

Brève thermodynamique de l'architecture

Colloque en hommage à François Roddier - Le tourbillon de la vie – 6 juin 2025

François Roddier

LE TEMPS D'APPRENDRE

Thermodynamique de l'évolution

Un essai de thermo-bio-sociologie



« Nourrie jusqu'ici par les énergies fossiles, sorte de lait maternel fourni par la Terre qui l'a engendrée, l'humanité a pu se développer. C'est bientôt l'épreuve du sevrage.

Devenue adulte, elle va devoir apprendre à se nourrir par elle-même. L'humanité réalisera alors que, seule, l'énergie solaire peut assurer sa survie à long terme. »

François Roddier
Thermodynamique de l'évolution

Energie Matière Architecture

Raphaël Ménard

Doctorat par VAE
Encadrant, Robert Le Roy
Accompagnateur, Marcel Pariat



énergies légères

Raphaël Ménard

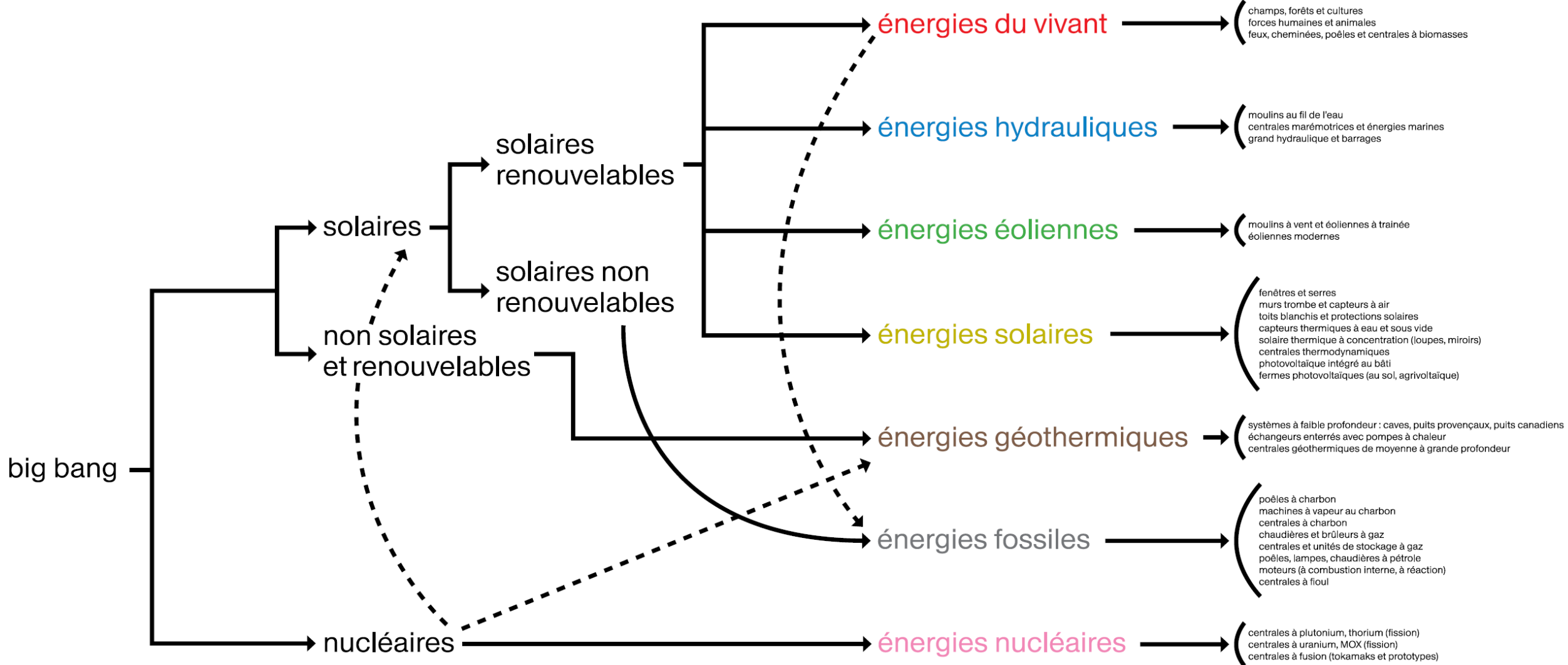


Design graphique : Building Paris
Format : 25 x 30 cm
248 pages - 150 illustrations

Langue : Français/ Prix : 34€
ISBN : 978-2-35487-074-4

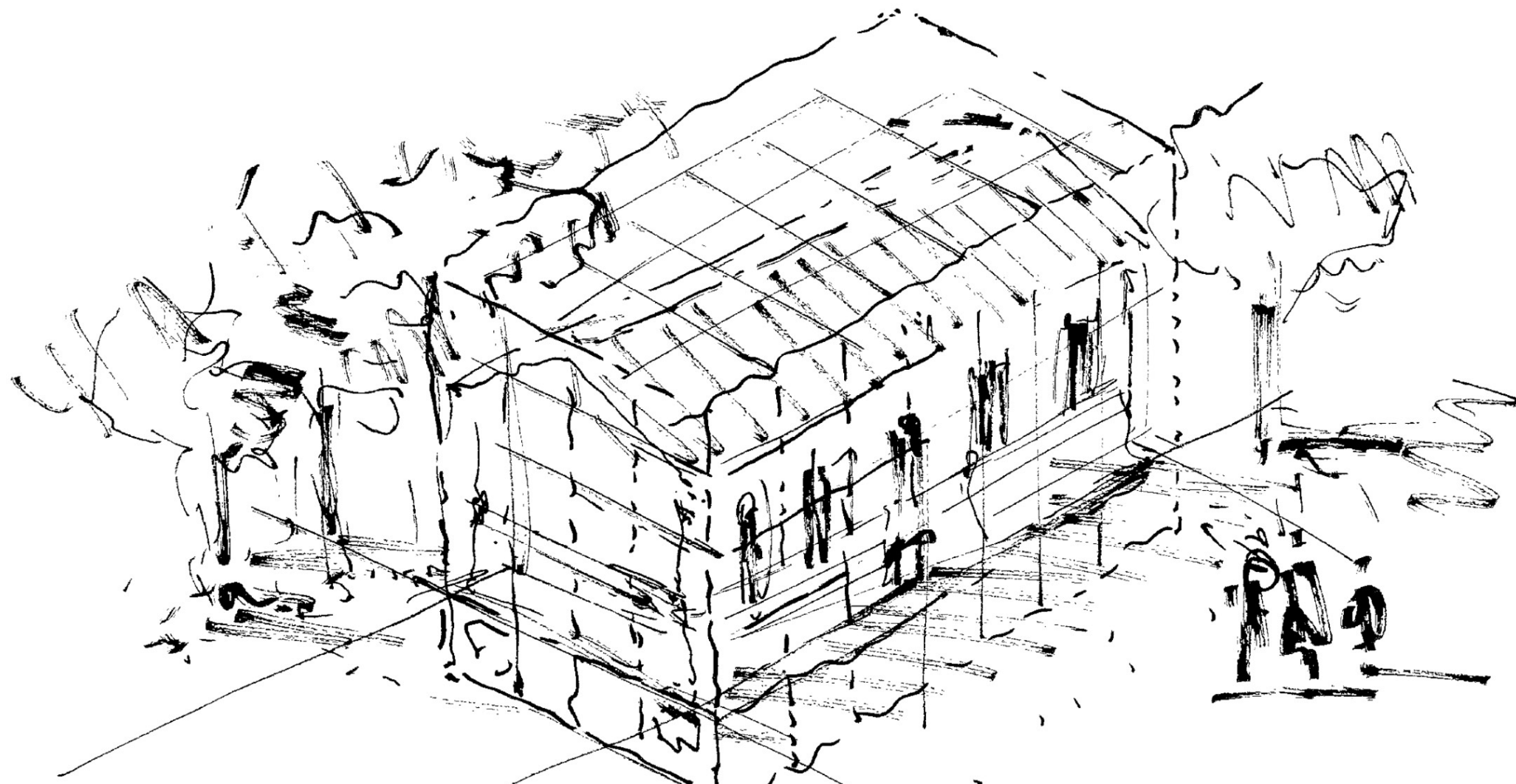




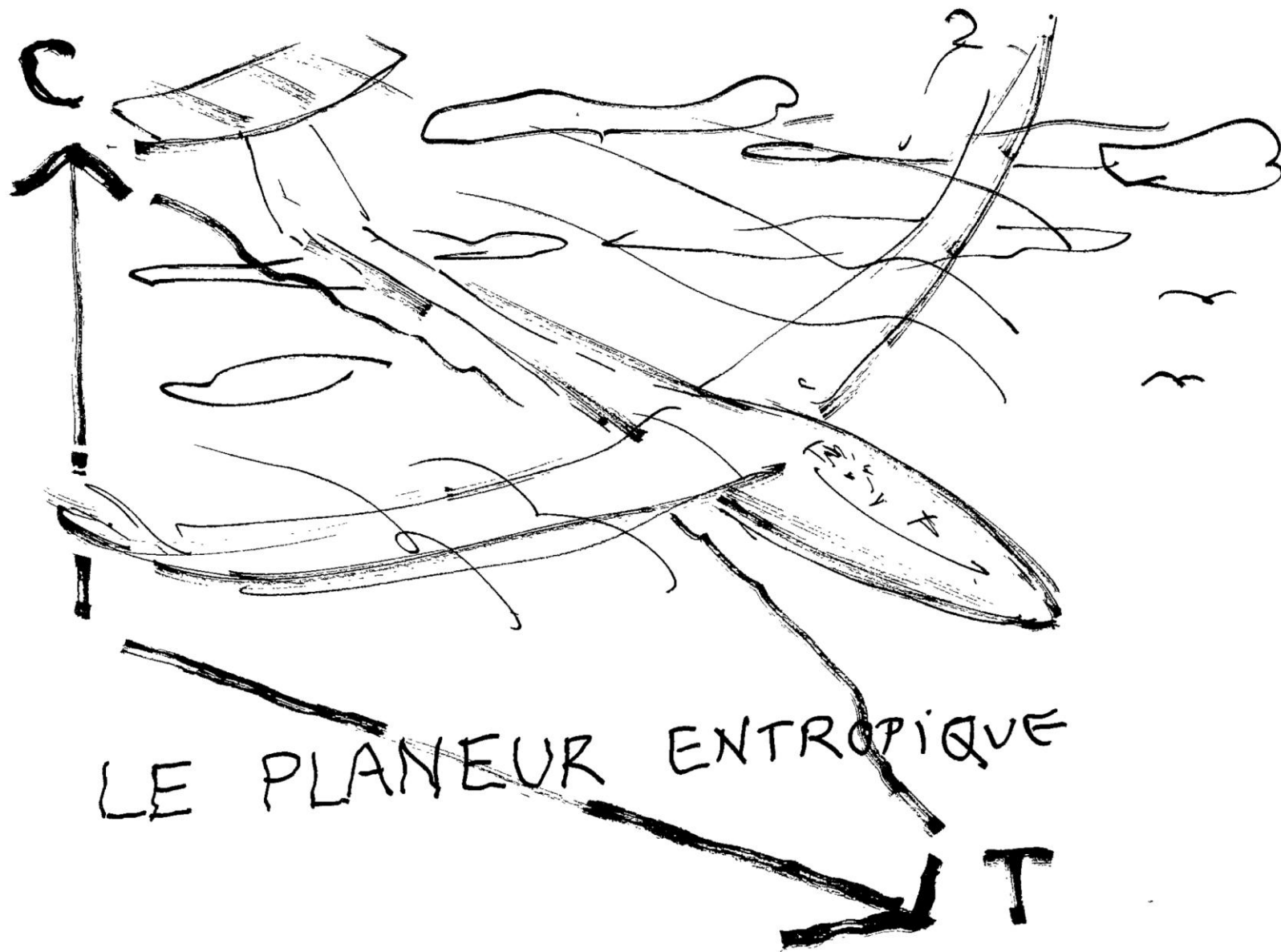




Zone d'exclusion de Tchernobyl, Smaragd/Emerald, ancien camp d'été, novembre 2017 © Jorge Franganillo



LE CODE CONSTRUIT



Brève thermodynamique de l'architecture

Raphaël Ménard

Colloque en hommage à François Roddier - Le tourbillon de la vie – 6 juin 2025

Dettes constructives

L'architecture à l'épreuve de l'entropie

texte et illustrations Raphaël Ménard

Pour Auguste Perret, « *l'architecture, c'est ce qui fait de belles ruines* ». Comme les êtres vivants, les constructions sont soumises aux lois du temps. Comment appliquer celles de la thermodynamique au « code construit » de l'architecture pour lui donner une nouvelle légèreté ?

Commençons par une expérience de pensée : la construction d'une maison. Le chantier vient de finir. L'architecture est élégante, les finitions de qualité, les détails soignés. Pendant des mois, pour bâtir cet édifice, les artisans ont patiemment ordonné les matériaux suivant les plans du maître d'œuvre. À présent, les habitants vont prendre possession des lieux. Le chronomètre, celui qui va échelonner l'usure de cette construction, est enclenché. Livraison, remise des clés : top départ, le temps commence son œuvre. Petit à petit, çà et là, le désordre sapera les qualités de l'édifice : la peinture qui s'écaille, le bardage qui s'élime, la serrurerie qui se corrode... Un rythme de dégradation qui sera propre à cette maison.

Le métronome de l'usure

Sa trajectoire d'obsolescence se conclura par la ruine ou par la démolition. Ainsi va la flèche du temps : le passage discret, régulier, impitoyable de la faux du désordre. Selon l'exposition aux éléments (intempéries, cycles de gel-dégel, l'eau et ses débordements, mouvements de terrain, séismes) ; selon les frottements des usages (chaussures limant les marches de l'escalier, ouvertures-fermetures quotidiennes des volets) ; selon le vieillissement de chaque matériau (joints en caoutchouc qui durcissent, métaux ferreux qui rouillent) ; au gré des passages du vivant (champignons, insectes, rongeurs, déjections d'oiseaux) ; au rythme des expositions (ultraviolets, oxygène de l'air) : tout sera usure.



Zone d'exclusion de Tchernobyl, Smaragd/Emerald, ancien camp d'été, novembre 2017 © Jorge Franganillo

Architecture et irréversibilité

L'architecture vit tel un corps, fabriqué par le vivant, usé par le temps. La livraison signale le départ, puis la perte progressive du « code construit ». Ce moment est l'apothéose avant la lente dissolution de l'ordonnancement. Cette abrasion, celle de la flèche (lime ?) du temps, pourra être retardée par le soin apporté à l'édifice : entretien régulier, maintenance des systèmes techniques, etc. Cet article tentera d'établir un pont entre architecture et thermodynamique, discipline de l'irréversibilité. Il s'attachera à esquisser la nature des échanges entre ordre et désordre pour une construction. Système ouvert, l'édifice échange de l'entropie avec son environnement en captant de l'ordre dans les ressources et dans le flux solaire. Ce sera l'une des clés de la longévité et nous y reviendrons plus loin.

Le déclin de l'ordre bâti

Comment mesurer la descente vers le désordre ? Comment estimer par exemple le vieillissement d'un bunker sans entretien ? Comment calibrer la dégradation de la ville ukrainienne de Prypiat, cité fantôme depuis 1986 après la catastrophe de Tchernobyl ? Hors de ces situations d'abandon, on pourrait estimer l'effort de guerre nécessaire pour lutter face aux ravages du temps : par le truchement de l'économie, on suivrait les dépenses d'entretien ; les temps humains aussi, valorisés économiquement ; le tout corrigé en devise constante.

Au-delà d'une approche comptable, à savoir l'argent dépensé chaque année pour entretenir l'édifice, saurait-on mesurer l'usure sans la tutelle de l'économie, sans les béquilles des flux monétaires ? Comment estimer la dégradation des choses ? Sur le cycle de vie global, comment mettre en balance la dette écologique d'une construction au regard de son usure ? Comment mieux investir (écologiquement parlant) en intégrant d'un côté les limites planétaires, et de l'autre, l'inconstance des usages et l'incertitude du futur ?

Quelques usures

L'usure d'une montagne

Avant d'essayer de rapprocher économie et thermodynamique, l'astrophysicien Hubert Reeves, dans son livre *Poussières d'étoiles* (1988), nous propose une mise en perspective cosmique en confrontant forme géologique, usure anthropique et durée astronomique. Il rappelle la légende d'un moine bouddhiste qui, chaque siècle, frotte le sommet du mont Everest avec son mouchoir de soie. Par ce geste régulier, le temps nécessaire pour que la montagne soit entièrement érodée correspondrait à peu près à l'âge estimé de l'univers, plus de 13 milliards d'années. Le souffle de l'usure conduit inexorablement à la disparition des formes, y com-

pris les plus robustes. Aujourd'hui, le dérèglement climatique génère une érosion accélérée des reliefs naturels et engendre des dégradations violentes et brutales des territoires. Rappelons-nous les incendies de Los Angeles aux États-Unis ou les inondations à Valence en Espagne.

L'usure d'une voiture

À l'échelle de nos vies, dans des situations plus ordinaires, nous sommes confrontés à l'estimation de l'usure des choses. Celle par exemple d'une voiture d'occasion dont la valeur est fortement dépendante du kilométrage, et dans une moindre mesure du millésime. Un mix entre l'usage (la distance parcourue) et la vétusté (points de rouille du châssis, craquelures des durites). Évidemment, les preuves d'attention (carnet de révision complet, stationnement abrité, conduite non brusquée) sont autant d'informations valorisant l'état de santé du véhicule. Pour d'autres biens, comme les appareils photo, le compteur du nombre de déclenchements est l'un des paramètres pour estimer la cote d'un boîtier de seconde main : son indicateur kilométrique en quelque sorte, son compteur d'usages.

f(énergie, matière, information) = € ?

En amont de l'usure, lorsque nous fabriquons ou construisons, nous empruntons un capital écologique pour des usages futurs : des ressources, des consommations d'énergie, des impacts sur les écosystèmes. L'économiste Thomas Piketty rappelle : *« Mieux comptabiliser le capital naturel est un enjeu central. La dégradation du capital naturel est un risque autrement plus sérieux que tout le reste. Cela est la véritable dette. »*

Cet enjeu macro-économique se transpose à plus petite échelle. Moderniser sa maison, bâtir une infrastructure, réparer sa voiture : cela réclame des composants (une fenêtre, des banches de coffrage, un pot d'échappement) ; des matériaux (verre, sable, métaux) ; des consommations d'énergie liées à ces processus matériels : extraire, déplacer, transformer, mettre en œuvre la matière (ce que l'on appelle l'énergie grise).

Ces processus réclament du temps : des prestations intellectuelles (maîtres d'œuvre par exemple), des savoir-faire des artisans, industriels, logisticiens, etc. L'agrégation de tout cela, cette consolidation d'énergie, de matières et d'informations est synthétisée dans une métrique très usuelle : l'argent. Pour la reconstruction de Notre-Dame de Paris, nous retenons les 800 millions d'euros qui ont été dépensés pour les travaux ; moins la masse totale des poutres en chêne (et de bien d'autres

matériaux) ; ni le cumul des temps humains investis ; ni les dépenses énergétiques nécessaires pour scier, transporter, ordonnancer les composants ressuscitant la cathédrale.

Petite thermodynamique de l'architecture

Le code de la civilisation thermo-industrielle

Avant de mettre économie et thermodynamique autour de la table, un court rappel est nécessaire. La thermodynamique est une branche relativement récente de la physique. Elle étudie le comportement thermique des corps et les mouvements de chaleur. Cette discipline a connu son essor au cours du XIX^e siècle, savoir fort utile à la mise au point des machines thermiques et pour la chimie industrielle. Cette branche, qui a théorisé la notion d'irréversibilité, a entraîné l'histoire dans sa spirale thermo-industrielle.

En effet, en 200 ans, la consommation d'énergie a été multipliée par 30 ; l'extraction de ressources au moins par 15 tandis que nous sommes huit fois plus nombreux. Parmi les contributions scientifiques majeures des Carnot, Clausius, Gibbs, Kelvin, Boltzmann, on retient le brevet de la machine à vapeur par Watt (1784), considéré par certains historiens de l'environnement comme l'an zéro de l'Anthropocène. Voilà comment quelques bits d'information (le brevet et les savoirs associés) sont capables d'engendrer une avalanche de consommation d'énergie et d'extraction de matières.

Entropie et rangement de chambre

Comment compter l'irréversibilité ? Comment mesurer ordre et désordre ? Une clé de voûte de la thermodynamique réside dans son second principe. Dans un système fermé, l'entropie augmente avec le temps. En effet, impossible qu'une tasse cassée se recompose d'elle-même. Aucune chance que l'eau tiède se recombine en deux volumes, avec de l'eau chaude d'un côté et de l'eau froide de l'autre.

Ordonner, classer, ranger réclame de l'énergie libre (on parle aussi d'exergie). Lorsque nous entretenons ou réparons un bâtiment, nous apportons de la « néguentropie », autrement dit de l'entropie négative pour combattre la pente naturelle du désordre. « *Diminue s'il te plaît l'entropie de ta chambre* » serait une autre façon d'inviter votre adolescent à ranger son antre, en tentant de réveiller son énergie libre...

La Terre, jeu de construction à (dé) ranger

En dézoomant à l'échelle planétaire, pourrions-nous mesurer l'entropie de la biosphère ? Dans *Thermodynamique de l'évolution* (Éditions Parole, 2012), François Roddier rappelle que la Terre est un système ouvert du point de vue de l'énergie : elle reçoit de façon permanente de l'énergie libre du soleil. Notre planète est en revanche un système quasiment fermé côté matière, hormis les quelques chutes de corps célestes – *Don't look up!*

Dans le film de Ridley Scott *Seul sur Mars* (2015), l'astronaute Mark Watney fait l'expérience d'un système ouvert à l'énergie, mais fermé à la matière. Depuis sa base martienne échouée, pour survivre et s'alimenter², notre Robinson Crusoe spatial apprend à ne rien perdre de ses exutoires corporels. Sous sa serre martienne, grâce au flux solaire, il parvient à recycler urine et excréments en patates comestibles.

Ainsi, la matière peut « tourner ». Sur Terre, nous sommes huit milliards de Mark Watney. La quasi-intégralité des composants étaient présents lors de la formation terrestre, il y a plus de quatre milliards d'années. Ces *poussières d'étoiles*, atomes et molécules simples sont les briques du jeu de construction de la vie : hydrogène, azote, oxygène, carbone, silicium, calcium, etc. Nous tentons d'être « circulaires » – malheureusement, avec beaucoup moins de sobriété que l'astronaute Watney, et une piètre conscience des conditions de soutenabilité.

La construction comme une phrase de matériaux

Pour mieux saisir cet entrelacement énergie-matière-architecture, imaginons un enfant concentré sur son jeu de construction. Les briques sont éparpillées par terre. Pour construire son modèle, il puise un peu d'énergie dans son métabolisme. Distinguer la bonne brique, la saisir, l'enclencher sur une autre. Pour diriger ce projet en miniature, il lui faut une séquence d'informations : celles issues de son imagination ou de la notice de montage. L'enfant est à la fois maître d'œuvre et entrepreneur, tel un maître-bâtitteur au temps des cathédrales. Il est le chef d'orchestre entre la matière (les briques), l'énergie (son corps) et l'information (la notice et son cerveau).

À plus grande échelle, la trilogie est analogue : énergie-matière-information. D'ailleurs, pourrions-nous estimer la valeur d'une construction en bits (plutôt qu'en euros) ? Depuis nos lunettes de thermodynamicien, l'architecture est un « état arrêté de la matière ». Sa matérialité s'est révélée par l'apport

d'énergies tout au long du processus constructif et par un « code » – au sens cybernétique du terme – conçu par le maître d'œuvre et précisé par les savoir-faire des entreprises. L'édifice est ainsi un code construit (que nous notons *C*), un ordonnancement matériel savant. L'architecture est une « phrase de matériaux », habitable, plaisante, reflet de son époque. Pour Jean Nouvel, « *l'architecture est la pétrification d'un moment de culture* ».

“How much does your building weigh? [Mr. Shannon]”

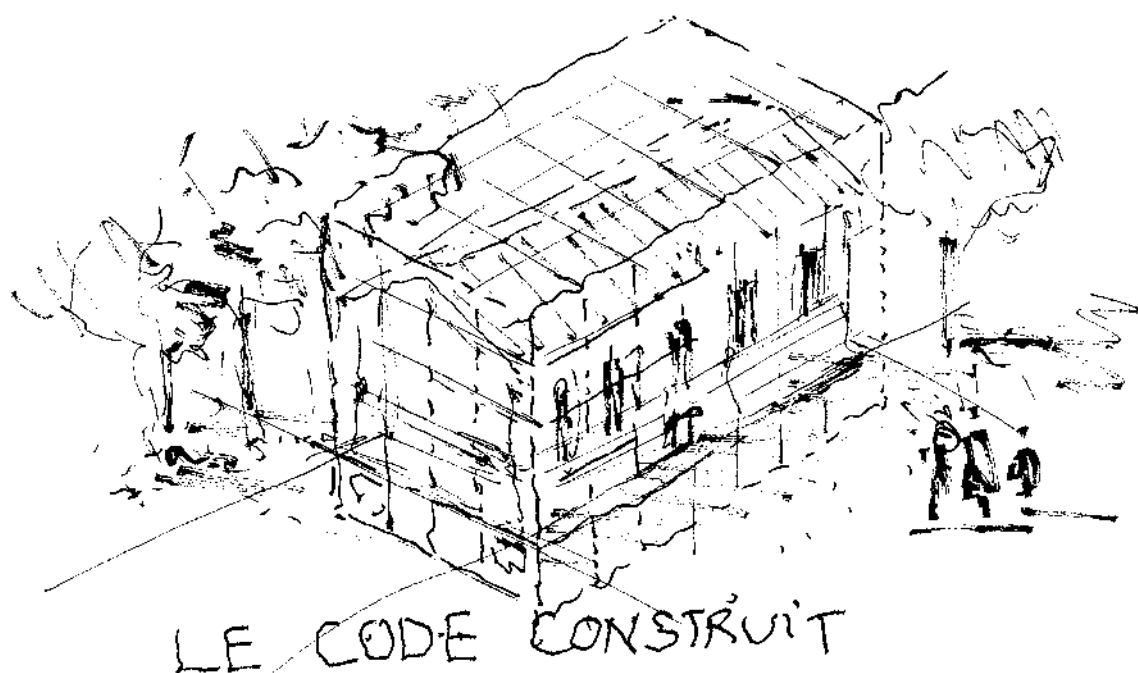
Si l'architecture est un code, le temps opère des mutations, tout comme il agit sur le génome du vivant (ADN ou ARN cellulaire). À présent, nous retournons à notre maison du début pour tenter de la coder. Plaçons autour d'elle un parallélépipède qui l'englobe : 10 mètres de longueur, 5 en largeur et 6 en hauteur (5 mètres d'air et 1 mètre de sol pour les fondations). En tout, 300 mètres cubes. Pour traduire notre maison en génome (*C*), une méthode triviale consiste à caractériser le contenu de chaque mètre cube : masse, composition matérielle, état de vétusté. Une liste de 300 lignes de spécifications, transcription grossière préliminaire.

En découpant en cubes centimétriques, la résolution s'affine. La liste comporte désormais trois millions de lignes (et beaucoup ne caractérisent que la présence de l'air). En passant au millimètre, nous aurons trois milliards de lignes. Sans compression de l'information – pourtant, toutes ces lignes d'air ! –, si chaque ligne résume l'état de la cellule avec une dizaine de lettres (une dizaine d'octets environ), notre maison pèse environ 30 Go. Pour affiner *C*, on pourrait soupeser les données du dossier de consultations des entreprises ou le dossier des ouvrages exécutés. Peut-être quelques centaines de Mo, soit un épisode de votre série préférée. Des chercheurs en cybernétique sauraient probablement bien mieux définir le codage pertinent pour notre maison.

Permutations et mauvaises copies

Face à l'usure, quelle est la dynamique temporelle du code construit (*C*) ? Avec le temps, des erreurs dans le remplacement de certaines séquences du code (des substitutions malencontreuses lors d'une réparation, une arrivée d'eau mal fermée, un mégot mal éteint...) pourront produire une avalanche de désordre, telle la mutation génétique générant une tumeur dans un organisme vivant.

Le jeu de cour de récréation le « passe-parole » illustre la dégradation progressive d'un message au cours du temps : du bruit ajouté à un signal lors



d'une transmission. Pour le comprendre, si j'effectue une permutation entre deux lettres du prénom *Raphaël* en échangeant *a* et *ë*, j'obtiens *Rëphaal*. Deuxième étape : une érosion, la perte du *p* (telle une gouttière se détachant d'un toit) et le code *rëhaal* devient rapidement inintelligible sauf si *rëhaal* est un mot dans une autre langue, mais qui désignera probablement autre chose ! La réhabilitation d'un patrimoine architectural qui ne suivrait pas bien les recommandations de l'expert pourrait subir un sort analogue. Encore faut-il savoir décoder les qualités du déjà-là.

Au cours de sa vie, notre maison joue chaque seconde au « passe-parole » avec son environnement. Et si la perte annuelle de son code initial *C* est de 5 %, il n'en restera plus que 8 % au bout de 50 ans ($C_{50}/C = 8\%$)... Si l'usure est plus faible, par exemple de 1 % par an, le reliquat sera de 60 % après 50 ans (et de 37 % après un siècle).

La thermodynamique : une économie de l'usure ?

Théories économiques et limites planétaires

Pour limiter l'érosion, le soleil fournit une ressource illimitée d'entropie négative à la biosphère, et donc une source permanente pour compenser les pertes du code. Malheureusement, depuis deux siècles, nous consommons du « solaire ancien », les énergies fossiles, stocks de biomasse datant de millions d'années. Aujourd'hui, charbon, pétrole et gaz représentent 80 % du mix mondial et nous payons cher les désordres (émissions de GES, pollutions...) associés à l'extraction, à la transformation, à la combustion permettant d'utiliser l'énergie libre de ces hydrocarbures. Avidité siamoise, l'extraction massive des ressources minérales participe aussi grandement à la crise écologique.

En économie, cette entropie énergie-matière n'est pas intégrée dans les théories classiques. Ces dernières gouvernent pourtant les politiques publiques depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, avec le PIB comme compte-tour du tableau de bord de l'Anthropocène. Ce compteur nous pousse à faire rugir

le moteur thermo-industriel, en accélérant notre consommation de néguentropie non renouvelable. Pourtant, des travaux ont alerté sur l'urgence de freiner et ont invité la biosphère dans les modèles. En 1972, la publication des *Limites à la croissance* (aussi appelé le rapport Meadows) fut un pavé dans la mare, confrontant les prospectives économiques au métabolisme global (intrants, stocks et exutoires). À partir des simulations du modèle World3 (*lire page 82*), ce texte illustre les conséquences désastreuses du développement humain s'il ne tenait pas compte des limites planétaires. Dans *The Entropy Law and the Economic Process* (Harvard Univertisty Press, 1971), l'économiste Nicholas Georgescu-Roegen chahutait aussi l'économie classique en réintégrant les processus biophysiques : « *La thermodynamique et la biologie sont les flambeaux indispensables pour éclairer le processus économique (...) la thermodynamique parce qu'elle nous démontre que les ressources naturelles s'épuisent irrévocablement, la biologie parce qu'elle nous révèle la vraie nature du processus économique.* »

Dépréciation et amortissement

Dorénavant, comment (re)construire quelques ponts entre l'économie, l'entropie et le projet ? En commençant par placer notre stéthoscope thermodynamique sur quelques notions courantes. Par exemple l'amortissement, outil comptable qui permet d'étaler la perte de valeur sur la durée. De fait, la dépréciation d'un bien est un processus généralement irréversible. L'effort requis pour maintenir sa valeur (maintenance, rénovation, remplacement) peut être comparé à l'énergie libre nécessaire pour réduire l'entropie d'un système. L'amortissement est en quelque sorte la « lime » de la valeur, le « mouchoir de soie » qui caresse un actif. Selon les cas, on peut considérer une quantité constante de perte chaque année (amortissement linéaire) ou sinon, en proportion de la valeur actualisée – soit comme la simulation de l'érosion du code C juste avant.

Actualisation et coût généralisé

Le taux d'actualisation permet de quantifier la valeur présente de flux monétaires futurs. Lors de l'évaluation d'un projet, son paramétrage est crucial. En effet, un taux d'actualisation élevé tend à minimiser l'importance des bénéfices futurs, ce qui peut conduire à une surexploitation des ressources. À l'inverse, un taux d'actualisation faible valorise davantage les bénéfices à venir. Il peut ainsi encourager la préservation des ressources et donc la réduction de l'entropie générée. Cet impact

du taux d'actualisation est particulièrement sensible pour les *levelized costs of energy* (les coûts actualisés de l'énergie) lorsque appliqués aux énergies renouvelables ou aux travaux de rénovation énergétique.

Le taux d'actualisation est au cœur du débat entre « soutenabilité faible » et « soutenabilité forte ». La première suppose que le capital naturel peut être substitué par du capital manufacturé, justifiant l'utilisation de taux d'actualisation élevés. Au contraire, la seconde considère le capital naturel comme irremplaçable et préconise donc des taux bas pour refléter l'importance de la préservation. En France, le taux d'actualisation fixé par la commission Quinet (2013) propose un taux d'actualisation (sans risque) de 2,5 % passant à 1,5 % au-delà de 2070. Bien que le taux d'actualisation et l'entropie soient des concepts issus de disciplines différentes, ils se rejoignent dans l'analyse des politiques environnementales, où le choix du taux d'actualisation influence la gestion des ressources naturelles et la capacité à investir dans des infrastructures décarbonées et/ou favorisant la transition écologique.

Pour atterrir

La patine du temps

L'analogie entre la valeur économique et l'entropie a toutefois ses paradoxes. Dans l'immobilier, une construction ancienne dans un centre urbain peut parfois être plus chère qu'un bâtiment récent en meilleur état (à C moins dégradé). La cote d'une voiture d'occasion peut remonter si elle acquiert le statut de véhicule de collection. Cette ascendance de la valeur est généralement le résultat de trois phénomènes : l'entretien correct de l'actif ; la patine du temps, supplément d'âme du bien ; sa relative rareté, effet de pyramide des âges, lui conférant une once d'exclusivité, voire de distinction sociale. La singularité informationnelle (la rareté de C_i) prend l'ascendant sur la qualité matérielle (l'état de santé de C_i).

En architecture, la qualité de la construction, le soin du détail, le raffinement de l'ornement font fusionner singularité et qualité. La *venustas*, chère à Vitruve, l'émotion spatiale sont des plaisirs plutôt minoritaires dans l'océan des constructions génériques de l'Anthropocène et de ses infrastructures. Pourtant, prendre conscience qu'une réalisation a réclamé de l'attention, ressentir le labeur des bâtisseurs, la passion des artisans – cela invite

au respect. Dans certains cas, la construction se fait œuvre lorsque l'admiration lui confère une valeur considérable. La physique de la construction se confond avec la chimie complexe du vin : le temps devient un allié de la beauté et du ravissement des sens.

La finesse du planeur

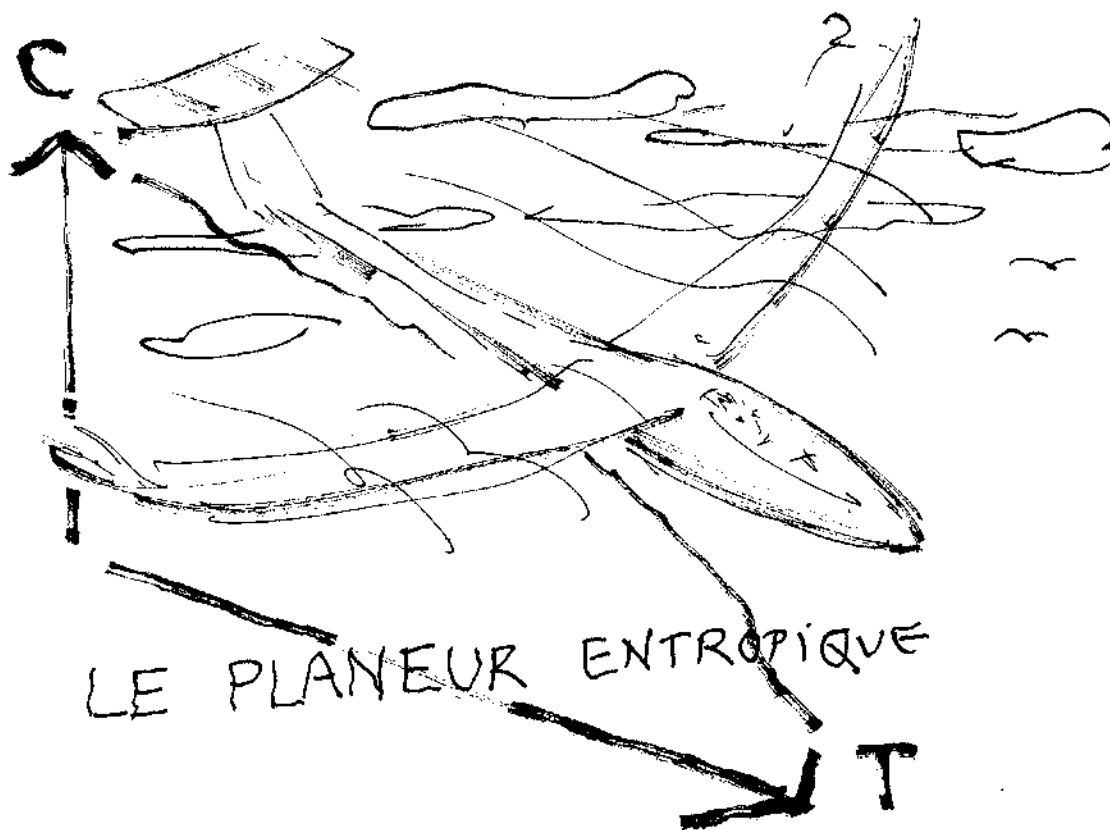
Pourtant, en amont de l'usure, le dilemme reste entier. Lorsque nous construisons, nous empruntons de la néguentropie au capital naturel. Quelle est sa juste mesure ? Cet article n'est qu'une introduction à un vaste sujet défriché par les travaux pluridisciplinaires de Robert Ayres, Per Bak, Howard T. Odum ou François Roddier (pour n'en citer que quelques-uns). Sur nos questions constructives qui intégreraient davantage les limites planétaires, retenons cette relation entre la longévité (T) et le coût néguentropique pour constituer le code construit initial (C).

Au cours de la vie d'une construction, comment affronter les turbulences du temps avec la légèreté d'une plume ? Les amateurs de vol libre sont coutumiers de la notion de finesse pour caractériser l'aérodynamique d'un planeur. Elle correspond au rapport entre la distance parcourue et l'altitude dépensée pour planer sur cette distance. Selon la

qualité des planeurs, la finesse est généralement comprise entre 30 et 70. Ainsi, un planeur de finesse 50 peut parcourir 50 kilomètres avec 1 000 mètres d'altitude « consommée ».

Tentons une transposition pour une construction donnée. Remplaçons la distance parcourue par la longévité (T) ; l'altitude par l'état de santé du code à un instant t (C_t), sa néguentropie rémanente (soit de façon relative par rapport à son état initial C , soit de façon absolue, en bits d'information). Nous définissons alors la « finesse entropique » d'une architecture avec le rapport T/C . Une valeur élevée signifierait la capacité à affronter les frottements du désordre, les turbulences de l'usage avec une grande résilience. Une construction post-carbone viserait un rapport T/C le plus élevé possible, tel un indicateur de robustesse.

A posteriori, l'abbaye du Thoronet, bâtie au XII^e siècle, est d'une grande finesse. Les réalisations contemporaines en bambou de l'architecte colombien Simón Vélez seraient probablement de bons « planeurs entropiques », tout comme la plupart des 40 références sélectionnées pour l'exposition « Materia⁴ » – à faible coût néguentropique initial (C faible à la livraison) et avec une recherche évidente de permanence (T élevé).



La légèreté entropique

De façon générale, des formes ordinaires, comme le toit à double pente, résultent probablement d'une recherche empirique de finesse entropique. Cette géométrie très répandue dans le temps et dans l'espace est sans doute une figure limitant l'usure aux intempéries, facilitant les écoulements, réduisant entretien et réparation. Serait-ce une nouvelle histoire naturelle de l'architecture au prisme de la thermodynamique ? Elle mettrait probablement en avant les conceptions simples, modulaires et réparables.

Aussi, pour davantage de finesse, l'édifice peut créer lui-même de la néguentropie : des architectures productrices d'énergie libre comme les moulins à vent (ou à eau) ; une bâtisse dont la fenêtre est à la bonne place pour capter l'énergie solaire en hiver ; l'usage de la ventilation naturelle dans une construction et l'art de capter les vents, etc. L'architecture post-carbone filtre l'énergie libre qui la traverse : soleil, vents, courants d'eau, géothermie...

Évidemment, la pente de longévité d'une construction ne ressemble pas tout à fait à la trajectoire lisse du planeur. De fait, dans quelques décennies, lorsque la vétusté de notre maison sera bien avancée, que l'atterrissage vers la fin de vie sera proche, la perte d'altitude de son code construit ($C_{\downarrow}$) pourra être brusque. Sa trajectoire s'apparentera à une descente accélérée vers la ruine (on pourrait faire le parallèle avec l'état de santé fragile des personnes très âgées). Notre maison, que nous avons bâtie avec passion, entretenue avec soin, aura plutôt bien plané en bravant les turbulences du temps.

Planer avec légèreté dans un climat déréglé

La génération qui suit va construire une nouvelle maison, dans un climat davantage déréglé et un environnement dégradé. Ces vulnérabilités augmentées renforceront probablement la rugosité de la lime de Kronos, et les assureurs ne manqueront pas de le traduire dans la police d'assurance. Aussi, au moment de concevoir cette nouvelle maison, quel surcoût néguentropique anticiper pour mieux affronter les turbulences ($C_{\uparrow}$) ? Faut-il aussi prévoir un surcoût d'entretien, de réparations, voire une réduction de la durée de vie de l'édifice ($T_{\downarrow}$) ? Ainsi, la finesse entropique de cette maison sera certainement amoindrie.

En repassant le pont vers le territoire de l'économie, comment mettre à jour amortissement et taux d'actualisation au regard de l'adaptation au changement climatique ? À l'heure où science et

environnement sont méprisés par une poignée de puissants architectes du désordre, cette complexité amplifiée renforce l'urgente nécessité d'intégrer les processus biophysiques dans les modèles économiques. Et pour tous les acteurs de la construction, de mieux appréhender les lois implacables de la thermodynamique dans le cycle de vie des projets.

Post-scriptum

Cet article a été largement inspiré par la lecture de *Thermodynamique de l'évolution* de François Roddier. Dans cet ouvrage, il vulgarise les travaux récents de la thermodynamique des systèmes ouverts, notamment du principe de production d'entropie maximale (nommé MaxEP). Il spéculait que parmi les états possibles d'un système ouvert hors équilibre, l'état qui est sélectionné par l'évolution est celui qui maximise la production d'entropie. Autrement dit, dans un système soumis à un flux constant d'énergie libre (comme la Terre sous le Soleil), les structures qui apparaissent sont celles qui dissipent le plus efficacement ces flux.

Au sein du vivant, l'humanité bat tous les records en termes de dissipation d'énergie, y compris à l'échelle de l'univers. Ainsi, la transition ou la bifurcation (c'est selon) peut se résumer de la sorte : option 1, avalanche de désordre avec une consommation maximale d'énergies fossiles, amplification de l'extractivisme... Un slogan simple en quelques bits : « *Drill, baby, drill* ». Option 2, produire et accumuler du savoir, partager la connaissance à partir de l'énergie libre disponible, pour (ré)apprendre à vivre de façon sobre et harmonieuse en composant avec les limites planétaires de la biosphère. •

1. « La dette publique est une blague ! La vraie dette est celle du capital naturel », entretien avec Thomas Piketty, *Reporterre*, 2 juin 2015.
2. À leur façon, dans leurs expériences et leurs documentaires, Corentin de Chatelperron et Caroline Pultz tentent des expériences analogues d'autarcie.
3. La question originelle était celle posée par l'architecte Norman Foster à son confrère Richard Buckminster Fuller : « *How much does your building weigh, Mr. Foster?* »
4. « *Materia architectures*. 40 bâtiments en pierre, terre et fibres végétales », exposition présentée au Pavillon de l'Arsenal du 22 mars au 26 avril 2025.