevoir son projet avec le souci d'élever les niveaux de sécurité sur lesquels il peut agir (ventilation, chauffage, partition de l'espace, etc.). L'approche écologique en termes de catastrophe montre ainsi que ce souci est au moins aussi important que l'image du projet, pourtant un des principaux critères d'évaluation de sa qualité architecturale sous nos contrées.

Cependant, l'exemple suivant démontre exactement le fait inverse. En 2005, la France a déploré la mort accidentelle de deux jeunes hommes dans un transformateur de courant, victimes d'électrocution. Ici, le danger est réel, connu et sans appel. De par sa conception, ce type d'espace est *par principe* uniquement accessible au personnel du concessionnaire, personnel conscient du danger car formé. L'exposition est limitée par la clôture du site, une information explicite étant néanmoins disposée pour les personnes qui tenteraient de la franchir. Pourtant, l'accident a eu lieu. Un ou deux des paramètres de l'équation – le comportement des populations exposées et l'information adaptée selon le niveau de danger – ont rendu le risque majeur. Dès lors, l'aménageur doit tenir compte des enseignements de cet accident pour améliorer son dispositif, sans doute avec des adaptations aux évolutions du monde qui l'entoure (par exemple, en s'interrogeant sur le fait de le considérer comme *exceptionnellement* accessible au public). L'image du projet peut donc ainsi participer en tant qu'information à donner sur l'hétérogénéité et la dangerosité du territoire moderne. Par exemple, le rouge est, en général, la couleur du danger.

9 - Rappelons que la grippe espagnole en 1918-1919 a fait plus de morts que la Première Guerre mondiale.

Ce dernier exemple montre que l'image du projet en tant qu'information préventive peut jouer ici un rôle dans la sécurité publique. Dès lors, l'architecture, dans ce qu'elle affiche comme image d'elle-même, peut retrouver un sens qu'elle perd peut-être quand elle ne se soucie que d'être à la mode. Les deux cas, crèche et transformateur, montrent en tout cas qu'une approche en termes de « catastrophisme éclairé », selon l'expression de Jean-Claude Dupuy, change radicalement l'appréciation que nous portons sur l'architecture, dont on voit mal au nom de quoi elle devrait, même en tant que produit culturel relevant d'une exception, échapper aux efforts déployés pour le respect du principe de précaution, si c'est ce principe politique que l'on a voulu<sup>10</sup>.

Pour terminer cette entreprise de classification, nous pouvons utiliser une autre approche distinguant les catastrophes entre elles, celle de l'étude de leurs comportements. Là encore, nous aurions une bipartition entre, d'une part, un comportement dit linéaire de la biosphère et, d'autre part, un comportement non linéaire, et ce quelle que soit l'amplitude du phénomène. Analysons successivement ces deux types de comportements.

Dans le premier cas, les catastrophes sont le stade paroxysmique d'un processus ou d'un phénomène. Ce stade n'est pas de nature différente, c'est l'ampleur des forces en présence qui dépasse le niveau de contrôle humain. Force des vents, niveau de crue ou de pollution, voire nombre de victimes admissible lors de sécheresses, famines ou épidémies, constituent des seuils qui, franchis, donnent des catastrophes.

10 - Principe inscrit comme fondamental dans la Constitution française en 2005. Il serait dommage que ce soient les assureurs ou les juges qui rappellent ce fait aux architectes ou aux maîtres d'ouvrage, même si on peut s'interroger sur les conséquences de ce principe.

Dans une approche strictement déterministe ou statistique, connaissant l'état initial du système ou les fréquences des catastrophes, on peut les anticiper selon un comportement linéaire et réversible. Par analogie avec une loi de comportement de déformation, nous serions confinés à une phase dite « élastique » du « matériau composite vivant » formé par le couple Terre-hommes. Tempêtes, inondations, épidémies, certains sinistres industriels sont l'essentiel de ce type de catastrophes.

Dans le second cas, les catastrophes sont soit chaotiques, soit imprévisibles, soit irréversibles, parfois tout à la fois. La connaissance des conditions initiales ne dit rien quant à leur évolution, leur forme de comportement est non linéaire, nous basculons indifféremment d'une phase à l'autre, parfois sans retour à l'état antérieur du système. Toujours par analogie avec la loi de comportement des structures, nous serions dans une phase au comportement dit « plastique » du matériau biosphère. Tremblement de terre, éruption volcanique, catastrophe lente (type réchauffement climatique ou accroissement du trou d'ozone en haute altitude), catastrophe nucléaire, sont de ce type.

Ainsi, que nous en étudions les causes, les conséquences ou les comportements, nous voyons apparaître une dualité systématique entre types de catastrophes, dualité pour laquelle nous pourrions utiliser les termes de « sinistre » dans le premier cas et de « cataclysmes » dans le second. Ces deux types de désordres renvoient à deux approches conceptuelles très différentes.

Les sinistres, de par la possibilité de prédiction qu'ils offrent, peuvent se voir opposer une approche statistique probabiliste relevant de la *prévention*, du retour sur expérience. Leur prise en compte peut être faite de deux manières. Soit dans la conception même de l'espace des hommes avec l'utilisation de seuils d'admissibilité : vents et crues centenaires pris en compte dans les calculs permettant de dire que ces si-

nistres seront admis une fois par siècle selon un seuil économique d'acceptabilité<sup>11</sup>. Soit par la surveillance de phénomènes inhabituels permettant leur détection. Toutefois, cette deuxième approche souffre d'un défaut structurel que la tempête de 1999 en France a révélé. Ainsi, la présence de mouettes très à l'intérieur des terres, la veille de la tempête, n'a été perçue comme un signe avant-coureur de la catastrophe ni par le météorologue, qui ignore tout du comportement animal, ni par le naturaliste, qui ne sait rien de la formation des tempêtes. L'homme de terrain, de par son expérience, ou l'homme de sciences générales, par le raisonnement, auraient peut-être pu, eux, anticiper la catastrophe. Ainsi, c'est le détachement de l'homme des réalités tangibles ou l'éparpillement des disciplines qui constituent parfois des freins à la réponse adéquate aux catastrophes de ce type.

Par ailleurs, les sinistres impliquent logiquement le fait qu'une analyse du risque a fort intérêt à se coupler avec une analyse des cycles de vie du projet. Les phases ressources (phase 1) et fonctionnement (phase 3) du projet seraient étroitement associées avec un plan de prévention, d'une part, et une politique d'évaluation, d'autre part, remettant au goût du jour les approches en termes de qualité. Ce qui peut impliquer, comme pour l'industrie, une démarche standardisée plutôt que le principe systématique du prototype architectural. Il est donc possible qu'une approche écologique génère plus un paysage rébarbatif de produits ayant fait la preuve de leur fonctionnement conjoint (champ de tournesols) qu'un panorama d'exposition universelle constitué par des pavillons tous plus singuliers les uns que les autres et censément « écologiques » (roseraie de Bagatelle). Question d'efficacité.

Les cataclysmes impliquent, quant à eux, une approche radicalement différente, essentiellement due à leur imprédictibilité et/ou irréversibilité. Ils reposent donc sur une incerti-

tude avec laquelle il faut bien composer. À moins d'accepter le fatalisme cynique (syndrome de la Nouvelle-Orléans) ou d'invoquer la petitesse de la condition humaine, il faut inclure ici le principe de *précaution* dont il ressort qu'il faut, concernant les cataclysmes :

- soit renoncer à en être à l'origine (accident nucléaire, réchauffement climatique, trou dans la couche d'ozone, etc.) ;
- soit diminuer la probabilité d'y être confronté en les évitant (zones sismiques ou volcaniques) ;
- soit augmenter notre connaissance sur leurs comportements (recherche scientifique) et la pertinence de nos réponses urbaines (recherche architecturale).

Ainsi, comme le montre ce qui a été dit précédemment, il ne peut uniquement s'agir pour les architectes de proposer formes et morphologies supposées répondre aux catastrophes, mais d'en comprendre les principes et d'en anticiper les comportements. Cela implique de travailler non pas dans un cadre déterministe figé, mais dans le contexte quantique du monde vivant, supposant un certain degré d'incertitude sur les scénarios envisageables et constituant ainsi un changement pour le moins radical de paradigme.

Pour ce faire, en tirant les conséquences logiques des recommandations évoquées plus haut, nous pourrions nous aider des théories récentes de l'information, et notamment d'une notion qui est symétrique de l'entropie que nous avons déjà évoquée au chapitre « Éthiques » : la néguentropie (abréviation de *negative entropy*). Due aux recherches de Léon

11 - On est d'ailleurs en droit de considérer le principe de ces seuils d'admissibilité de risque légal comme immoral.

Brillouin<sup>12</sup> et de Claude Shannon<sup>13</sup>, cette grandeur se définit par les axiomes suivants :

- la quantité d'information est liée à la diminution de l'incertitude ;
- le degré de désordre est la mesure de l'incertitude ;
- toute information est liée à une diminution de l'entropie ;
- l'information mesure l'ordre et la connaissance du système ;
- l'entropie mesure à la fois le désordre et notre ignorance sur le système ;
- son négatif est la néguentropie.

Pour illustrer ce lien, prenons un exemple bien connu. Nous voulons nous marier en automne et, devant les incertitudes du temps, nous envisageons la location de tentes contre les excès du soleil (beau temps) *et* de poêles contre le froid (mauvais temps). Pour le confort de nos invités, nous utilisons le principe de précaution pour faire un choix relevant de l'incertitude. L'absence d'information conduit à mobiliser de multiples moyens, si nous voulons nous montrer de dignes hôtes. Cette mobilisation de moyens contribue à élever l'entropie du système (par l'augmentation de la matière et de l'énergie nécessaires pour atteindre les objectifs fixés). Ce n'est que lorsque l'information se précisera (le temps qu'il fera) quelques jours avant le mariage que les moyens pourront se resserrer (tentes *ou* poêles). C'est dans le « et » et le « ou » que réside le sens du couple information/moyens ou entropie/néguentropie.

Autre exemple qui se rapproche davantage de notre propos : un estivant souhaite faire construire une maison de villégiature sur la Riviera et s'interroge sur la taille que devraient avoir son séjour et sa terrasse. Ne sachant ni le

nombre moyen des futurs amis qui viendront lui rendre visite, ni s'ils souhaiteront généralement déjeuner abrités du soleil ou sous ses feux, notre client, si ses moyens le lui permettent, commandera des surfaces de séjour et de terrasse plus grandes que celles que l'information précise sur le nombre et le goût de ses amis conduirait à prévoir. Là encore, c'est l'incertitude sur l'information qui implique un choix surdimensionné de moyens utilisés. Cet exemple ne devrait pas avoir d'intérêt, s'il ne se répétait pas de manière systématique, contribuant à imperméabiliser jour après jour le littoral, avec les conséquences que l'on connaît. Car le raisonnement peut également s'appliquer aux parkings d'hypermarché, aux infrastructures routières (dimensionnées pour anticiper une croissance du trafic, même incertaine), aux sites industriels ou aux espaces publics en général.

Ainsi, ce principe d'incertitude fonde des industries humaines aussi variées que la plaisance et le camping-car (nous irons où le temps sera beau), l'hôtellerie de dimension mondiale associée aux transports de masse ou l'immobilier de loisir (échelle et lieux où nous aurons l'assurance du beau temps), pour lesquels le lecteur se fera une idée du bilan carbone. Nous pourrions étendre ces exemples, au-delà de ceux de la villégiature, en considérant les modes de vie fondés sur le nomadisme, les grandes migrations économiques ou les exodes humains pour des raisons écologiques. Les infrastructures nécessaires pour accompagner ces mouvements de populations peuvent être tantôt considérées comme élévatrices de l'entropie de la biosphère car redondantes, tantôt comme une réponse possible aux incertitudes liées aux caprices de la destinée (corrélation par le nomadisme entre précaution et niveau d'information ou néguentropie). Ainsi, dans le cas d'un cataclysme, si nous pouvions anticiper la date à laquelle il a une chance de se produire ou mieux cerner les zones incriminées, nous pour-

12 - Léon Brillouin, physicien français (1889-1969).

13 - Claude Shannon, mathématicien américain (1916-2001).



rions y opposer les mouvements migratoires nécessaires. De cette manière, le nomadisme ou la dérobade pourraient être des solutions envisageables face au comportement de la planète. C'est pourquoi nous pouvons parler d'urbanisme labile, c'est-à-dire qui esquivé l'incertitude, comme un escrimeur l'attaque. Lisbonne aurait-elle été construite à cet emplacement si les Portugais avaient pu connaître le risque, la période et l'ampleur du cataclysme de 1755?

On observe donc à la lecture de ces constats qu'il existe un lien étroit entre la réalité physique de la biosphère qui est l'objet de l'écologie et les concepts opérationnels qui pourraient répondre à ces problématiques. Ce lien, c'est le comportement de la biosphère, *associé* à la connaissance que nous pouvons en avoir. C'est donc bien une approche métabolique qui semble être une des pistes possibles pour unir plus harmonieusement anthroposphère et biosphère. Nous prétendons que la taille d'une terrasse, la conception d'un complexe hôtelier ou du système d'infrastructures d'une grande métropole sont des questions architecturales actuelles, car elles font face aux défis écologiques d'aujourd'hui<sup>14</sup>.

Ainsi, si nous reprenons l'exemple du site de Hangzhou que nous avons évoqué au chapitre « Flux », nous pourrions fonder nos propositions selon les solutions suivantes :

- recommander de ne pas y implanter une aire urbaine, constatant qu'elle se trouve dans le coude limoneux du Qiantang, traditionnellement sujet à de sévères inondations (choix politique fondé sur la connaissance par l'histoire) ;
- ou définir une infrastructure du territoire urbain sous l'angle de la question hydraulique, principalement sous mode courant (canaux) et paroxysmique (digues). Cette solution se fonde sur le constat que la zone peut être sinistrée, mais non pas subir un cataclysme ;
- ou prévoir les infrastructures nécessaires à une occupation temporaire du site en relation avec d'autres sites soumis à d'autres contraintes (ges-

tion politique par nomadisme sur un territoire élargi<sup>15</sup>) ;

- et/ou dédier la zone à une forme d'activité, humaine ou non, compatible avec les risques qu'elle fait encourir (politique de réserves biologiques ou de zones industrielles, par exemple).

Ainsi les réponses s'établissent-elles sur la base d'une prise de position en fonction de la nature et du niveau de l'information que nous possédons sur le comportement d'un territoire. Concevoir écologiquement, c'est autant connaître l'ADN de ce dernier que jouer avec le mimétisme qu'il inspire. Mimétisme dont nous allons parler maintenant.

## Infrastructures, forme et densité urbaine

En effet, bien qu'il faille répéter que nous ne voulons pas faire d'analogie directe entre urbanisme et organisme vivant, nous pouvons néanmoins, pour tenter de comprendre le fonctionnement écologique d'un territoire, décrire ce dernier en termes de métabolisme selon les modalités suivantes :

- la détermination de l'élément de base, appelé aussi élément discret, qui forme la ville ;
- les organes fonctionnels ou les infrastructures urbaines ;
- la forme et la densité de la ville ;

tous éléments constitutifs ou caractérisant la ville et fonctionnant ensemble selon un certain métabolisme, le métabolisme étant la propriété de maintenir des structures et des fonctions à travers un flux constant de matière et d'énergie.

14 - Plus qu'à la question de son style dans laquelle on la confine, le « on » incluant les architectes eux-mêmes.

15 - Nous en avons déjà eu un exemple avec l'éruption du volcan de la Soufrière (Guadeloupe) en 1976, avec le déplacement de soixante-quinze mille personnes durant plusieurs mois.



### L'élément de base de la ville écologique

Nous avons présupposé dans le chapitre « Flux » que le bâtiment était l'unité de base, constituant principal du tissu urbain. Mais cela tient probablement au fait que cette approche est celle de l'architecte et non pas celle de l'écologue. Pour ce dernier, ce qui compte, c'est l'élément ou l'unité qui détermine les *phénomènes* écologiques. Or, cet élément varie fortement selon le territoire étudié. Il peut prendre des formes et des tailles très différentes : champ, bois, lagune, marais, bocage, lande, rives, réseau hydraulique, ripisylve, etc., sont autant de milieux qui caractérisent un territoire et donc son fonctionnement écologique. Donc, si on étudie un milieu spécifiquement urbain, il faut préalablement définir les unités le constituant, dont la taille serait significative d'un point de vue écologique (un peu comme la cellule d'un organisme vivant).

Par exemple, si l'on étudie un petit bâti pavillonnaire, la cellule de base n'est pas le pavillon, insignifiant d'un point de vue écologique, mais un groupe significatif de pavillons (par exemple, un lotissement). En effet, si un seul pavillon clôturé son lot, l'imperméabilise en totalité ou est entretenu à grand renfort de produits chimiques, l'écologie générale du site ne s'en trouvera que faiblement atteinte. En revanche, si un lotissement de plusieurs hectares est confiné au cœur d'une enceinte écologiquement imperméable, s'il se trouve sur un site prépondérant en termes de biodynamisme ou si niche à son emplacement une espèce importante, l'écologie du site en sera fortement atteinte, surtout si le cas se répète alentour. Dans cet exemple, la cellule de base est le groupe de maisons ou une propriété d'une surface équivalente, et non pas la parcelle.

Autre situation à l'étude : quelle serait cette cellule de base dans un site comme la Défense

(Hauts-de-Seine, France)? Est-ce la tour, sachant que certaines atteignent une taille écologiquement critique? Est-ce le paysage physique qu'elles créent entre elles? Quel serait l'élément qui, additionné aux autres, formerait le bilan écologique du site? L'addition de bâtiments louables écologiquement parlant est-elle même la bonne opération arithmétique pour définir une géographie urbaine vertueuse? La juxtaposition d'éléments discrets qui ne seraient pas rassemblés par un algorithme spécifique ne décrit pas le fonctionnement d'un territoire.

On voit bien, au travers de ces deux exemples, que l'élément discret n'est pas nécessairement le bâtiment, mais une unité qui reste à définir au cas par cas selon les réalités écologiques du terrain. Ce qui pourrait nous amener à conclure que les efforts des architectes pour travailler la seule écologie de leurs bâtiments ne constituent pas nécessairement la solution la plus adaptée aux questions environnementales. On ne doit pas s'étonner de cela, car il paraît évident que l'aire d'influence d'un bâtiment<sup>16</sup> est généralement bien inférieure à celle du phénomène écologique urbain.

Mais il existe également des paramètres métaboliques qui différencient la biosphère de la ville :

- tandis que le monde vivant fonctionne fondamentalement selon des cycles (saisons, vie/reproduction/mort, etc.), la ville est destinée en principe à fonctionner de manière continue et sans fin de vie supposée ;
- le monde vivant s'autorégénère alors que la ville « s'entropise », selon les termes de Nicolas Georgescu-Roegen ;
- et, bien entendu, les cellules vivantes constituent un corps tendu par un seul but, celui de sa survie, tandis que la ville est faite de rapports socio-économiques entre partenaires, parfois aux visées antagonistes.

Dès lors, il ne s'agit pas de confondre la nature des fonctionnements respectifs de l'atmosphère et de la biosphère, mais de

16 - Sauf bâtiment d'exception comme une centrale nucléaire.

considérer leur *alliance* comme ayant des caractéristiques qui la rapprocheraient d'un métabolisme aux vertus écologiques.

### Infrastructures vivantes, infrastructures urbaines

Métaphoriquement, nous pourrions comparer les infrastructures qui supportent et innervent les cellules vivantes ou les bâtiments avec les liens qui unissent ces unités de base. Nous pourrions dire que ces liens forment une *matrice* qui sert de cadre aux cellules pour y vivre. Ces liens entre des cellules vivantes sont, selon les connaissances les plus récentes, très complexes et dépendent apparemment du type de cellules auxquelles nous avons à faire. Il semble aussi que plus nous descendons dans l'échelle microscopique, plus cette matrice devient complexe à comprendre. Réseau de déplacements de la faune comme les couloirs de migration, métabolisme digestif des mammifères, liens de mémoire et de transmission de l'ADN, correspondances quantiques unissant les particules, dimensions multiples au niveau ultime de la matière selon la théorie des cordes<sup>17</sup>, il semble que les infrastructures vivantes soient d'une complexité sans commune mesure avec celles qui structurent le cadre urbain que l'homme a bâti.

Mais, à l'inverse, les infrastructures humaines acquièrent un niveau de complexité à mesure qu'elles gagnent en taille. Simplement parce qu'elles sont pensées en tant que superpositions de systèmes, sans former nécessairement un ensemble cohérent entre elles. Listons principalement :

- les transports avec les réseaux routier, fluvial, maritime et pédestre, le réseau de transports collectifs (avion, train, transport urbain, etc.) et les équipements qui les accompagnent ;
- le réseau de distribution d'énergie depuis les lieux d'extraction et/ou centrales de production, postes de transformation jusqu'au maillage fin de desserte locale ;

- les réseaux de distribution de ressources (eau, alimentation, marchandises, etc.), dont certains ont un circuit informel car indépendant d'infrastructures fixes ;

- les réseaux de collecte de déchets, liquides, solides ou spéciaux, dont certains forment, avec le réseau viaire, la trame traditionnelle de la ville (égouts) ;

- les systèmes de communication qui, bien que délivrant des flux immatériels, n'en requièrent pas moins des équipements de production, de relais et de réception ;

- les réseaux obsolètes, mais dont les infrastructures sont laissées en place (parties des réseaux décrits précédemment, technologies désuètes comme le télégraphe, le pneumatique, les fortifications, certains câblages de télécommunication, etc.) ;

Cette rapide liste non exhaustive montre que la complexité de la matrice urbaine vient sans aucun doute de l'imbrication des infrastructures entre elles, sachant que certains réseaux peuvent supporter simultanément plusieurs flux ou fonctions (nous l'avons vu avec les réseaux d'eau, par exemple). Mais leur complexité vient aussi du fait que, contrairement aux milieux vivants, elles forment un *projet* dont la permanence et la rigidité reflètent le caractère construit. Dès lors, les interrogations d'un Stephen Hawking sur l'architecture du monde, d'un Teilhard du Chardin sur son destin ou d'un Jacques Monod sur son improbabilité ne peuvent réellement s'appliquer à ce monde anthropocentré.

Toutefois, il y aurait, nous l'avons vu, un grand intérêt à faire cohabiter les deux modes d'existence, en commençant par remarquer

17 - Théorie qui vise à rassembler les quatre forces physiques fondamentales identifiées à ce jour (gravité, électromagnétisme, forces nucléaires forte et faible).

leurs similitudes ou les convergences possibles entre eux. Nous en voyons au moins trois :

- les infrastructures tant biologiques qu'urbaines innervent un corps ou un territoire et canalisent des flux ou des influx. Elles ont donc pour la plupart une *forme linéaire* similaire. Cette similitude de forme est propice à des opportunités, par exemple les infrastructures de transport public en forme de rhizomes (système neuronal) conjoints avec des corridors écologiques permettant le déplacement d'espèces animales au sein de l'espace urbain ;
- les deux matrices ont une capacité commune d'auto-engendrement, évidente pour la matrice biologique, mais aussi pour la matrice urbaine. Ainsi, par le simple fait du dynamisme économique et humain, une ligne de transport ferroviaire qui aura créé une césure dans le territoire se verra progressivement franchie par des passages routiers à niveau, puis dénivelés (principe de précaution), par des passerelles piétonnes, passages à faune, réseau d'énergie, etc. Progressivement, un réseau d'infrastructures se développe pour suturer le territoire ;
- la forme concédée de développement économique de certains pays implique des baux à durée de vie annoncée (par exemple, un siècle pour un viaduc à péage), entraînant une réflexion accrue sur la durée de vie des infrastructures. Ces dernières se classent donc selon des longévités variables depuis l'infrastructure temporaire (les planches lors des inondations de Venise) jusqu'à celle dont l'existence structure la ville (métro, égout, par exemple). Cette notion d'espérance de vie rapproche les infrastructures urbaines d'un mode de fonctionnement biologique.

Ainsi, les deux matrices, écologique et urbaine, pourraient se dissoudre pour n'en former qu'une. Certaines tentatives ont déjà été élaborées, au moins virtuellement (l'exemple du rhizome transport/corridor écologique ci-dessus). Mais nous avons vu, au chapitre « Biodynamisme », que l'analogie entre les deux sys-

tèmes trouvait vite ses limites, puisque, dans le cas précité, les naturalistes parlaient plus en termes d'aires de vie et d'influence qu'en termes de couloirs de déplacement de la faune. Ces tentatives sont cependant louables et montrent qu'elles sont rendues particulièrement actuelles par la question écologique. Enfin, il nous semble que ces rapprochements entraîneraient *de facto* au moins deux conséquences urbanistiques qui méritent d'être évoquées :

- la question du démantèlement des infrastructures est posée tant par l'analyse de leurs cycles de vie requise par une conception écologique (voir chapitre « Cycles ») que pour des raisons de labilité du territoire ;
- faute de leur démantèlement, ces infrastructures devraient pouvoir évoluer au gré des progrès techniques ou des besoins humains (croissants, décroissants ou nuls), ce qui implique lors de leur conception d'avoir intégré d'emblée cette capacité<sup>18</sup>.

Ces deux faits urbains, en apparence mineurs, pourraient constituer une évolution majeure du développement urbain.

### Densité et forme

La question des infrastructures est importante, car on la corrèle souvent avec celle de l'étalement urbain. Ainsi, les environnementalistes en général – citons Aurélien Boutaud en particulier – font de la densité (rapport entre volume de population et surface qu'elle occupe sur un territoire) une des conditions de l'aménagement soutenable (avec la mixité des fonctions, la qualité du bâti et le polycentrisme)<sup>19</sup>. Ce type d'analyse se fait souvent dans le cadre des processus fonctionnels urbains actuels, lesquels reposent principalement sur une externalisation des centres de production des ressources et de traitement des déchets, ainsi que le montre la figure 13 du chapitre « Flux ». De cette manière, l'étalement urbain avec cette configuration entraîne nécessairement un allongement des circuits infrastructurels.

Or, dans une double critique de l'*exurb*<sup>20</sup>, critique qui inclut à la fois la question écologique (étalement urbain) et la question sociologique (culture *mainstream*<sup>21</sup>), les approches les plus courantes se réfèrent à une vision de la ville qui se rapproche souvent de celle dont parle l'architecte Rem Koolhaas dans un article intitulé « La ville générique »<sup>22</sup>. Il y note que la mondialisation, le développement des infrastructures de transport et l'homogénéisation des modes de vie conduisent à une réorganisation des territoires de la ville. Entre autres exemples, il décrit les pôles d'échange que sont les aéroports, pôles qui endossent toutes les fonctions historiques des centres-villes, tandis que ces derniers se muséifient et se vident de leur fonction d'« agora ». Ces pôles portent l'ancienne vocation du territoire en même temps que les travers de la ville générique : caricature de l'architecture régionale, fonctionnalisme aride, glorification de l'offre de mobilité, etc. Curieusement, on assiste à l'alliance implicite de cette ville générique avec la recherche d'une très haute densité, alliance qui engendre un modèle à notre avis très incompatible avec une écologie urbaine viable.

Nous retrouvons ce dogme sur la densité de manière systématique dans de très nombreuses réflexions, comme celle qui porte sur le devenir de l'agglomération parisienne. Cette aire géographique attire, par un centralisme français encore très fort et un réseau d'infrastructures dense, une population croissante, en dépit d'une densité déjà élevée (et même une des plus fortes du monde, s'agissant de Paris *intra muros*). Cet afflux migratoire finit par saturer les capacités des infrastructures que les forces politiques et économiques ont alors tendance à renforcer (futur métro du Grand Paris). Cette augmentation de l'offre infrastructurelle va augmenter à son tour l'attractivité temporaire de l'aire urbaine et créer un appel supplémentaire de populations. Cette dynamique va donc entraîner un accroissement de la densité, den-

sité que l'on continue de présenter comme une condition *sine qua non* du développement durable, même aux limites de la congestion perpétuelle.

On est donc contraint de se poser la question des conséquences de ce processus qui pourrait conduire inexorablement, d'une part, au bétonnage définitif de la région, d'autre part, à des phénomènes sociaux qui semblent l'accompagner, comme l'ultraviolence urbaine de Karachi ou de Mexico, le trop-plein de déchets de la ville de Naples ou le terreau épidémique de Hong Kong (SRAS). Par conséquent, il nous semble que les architectes qui s'intéressent à l'écologie ne devraient pas seulement se poser la question de « comment préserver l'environnement ? », mais aussi celle de « comment préserver l'environnement *et* offrir une chance raisonnable de pouvoir y vivre harmonieusement ? ». Dès lors, à moins de considérer les bidonvilles de Calcutta, Mumbai ou Delhi comme des projets humains viables ou même les tours de Hong Kong comme la réponse universelle à la question de l'habitat, il faut bien aborder cette question de la densité autrement que comme un chiffre brut ou comme la *doxa* environnementaliste.

18 - Sur ces deux conséquences, voir le deuxième projet du livre 2.

19 - Aurélien Boutaud, « L'empreinte écologique des villes », *Entropia*, n° 8, printemps 2010.

20 - L'*exurb*, littéralement *extra-urban*, est une forme de ville, principalement américaine, qui se développe par étalement de la trame urbaine sur un territoire naturel.

21 - *Mainstream*, contraction de *mainstreet* et *dream*, pour décrire la culture de masse américaine.

22 - Rem Koolhaas, « La ville générique », 1994 ; traduction française in Collectif, *Mutations*, coédition Arc en rêve – Centre d'architecture (Bordeaux) et Actar (Barcelone), 2000, p. 722-757.

Pour ce faire, il faut introduire dans notre réflexion la question de la forme de la ville. Le sujet remplissant des bibliothèques universitaires, nous prendrons seulement deux exemples de villes qui ont une densité similaire (entre quatre et cinq mille habitants par km<sup>2</sup>) : Florence (Italie) et Hong Kong (Chine). La première est constituée par un bâti historique de quelques étages, principalement organisé autour de ruelles et de cours. Son tissu urbain est homogène (similaire et continu). Cette forme conduit à un linéaire de façade très élevé qui permet les échanges de toute sorte : commerciaux, rapports humains, apports en ressources naturelles, etc. Or, nous savons que la capacité d'échanges est une des conditions d'un métabolisme puissant. La seconde, Hong Kong, est formée principalement d'immeubles étroits à nombreux étages sur un territoire très contraint. Cette configuration implique une artificialisation des supports d'échanges physiques (moyens techniques de confort) et une virtualisation des échanges sociaux (moyens techniques de communication). Son fonctionnement est donc très tributaire des moyens technologiques sur lesquels il repose. On comprend que le métabolisme de ces deux villes à la densité presque identique est très différent et que leurs capacités respectives à en confondre les caractères biologiques et urbains sont très inégales. Ainsi la forme de la ville est-elle un paramètre écologique dans la mesure où elle décrit la nature des échanges de toutes sortes. Notons au passage que le plan Voisin pour Paris de Le Corbusier formait le projet de passer du premier type de métabolisme au second.

Dès lors, la densité urbaine est un des « paramètres » écologiques à prendre en compte, mais n'en constitue pas l'alpha et l'oméga, comme on a l'habitude de la présenter. La complexité de la question du métabolisme urbain impose, en fait, une redéfinition profonde des dimensions que nous avons évoquées (grandeurs, dynamique, forme, échelle consi-

dérées). L'écologie devient un « fait urbain » au sens qu'Aldo Rossi lui a donné, fait qui fonctionne autant sur des « algorithmes écologiques » que sur les formes complexes qui en découlent. L'emploi du terme « métabolisme » se justifie alors par le fait que la ville écologique acquiert une dynamique vivante. Là où l'on parlait de vocation ou de récit, comme pour Athènes, idéal démocratique, ou pour Rome, ville impériale, puis ecclésiastique, on parlera de métabolisme : naissance, vie, maladie, accidents, alliances, engendrement, santé, mutations, vieillesse, mort parfois, etc. Les exemples de villes à chacune de ces étapes ne manquent pas.

Ainsi, chaque ville semble porter son propre destin qui se confronte aujourd'hui aux questions écologiques. Les réponses sont donc naturellement aussi nombreuses que les interrogations, mais nous pouvons quand même essayer de tirer les enseignements de ces questions formelles et liées à la densité urbaine. Il nous semble que nos efforts de réflexion devraient alors se porter sur les deux pistes suivantes :

- *la pulvérisation du territoire* : réservant les déplacements de population aux seules circonstances catastrophiques et encourageant les hommes à se lier à leurs terres d'origine, l'aménagement du territoire pourrait se développer par pulvérisation au sens que Jean-Jacques Rousseau suggérait, par exemple dans *Le Contrat social*<sup>23</sup>. Le territoire doit alors trouver en lui-même ses propres ressources pour se développer et vivre. L'échelle des organisations territoriales – et le type de connections entre elles – compte donc au moins autant que leur forme, qui dépend du type de territoire autant que de leur densité, celle-ci dépendant elle-même des conditions démographiques du continent. Nous pouvons citer à ce titre les efforts d'architectes comme Alejandro Stein et Monica Wehrle<sup>24</sup> qui travaillent en Inde et en Haïti à définir la production de bâtiments à la

manière des microéquipements de production d'énergie ou d'assainissement et dans les conditions très spécifiques de ces lieux ;

- *le tissage des milieux*: sur la base des travaux de Gilbert Simondon, Chris Younès<sup>25</sup>, actant le fait que les technologies sont indissociables du milieu dans lequel elles s'exercent, décrit une ville écologique qui serait composée de milieux, eux-mêmes composés d'objets technologiques évoluant en leur sein. Pour préciser le tissage qui pourrait s'élaborer entre eux, elle parle ainsi de *transmilieux* qui formeraient le tissu de la ville. Cette approche est intéressante pour nous dans la mesure où elle mêle simultanément technologies, infrastructures et, implicitement, formes pour construire un « plasma urbain » qui aurait les caractéristiques d'un tissu vivant.

## Conclusion

C'est pourquoi nous avons cité en préambule Stephen Hawking et Leonard Mlodinow qui, parallèlement à leur travail scientifique, s'interrogent sur ses implications. Dans certains domaines scientifiques (cosmologie, biologie, médecine, etc.), la recherche en est à un point où elle éprouve le besoin de s'interroger sur des sujets qui, faute de réponse, la brideraient (éthique, épistémologie, existence même de la discipline, etc.). Ainsi, il subsiste aujourd'hui quelques grands mystères : topologie de l'Univers et de la matière, origine de la vie, sens de l'existence humaine, etc., que les Hommes cherchent à percer. Or, ces mystères et leur élucidation concernent tous peu ou prou notre monde vivant, hommes inclus. C'est pourquoi la responsabilité de ceux qui, comme les architectes, le développent est double : produire *et* comprendre.

Comme les scientifiques, les architectes doivent maintenant s'atteler, concomitamment à la production de leurs projets, à cette double tâche qui pourrait se résumer par la question suivante : « Sur quels principes et selon quelles formes écologie et développement urbain doivent-ils s'accorder pour générer des espaces qui répondent à des enjeux désormais clairement identifiés ? »

C'est la question à laquelle le chapitre « Matrices » va tenter de répondre. ■

23 - Jean-Jacques Rousseau, *Le Contrat social*, 1762.

24 - Alejandro Stein et Monica Wehrle, architectes vénézuéliens.

25 - Chris Younès, *Milieux, transmilieux, motifs*, Recherche architecturale et urbaine, Ministère de la Culture, 2011.