

Sous la direction de
Solène Marry

Architectures low-tech

Sobriété et résilience

PARENTHÈSES / ADEME

« Low » is beautiful ?¹

L'avenir de la construction passerait-il par une architecture « low-tech » ?

Ces dernières années, cette approche prônant une utilisation de technologies plus sobres, agiles, autonomes et résilientes monte en puissance : d'abord cantonnée aux milieux associatifs ou à l'économie sociale et solidaire, elle gagne progressivement des acteurs du secteur privé et de nombreux secteurs économiques², à l'image de cette tribune invitant « à adopter une démarche low-tech pour construire et aménager les villes³ » ; des acteurs institutionnels, comme la Région Bretagne et de nombreuses métropoles⁴ la reconnaissent comme une voie précieuse pour accélérer la transition environnementale et développer la résilience des territoires ; un courant low-tech émerge dans les écoles d'ingénieur, à l'initiative des professeurs ou des élèves...

Il ne s'agit pas de fantasmer un retour aux temps troglodytiques. Au contraire, loin d'être rétrogrades, les low-tech pourraient bien s'avérer résolument modernes. Cela peut paraître choquant, tant nous sommes habitués à l'incroyable efficacité des high-tech, à la rapidité de l'innovation, à la progression phénoménale des performances des produits et des services conçus grâce ou associés à l'économie numérique. Face aux défis environnementaux, nous sommes, collectivement, essentiellement « techno-solutionnistes », nous comptons avant tout sur l'innovation technique, l'émergence de nouvelles « solutions » que nous pourrions déployer à temps et à l'échelle suffisante.

* Directeur général d'Arep (agence d'architecture pluridisciplinaire), ingénieur, auteur de *L'âge des low tech* (Seuil, 2014 ; Points, 2021). Dernier ouvrage paru : *La ville stationnaire*, avec Sophie Jeantet et Clémence De Selva (Actes Sud, 2022).

Des limites des high-tech

Pourtant, cette course en avant technologique porte peut-être en elle autant de problèmes que de « solutions ».

D'abord, les high-tech consomment des métaux et des énergies fossiles. La dématérialisation de l'économie est un leurre : on n'a jamais consommé autant de ressources (plus de 90 milliards de tonnes par an), et de nombreuses études⁵ pointent au contraire la gigantesque accélération de l'extraction qui va être nécessaire pour nourrir la transition énergétique, à base, entre autres, d'énergies renouvelables, de voitures électriques et de numérique. La logique d'économie circulaire peut aider à réduire cette pression « extractiviste », mais elle est loin d'être évidente à mettre en place : le mélange de matériaux, la complexité croissante des objets, l'utilisation de quantités très faibles dans les produits électroniques miniaturisés et intégrés, rendent le recyclage toujours plus difficile.

Ensuite, si certaines technologies peuvent sembler intéressantes « sur le papier », les bénéfices environnementaux réels sont loin d'être évidents : avant d'apporter des gains de fonctionnement grâce à la mutualisation, les voitures autonomes ou les *smart cities* réclament d'importantes infrastructures numériques (capteurs et autres objets connectés, réseaux de télécommunications 5G voire 6G, *data centers* pour le stockage des données et les calculs nécessaires) gourmandes en métaux et en électricité... tandis que les applications écologiques de la *smart city* sont encore bien floues, et les retours d'expérience sur les premiers bâtiments « intelligents », par exemple, plutôt décevants.

Enfin, l'efficacité technologique est souvent annulée, au moins partiellement, par l'effet rebond (ou paradoxe de Jevons) : certains produits ou services deviennent effectivement plus économes *unitairement*, mais on en consomme alors davantage — l'efficacité se traduisant généralement aussi par un gain économique, ils sont davantage utilisés et/ou par de plus en plus de monde : globalement, la facture environnementale ne baisse pas, et souvent même s'alourdit. Dans le domaine du bâtiment, on peut penser au fait que les surfaces bâties *par personne* continuent à augmenter, ou que la rénovation thermique s'accompagne en général d'une amélioration du « confort » sous la forme d'une augmentation des températures de consigne.

¹ Hommage au *Small is beautiful* de l'économiste Ernst Friedrich Schumacher (1973) ; *Small Is Beautiful, une société à la mesure de l'homme*, Paris, Contretemps/Le Seuil, 1978.

² Ademe, *Démarches « low-tech »*, *État des lieux et perspectives*, rapport, mars 2022.

³ Collectif, « Ensemble, pour une transition urbaine low-tech », *Le Monde*, 21 juin 2022.

⁴ Labo de l'ESS, *Pour des métropoles low-tech et solidaires*, rapport, janvier 2022.

⁵ Organisation de développement et de coopération économiques, Banque mondiale, Agence internationale de l'énergie, Commission européenne...

La démarche low-tech

Se lancer dans une démarche low-tech, c'est réfléchir aux autres composantes de l'innovation, qui peut être aussi sociale, culturelle, organisationnelle, avec trois mots d'ordre : sobriété et économie à la source ; conception basée sur des techniques durables et réparables, les plus simples possibles ; « techno-discernement » avec un usage mesuré, réfléchi des technologies, seulement lorsqu'elles sont indispensables ou apportent des gains (environnementaux) indéniables.

Actualité géopolitique oblige, la sobriété est en train de passer dans le langage courant et surtout gouvernemental. Il ne s'agit pour l'instant que d'une sobriété forcée par les circonstances, potentiellement temporaire, plutôt qu'une sobriété organisée, pilotée sur le moyen terme, au service du climat et de la résilience. Le gaspillage étant partout, les pistes sont nombreuses, et on peut compter sur le gouvernement pour se focaliser, dans un premier temps, sur de « petits gestes » les plus indolores possibles — débrancher la box wifi quand on part en vacances, éteindre les enseignes lumineuses la nuit, fermer les portes des magasins climatisés ! — ne remettant pas en cause les « besoins », ni l'injonction à la croissance économique.

Mais la tension sur les ressources ne fait sans doute que commencer, et il faudra aller (beaucoup) plus loin, avec des actions plus compliquées, moins acceptables de prime abord, moins rapides à mettre en œuvre, réclamant de véritables évolutions systémiques, sociétales, sociotechniques. Dans le secteur du bâtiment, les besoins de constructions neuves pourraient certainement être fortement réduits en intensifiant l'usage du bâti existant (cf. taux de vacance des logements et de résidences secondaires par exemple), pour concentrer les moyens techniques et financiers sur la réhabilitation, la rénovation, l'embellissement. De nombreuses réflexions devront être menées pour lutter contre la décohabitation et la sous-occupation des logements, mais aussi initier une réflexion sur la démétropolisation et le réaménagement du territoire⁶.

Parallèlement, bien sûr, il s'agit de concevoir les bâtiments les plus sobres possibles, tant à la construction neuve ou à la réhabilitation (énergie grise, matériaux embarqués) qu'à l'usage (architecture bioclimatique ; confort thermique hiver/été — là aussi, on peut développer la sobriété, en baissant un peu les températures et en réapprenant l'usage des vêtements plus chauds — ; évolutivité des besoins, pour que les lieux ne soient pas, eux aussi, « frappés » d'obsolescence...).

⁶ The Shift Project, *Habiter dans une société bas carbone*, rapport, octobre 2021. BIHOUIX, P., JEANTET, S., DE SELVA, C., *La ville stationnaire*, Arles, Actes Sud, 2022.

Les objets, les équipements, les véhicules, les bâtiments, les infrastructures doivent devenir robustes et conviviaux, réparables et réutilisables, si possible relativement standardisés et modulaires pour privilégier le réemploi, être fabriqués à partir de matériaux simples, moins nocifs pour l'environnement, incorporer le moins possible de ressources non renouvelables, rares et irremplaçables (notamment via les produits électroniques), pouvoir être facilement démontés ou déconstruits en fin de vie — quitte à renoncer à certains aspects « pratiques », à retravailler les performances attendues, à accepter un besoin d'entretien accru et une part plus grande de travail humain. Faire durer, maintenir, réparer, adapter, transmettre, doivent devenir les maîtres-mots des concepteurs, des fabricants et des bâtisseurs.

Quelle(s) architecture(s) low-tech ?

La sémantique des low-tech s'adapte plutôt bien aux domaines du bâtiment et de la ville. On envisage sans doute plus facilement d'habiter une « maison low-tech » que d'embarquer dans un « avion low-tech » (quel en serait le niveau de sécurité ?) ou de communiquer avec un « internet low-tech » (comment celui-ci pourrait-il ne pas employer toute une série de produits ultra perfectionnés ?).

Pourtant, même appliquée à des objets « simples », la définition des low-tech n'est pas évidente. La plupart des choses qui nous entourent sont construites avec des matériaux et/ou des composants qui « convoquent » tout un système « hyper industriel » et généralement très high-tech, dans lequel nous sommes « enchâssés » pour le meilleur et pour le pire : un clou, une plaque de tôle, un carreau de verre, un tissu, même une planche de bois sortent d'usines mécanisées et partiellement automatisées, dont les équipements requièrent eux-mêmes d'autres usines de pointe, etc. Il est donc plus prudent de parler de *démarche* low-tech, dont le but est de réfléchir à nos « besoins » et aux manières d'y « répondre » de la façon la plus légère, en générant le moins possible de dégâts sociaux et environnementaux. Avec une telle définition, tous les secteurs deviennent éligibles à la réflexion.

Qu'en serait-il pour l'architecture low-tech ? Il me semble que quelques « pièges » doivent être évités.

Ne pas confondre low-tech et vernaculaire, d'abord. Bien sûr, il y a de très belles inspirations à aller chercher dans les modes constructifs anciens, précédant les mises au point du ciment Portland et du procédé Bessemer qui a permis la production d'acier en grande quantité. On peut penser aux matériaux géosourcés (pierre et terre crue dans toute leur diversité...) et biosourcés (bois, chaume...), aux solutions de ventilation naturelle et de confort thermique, à l'orientation des bâtiments et des rues selon le climat,

à l'harmonie globale recherchée (ou du moins obtenue)... Si, évidemment, ces techniques anciennes peuvent apporter de nombreuses sources d'inspiration, il ne s'agit pas de « faire à l'ancienne », mais plutôt de capter le meilleur de l'expérience humaine et des connaissances scientifiques et techniques actuelles pour les appliquer à un contexte nouveau, celui du déjà-là du patrimoine bâti... de même qu'un système agricole sans pesticides ne serait pas une agriculture « de nos grands-parents » mais un système prenant en compte, comprenant et maîtrisant toute la richesse des interactions du monde vivant.

Ne pas chercher à définir trop précisément ce que serait une architecture low-tech, ensuite, en s'orientant, par exemple, vers une logique de « labellisation » — même si on aime bien les labels, dans le secteur immobilier ! Encore une fois, il s'agit plus d'une démarche, d'une posture, d'un état d'esprit, d'une mise en contexte que d'un « résultat » à atteindre, qui consisterait à cocher un nombre suffisant de critères... La démarche low-tech, idéalement, doit commencer par interroger « à la source » le programme de l'opération — A-t-on réellement besoin de construire ? Ne peut-on réhabiliter ou mutualiser un autre lieu ? Ne peut-on remettre en cause les surfaces nécessaires, quel est le « juste » dimensionnement ? — avant de réfléchir à la conception.

Ne pas considérer, enfin, les low-tech comme un « sympathique bricolage » qui s'appliquerait à quelques bâtiments emblématiques à la maîtrise d'ouvrage particulièrement motivée, de la maison du réemploi au tiers lieu en urbanisme transitoire. Au contraire, la « clef de lecture » low-tech peut sans doute s'appliquer à la plupart des situations et — en l'adaptant — à toutes les échelles : celle de l'objet, celle du bâtiment, mais aussi celle du quartier, de la ville, voire du territoire.

Devant affronter les changements à venir (nécessaire reterritorialisation de certaines fonctions productives et logistiques, nouveaux usages et modes de consommation, stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique...) tout en subissant certains errements tragiques du passé, les villes vont devoir profondément évoluer dans les prochaines décennies. Adopter un prisme de réflexion low-tech — véritable contre-modèle à la *smart city* dont les promesses miraculeuses de la décennie 2010 se sont déjà essouffées — permet d'imaginer d'autres modes de fonctionnement et d'organisation, d'autres choix structurants... sans faire du low-tech un nouveau *deus ex machina* de la pratique urbaine, ayant vocation à remplacer (ou inclure) tous les concepts de durabilité précédents...

Le low-tech peut (doit ?) devenir aussi tendance, aussi *hype* — et même plus — que le *smart* : faisons le pari de l'intelligence humaine, plutôt que confier nos destins à l'opacité des algorithmes et à la dépendance toujours

accrue à des ressources toujours plus rares, extraites et transformées à l'autre bout du monde. La démarche low-tech peut être fertile en choix et initiatives de nature à accélérer, à faciliter la transition : misons sur un modèle alternatif vraiment... *disruptif*, encore à inventer et à expérimenter, au service d'un mieux vivre ensemble, d'un système économique riche en emploi local et en lien social, d'une société réparatrice, plus apaisée, plus résiliente et plus respectueuse des écosystèmes.

P. B.

SOLÈNE MARRY (ADEME)

AVEC LA CONTRIBUTION DE THIBAUT FAUCON
ET ALBANE GASPARD (ADEME)

INTRODUCTION

Une démarche low-tech québécoise ?

Le terme même de low-tech, loin de faire consensus, est souvent questionné voire critiqué : un anglicisme, peu clair, voire inquiétant. Pourtant, il ne faut pas y voir un refus en bloc de la technologie, mais son utilisation raisonnée par de bonnes pratiques répondant à des besoins et des usages évolutifs tout en limitant les impacts environnementaux. Son idée-force est que la technologie n'est pas neutre, mais bien ambivalente comme l'expliquait Jacques Ellul, et génère des effets positifs et négatifs indissociables. Il s'agit donc avant tout d'une démarche rivale au paradigme encore dominant du solutionnisme technologique souvent « high-tech » qui accompagne la « mécanisation » et la numérisation de l'économie dont le secteur du bâtiment et qui crée bien souvent plus de problèmes qu'il n'en résout (du fait notamment de la loi des rendements décroissants des investissements dans la complexité¹). Elle invite donc à davantage de discernement en interrogeant notre rapport au système technique et, par une logique soustractive plutôt qu'additive, en réduisant dès que c'est possible l'intensité et la complexité technologiques qui se sont accumulées corrélativement à l'empilement historique des consommations d'énergie fossile (charbon puis pétrole puis gaz) de nos sociétés complexes.

Une démarche low-tech peut être définie comme « [une] approche [...] innovante et inventive de conception et d'évolution de produits, de services, de procédés ou de systèmes qui vise à maximiser leur utilité sociale, et dont l'impact environnemental n'excède pas les limites locales et planétaires² ». Comme souligné dans un rapport de l'Ademe³ sur l'état des lieux des démarches low-tech : « Le qualificatif de low-tech s'applique à une démarche

et non pas à son résultat. Ainsi, un objet n'est pas low-tech dans l'absolu, il est plus (ou moins) low-tech qu'une solution alternative répondant au besoin initial. »

Plusieurs acteurs ont proposé des définitions : le Low-tech Lab considère que les low-tech sont des « objets, systèmes, techniques, services et savoir-faire des pratiques, des modes de vie et même des courants de pensée, qui intègrent la technologie selon trois grands principes : utile, accessible, durable ».

Il apparaît souvent adapté de définir les low-tech comme une démarche, travail entrepris par l'Observatoire de l'immobilier durable (OID) et la Fabrique écologique. Ces derniers définissent une démarche low-tech de la manière suivante :

« Les low-tech, par opposition aux high-tech, sont une démarche visant, dans une optique de durabilité, à questionner nos besoins réels et développer des solutions aussi faiblement “technologisées” que possible, minimisant l'énergie requise à la production et à l'usage, utilisant le moins possible de ressources / matériaux rares, n'infligeant pas de coûts cachés à la collectivité⁴. »

« La démarche low-tech avec les solutions proposées pour adhérer à un mode de vie plus responsable se veut durable, simple, conviviale, résiliente et inclusive⁵. »

Analyser une démarche, plutôt qu'un objet ou un service, permet ainsi de prendre en compte les interactions et conséquences de manière plus globale. De plus, une démarche a une capacité plus importante d'intervenir sur un système pour le transformer, ce que s'efforcent de faire les low-tech pour tendre vers la transition écologique. En effet, les démarches low-tech présupposent une analyse systémique stratégique en amont qui cherche à comprendre les dynamiques complexes d'évolution des interactions entre les éléments et variables d'un système donné⁶ pour identifier les niveaux et leviers de transformation du système les plus efficaces⁷ afin de le réinscrire dans les limites planétaires et humaines. Puis elles vont chercher à agir sur ces interactions pour les modifier voire les supprimer ou en créer de nouvelles en s'appuyant sur les caractéristiques propres aux systèmes

¹ Voir notamment TAINTER, J.A., *L'effondrement des sociétés complexes*, Paris, Le retour aux sources, 2020.

² Ademe, Goodwill-management, *Low-tech Lab, État des lieux et perspectives des démarches low-tech*, 2022.

³ *Démarches « low-tech »*, État des lieux et perspectives, rapport Ademe, 2022 [en ligne sur www.librairie.ademe.fr].

⁴ La Fabrique écologique, *Vers des technologies sobres et résilientes : Pourquoi et comment développer l'innovation « low-tech » ?*, 2019.

⁵ Observatoire de l'immobilier durable, *Low-tech, Quelles traductions à l'échelle de la ville et du bâtiment de bureaux ?*, avril 2020.

⁶ Un système est défini par un ensemble de variables qui interagissent entre elles pour répondre à un objectif ou assurer une fonction (système purement technique) et peut être un couplage marché-produit/service, une entreprise, un secteur économique, une collectivité, un territoire, un État, un ensemble de pays, etc.

⁷ Voir notamment le référentiel d'analyse des niveaux et leviers de transformation des systèmes de Donella Meadows : *Leverage Points, Places to Intervene in a System*, Hartland, The Sustainability Institute, 1999 [en ligne].

— ce que la systémicienne Donella Meadows appelle « Danser avec les systèmes⁸ » — et en veillant à ne pas induire de nouvelles boucles de rétroaction déstabilisatrices voire destructrices sur les plan écologique, socioéconomique et politique. Bien sûr, une telle réflexion intègre également les actions à l'échelle des éléments du système comme l'isolation thermique du bâti par exemple. Pour autant, les systémiciens expliquent que l'essentiel du potentiel de transformation de tout système réside surtout dans la modification de son paradigme d'émergence, de ses objectifs et de ses règles d'interaction par des leviers souvent faiblement intensifs en technologie (lois, normes, fiscalités, incitations financières, informations, formation, etc.) qu'on pourrait qualifier de « lowtech ». De surcroît, et comme le rappelle Philippe Bihoux dans sa préface, l'approche systémique permet de mieux anticiper et maîtriser les risques d'effets systémiques de surconsommation dits « rebond » ou « paradoxe de Jevons » presque systématiquement associés au levier de l'efficacité technique opérée sur les éléments du système, le bâtiment n'y échappant pas.

Les low-tech se veulent utiles, accessibles, compréhensibles / simples, accessibles financièrement et techniquement. Le lien avec la durabilité se pense par de faibles impacts environnementaux, une faible mobilisation des ressources, leur pérennité et une approche locale.

Les acteurs qui s'approprient cette notion l'associent fortement à la finitude des ressources et la recherche de limitation des consommations de matière et d'énergie. Ainsi, Gauthier Roussilhe, mais également Christophe Abrassart, François Jarrige et Dominique Bourg, font régulièrement mention de « milieu contraint⁹ », et Philippe Bihoux considère que l'on ne peut pas parler de technique sans parler des ressources et de leur épuisement¹⁰.

Pour la Fabrique écologique, adopter cette démarche permet de ne pas se questionner uniquement sur les gaz à effet de serre émis mais aussi prendre en compte les enjeux et les risques accrus par nos pratiques sur la disponibilité des ressources, et plus largement sur les limites planétaires.

Cela se traduit notamment par le fait de repenser les fonctionnalités d'un objet/système en ne conservant que les fonctionnalités nécessaires. Ainsi que l'utilisation de ressources renouvelables et abondantes à l'échelle locale que ce soit directement dans les écosystèmes ou bien dans les circuits de recyclage / réemploi / surcyclage (récupérer des matériaux ou des produits dont on n'a plus l'usage afin de les transformer en matériaux ou produits de qualité ou d'utilité supérieure).

⁸ MEADOWS, D., *Dancing With Systems*, Donella Meadows Archives [en ligne].

⁹ ABRASSART, C., JARRIGE, F., & BOURG, D., *Introduction au dossier low-tech : low-tech et enjeux écologiques : quels potentiels pour affronter les crises ?*, Paris, La Pensée écologique, 2020 [en ligne].

¹⁰ BIHOUX, P., *L'âge des low tech*, Paris, Seuil, 2014.

Création d'un matériau innovant valorisant les algues de Sargasses échouées et les terres de chantier

Un enjeu global : réduire l'impact carbone et environnemental de la construction grâce aux éco-matériaux

Le BTP, premier producteur de déchets

En France¹, les activités de construction et de réhabilitation utilisent 400 millions de tonnes de matériaux par an. La consommation de matières premières a été évaluée par l'Ademe en scénario « Business as Usual » à :

— Pour la construction neuve :

La consommation de matières premières liée à la construction neuve en France :

- 51 Mt de matières ont été consommées en 2015 pour la construction neuve en France, dont plus de 80 % pour le secteur résidentiel.
- Un ratio moyen de consommation de matières premières de l'ordre de 1,35 t/m² SHONRT pour les logements et 1,2 t/m² SHONRT pour le tertiaire (moyennes pondérées).



Volume de déblais de terre sur un chantier de terrassement.

- Plus de 30 % de la consommation est utilisée pour les fondations et infrastructures.
- Plus de 40 % de la consommation est liée aux seuls granulats.

– Pour la rénovation BBC :

Pour les rénovations respectant le label BBC, la consommation de matériaux s'établit comme suit :

- Environ 460 Mm³ d'isolants (soit 17 Mt) consommés pour la rénovation BBC de l'ensemble du parc de logements à l'horizon 2050, dont plus de 85 % pour les maisons individuelles.
- Plus de 150 Mm³ de laine de verre consommés jusqu'en 2050.
- Environ 57 Mt de matériaux (autres que isolants) consommées jusqu'en 2050, dont plus de 80 % pour les maisons individuelles.

Le secteur du BTP a produit 250 millions de tonnes de déchets en 2012 (Ademe), soit 72 % des déchets produits en France, loin devant les autres activités économiques (19 %), les ménages (9 %) ou les collectivités (1 %). Parmi ces déchets, les déblais représentent certes un déchet le plus souvent inerte (lorsqu'il n'est pas pollué), mais ils représentent la plus grande part du volume total, de l'ordre de 80 %².

Toute phase de terrassement d'un nouveau bâtiment excave un volume non négligeable de terre, souvent envoyé en décharge. Ainsi un projet d'aménagement de 200 000 m² peut générer 100 000 m³ de déblais excédentaires dont il faut disposer³.

Plus encore, les volumes de déblais deviennent considérables dans le cas des grands travaux d'infrastructures. Ainsi, la construction du Grand Paris Express va générer en une dizaine d'années quelque 45 millions de tonnes de déblais. Ce volume représente une augmentation annuelle de 10 à 20 % de la production totale de déchets issus des chantiers franciliens⁴.

Les solutions de traitement de ces terres excavées sont multiples :

– Réutilisation :

- Sur site dans le cadre de projets d'aménagement, notamment paysagers (remblais).
- Au sein d'aménagements hors site (mais souvent dans un périmètre restreint < 30km pour éviter les coûts de transport, et sur un terrain de même fond géochimique).
- En remblaiement de carrières (comblement de trous et cavités anciens, réaménagement de carrières en-cours ou en fin d'exploitation).

¹ LEONARDON, P., LAURENCEAU, S., LOUERAT, M., *Prospectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique BBC*, Ademe, 2019 [en ligne].

² *Enquête sur les déchets et les déblais dans la construction 2014 (EDD 2014)*, Service de l'Observation et des Statistiques, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2014.

³ VICTOIRE, É., TOUTAIN, J., *Gestion des déblais excédentaires en dehors des contaminations concentrées*, Rapport de Plan de gestion des déblais, Arcadis, 2017, p. 18 [en ligne].

⁴ *Schéma de gestion et de valorisation des déblais*, Société du Grand Paris, 2017.

– Évacuation en filière de stockage agréée type ISDI (Installations de stockage de déchets inertes).

Certains surplus peuvent également s'accumuler sur des terres agricoles rachetées ou louées à des agriculteurs, avec tous les dégâts environnementaux et la perte de surfaces de culture associés.

Dans ce contexte, le réemploi de ces déblais comme matière première de matériaux de construction représente une voie importante de valorisation. Cela permettrait de :

- trouver un débouché productif à des ressources considérées habituellement comme déchets ;
- proposer pour la construction des matériaux à faible impact environnemental, sur les critères de consommations d'énergie, de ressources et d'émissions de gaz à effet de serre.

L'intensité carbone de la construction

Avec 45 % de l'énergie finale consommée et 25 % des émissions de gaz à effet de serre (GES), le bâtiment est le plus gros gisement de la transition énergétique et environnementale⁵. En 2018, le secteur du bâtiment a dépassé de 14,5 % son niveau d'émissions par rapport aux objectifs fixés⁶.

Or, au fur et à mesure que les performances d'usage des bâtiments s'améliorent, la part d'énergie grise devient prépondérante, notamment celle consommée pour la fabrication des matériaux de construction⁷.

Le bilan carbone des filières classique de la construction est très élevé (béton/ciment, métal, laine de roche, polystyrène, plaques de plâtre). La seule production de ciment génère environ 5 % des émissions mondiales de CO₂eq.

Dans ce contexte, développer des matériaux de construction biosourcés performants et déployer leur utilisation le plus largement possible est une clé pour limiter les émissions de gaz à effet de serre des bâtiments, à la fois lors des phases de construction, d'exploitation et de fin de vie.

⁵ Stratégie nationale Bas-Carbone (SNBC), Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015.

⁶ Résultats provisoires pour l'année 2018, *La France respecte-t-elle ses objectifs sur le climat et l'énergie ?*, Observatoire climat-énergie, 2019.

⁷ LEFÈVRE, P., *L'énergie grise, la face cachée de la construction*, Construction21, 2016.

Développer l'ingénierie du low-tech dans les bâtiments pour une résilience énergétique et climatique

Constat

La construction et l'opération de bâtiments est, de par le monde, un contributeur majeur au dérèglement climatique et environnemental¹.

La situation alarmante dans laquelle nous nous trouvons impose d'explorer toutes les voies possibles pour trouver des solutions efficaces permettant de réduire l'impact carbone du bâti, dans son usage mais aussi initialement dans sa construction ou rénovation.

Il s'agit là, au sens où Bruno Latour l'entend², d'essayer, par le biais d'une transformation rapide mais progressive, d'atterrir. À défaut des formes diverses d'effondrement sont à redouter, elles sont en fait déjà en cours dans certaines parties du monde.

Notre intuition, en tant que professionnels de l'ingénierie du bâtiment, mais également en tant que citoyens, est que la voie choisie et imposée réglementairement n'est pas la seule qui mérite d'être explorée.

En effet plusieurs constats s'imposent.

Tout d'abord, la constitution des bâtiments, structure et enveloppe, s'est fortement complexifiée. Cette complexification entraîne une fragilité certaine dont les effets au travers de pertes de performances ou de dommages résultant en travaux coûteux sera à analyser dans les années à venir.

Ensuite, de nombreux bâtiments, en particulier dans le domaine tertiaire, sont équipés d'éléments techniques permettant d'obtenir de très

bonnes performances théoriques en termes de consommation d'énergie : ventilation mécanique double-flux avec récupération de chaleur et registres de régulation du débit d'air, rafraîchissement actif avec contrôle individuel, façades avec ouvrants automatisés, stores motorisés, etc. Ces bâtiments performants sur le papier le sont souvent moins dans la vie réelle car ils sont complexes à régler et piloter et pas nécessairement bien adaptés à des évolutions d'usage qui n'auraient pas été anticipées initialement. Ils ne sont pas toujours confortables.

Finalement, les technologies mises en jeu ne sont pas neutres en termes de bilan carbone initial, même si celui-ci est difficile à établir. Elles consomment des ressources pour lesquelles la compétition à l'échelle mondiale est amorcée (notamment accès aux métaux rares ou précieux), avec des conséquences sociales et environnementales lourdes et clairement documentées. Leur utilisation nécessite des calculs en temps réel de plus en plus sophistiqués participant de l'inflation planétaire des besoins en serveurs informatiques et induisant des consommations significatives d'électricité. Enfin leur pérennité dans le temps et leur résilience en cas de crise environnementale, sanitaire ou sociale n'est pas démontrée.

Cinquante ans d'ingénierie climatique

Il y a maintenant cinquante ans que la question énergétique — au fondement historique de toutes les sociétés — a réémergé dans la société moderne, du fait des deux chocs pétroliers des années soixante-dix. L'objectif fut alors de réduire notre dépendance aux énergies fossiles et donc de limiter les risques de rupture d'approvisionnement et l'impact de l'augmentation des prix organisée par les pays producteurs regroupés au sein de l'Opep (organisation des pays exportateurs de pétrole).

La situation géopolitique a engendré en France un double mouvement de fond : un travail sur la réduction de la consommation d'énergie et le développement massif du nucléaire civil. Cinquante ans plus tard, nous restons fortement marqués par ces événements fondateurs. Ce n'est notamment que depuis quelques années que dans le bâtiment on s'intéresse à l'impact écologique de la construction elle-même et non uniquement de la consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement. Cette dernière reste encore très marquée par la question du chauffage alors même, on le sait bien, qu'un bâtiment contemporain est caractérisé par une multiplicité de postes de consommation où le chauffage n'est pas dominant, et cela pour au moins deux raisons : d'abord les progrès significatifs réalisés sur le plan de la

¹ Remerciements : Julie Tse, Thibaut Faucon, Laurent Perez, Jean-François Blassel, Daniel Kaufman, Thomas Metge, Pierre Gelinotte, Gia-Huy Phan.

² LATOUR, B., *Où atterrir ?*, Paris, La Découverte, 2017.

performance des enveloppes, ensuite l'augmentation rapide des apports internes dus notamment à la multiplication des équipements informatiques.

Aux règles assez simples émergeant dans les années quatre-vingt, qui concernaient l'isolation thermique des murs ou le recours au double vitrage, a succédé une réglementation de plus en plus compliquée portant à la fois sur l'enveloppe du bâtiment, avec notamment l'élimination des ponts thermiques et l'étanchéité à l'air, et sur la conception de systèmes techniques performants pour la production et la distribution de l'énergie. La notion de pilotage a émergé et en corollaire celle de la performance. Sur les questions de confort et d'énergie, un imaginaire de machine s'est peu à peu imposé, s'appuyant sur l'émergence du numérique. On parle aujourd'hui de « bâtiment intelligent ».

L'ingénierie capable de gérer la complexité multifactorielle de la question énergétique et la réglementation en découlant s'est développée au sein des bureaux d'étude Fluides, ou des départements Fluides des bureaux d'étude TCE (Tout corps d'état), mais non sans mal.

L'ingénierie reine dans le bâtiment étant celle de la structure, c'est en se calquant sur la pratique séculaire de cette dernière que s'est développée l'ingénierie climatique. Il s'agit donc d'une pratique de l'ingénierie du bâtiment qui s'attache à dimensionner, c'est-à-dire à considérer des conditions extrêmes auxquelles il s'agit de résister : poids de neige, vitesse du vent, charge interne, extrema de température, demande électrique de pointe, etc. Quel que soit le sujet, c'est la même démarche qui prévaut : hypothèses de départ, calcul, marge de sécurité. C'est bien et c'est même souhaitable quand on traite de la résistance structurelle de l'ouvrage. Mais cela ne nous dit rien sur le comportement réel de cet ouvrage entre les extrêmes de dimensionnement. Cela ne dit rien non plus sur ce qui se passera si les hypothèses de départ ne sont plus vérifiées ou s'il y a occurrence d'une combinaison atypique d'hypothèses extrêmes.

En énergétique l'approche par le dimensionnement rencontre rapidement ses limites : des installations de chauffage et de climatisation très largement dimensionnées, une redondance pas toujours nécessaire, des puissances installées ou contractées (réseau de chaleur, électricité) très au-delà des besoins. C'est une logique d'abondance qui prévaut et qui réduit le risque que la responsabilité du concepteur soit engagée. Cette approche est devenue insuffisante :

- Le dimensionnement sur une hypothèse extrême se fait sans prise en compte de la physique en jeu, notamment phénomènes d'ensoleillement, inertie des matériaux et variation des apports internes.
- La logique d'abondance implique plus de matière et de technologie, ce qui va à l'encontre d'un bilan carbone maîtrisé.

2) Reconsidérer notre rapport à la technique et à l'illusion du contrôle

Étonnant comme en architecture, la technique nous ennuie, pourtant nos bâtiments en sont truffés ! Il serait temps de si intéresser un peu plus, d'analyser à quel point cette high-tech peu résiliente est là pour nourrir un fantasme de contrôle infantile et illusoire. Les concepts de convivialité (Ivan Illich) et de technologie appropriée (Ernst Friedrich Schumacher) devraient nous guider pour faire, en la matière, des choix raisonnés.

3) Faire de l'autolimitation et de l'économie de moyens un principe d'action

Maîtriser nos gestes et notre puissance : c'est là que réside aujourd'hui l'enjeu civilisationnel et non dans la démonstration de force et la prouesse technique. Le numérique dont on nous vante avec insistance les mérites (BIM, smart...) devrait être utilisé au service de cette autolimitation, notamment, en amont des projets, par le biais de la simulation. Utilisée à bon escient, celle-ci permet d'étudier les comportements réels et les usages, un saut quantique par rapport à une ingénierie du surdimensionnement. Plutôt qu'un *smart building*, une conception vraiment intelligente... ?

4) Remettre l'expérimentation au cœur du projet

Nous vivons dans un monde où le doute, le questionnement et l'incertitude ne sont pas regardés comme des valeurs positives. Un monde hérité de la révolution industrielle, celui de la marche en avant du progrès. Nous gagnerions beaucoup à sortir de cette logique pour entrer dans l'ère de l'expérimentation, qui est intrinsèque à l'architecture. L'humilité (le mot est à la mode) consiste à se rappeler que l'on ne maîtrise pas l'ensemble des paramètres et que nos modèles ne sont que de pâles reflets d'une réalité toujours plus riche et complexe.

Le doute nous invite à questionner, à réévaluer. L'émergence d'une ingénierie nouvelle, plus subtile et plus attentive, pourrait passer par là.

On retrouve au travers de ces quatre propositions le substrat de notre expérimentation numérique. Expérimentation modeste dans les moyens mis en œuvre mais ambitieuse dans le champ de réflexion qu'elle ouvre. Notre conviction intime est que le low-tech est un sujet de fond, révolutionnaire et subversif dont il faut s'occuper avec sérieux. L'ingénierie du low-tech peine encore à émerger mais l'intérêt croissant de jeunes diplômés talentueux pour ces sujets, notamment dans le domaine du bâtiment, est signe des changements à venir.

Rénovation low-tech

Le low-tech désigne un ensemble de solutions et savoir-faire simples. Il est utile : il questionne le besoin et y répond de manière juste. Il est durable : il s'appuie sur des ressources abondantes, est pérenne et a un faible impact sur l'environnement tout au long de son cycle de vie. Il est accessible : il ne nécessite pas d'outil, de savoir-faire ou de ressource complexes pour être utilisé ou réparé.

En rénovation de bâtiment, le low-tech prend en compte l'existant dans son ensemble. Il mobilise des ressources locales, accessibles et renouvelables en matériaux et énergie. Il fait appel à des savoir-faire locaux et transmissibles pour une mise en œuvre, un usage et une maintenance simples, peu coûteux, durables et accessibles à tous.

Partant de ces constats, la rénovation énergétique du bâti a tout intérêt à s'appuyer sur une démarche low-tech si elle veut atteindre les objectifs environnementaux d'économie d'énergie, de réduction des déchets et des émissions de gaz à effet de serre. Nous sommes allées nous entretenir avec des acteurs de la construction, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises, artisans, fournisseurs. Nous avons visité des chantiers et des réalisations low-tech.

Pourquoi faire low-tech ?

Pour le maître d'ouvrage, rénover low-tech permet de valoriser son patrimoine avec un bâtiment robuste, un entretien facilité, réalisable par un gardien ou des artisans locaux et s'affranchir ainsi des questions d'approvisionnement et renouvellement en matériel sophistiqué produit hors du territoire et vite obsolète.

« Économie et écologie sont étroitement liées. Le low-tech c'est juste faire avec ce qu'on a. Qu'est-ce qu'on a ? On a le soleil, on a le vent, on a tellement de choses. Il faut juste utiliser ça. Le problème dans le développement durable, c'est qu'il s'agit toujours d'un

produit à vendre. On ne va pas sauver la planète en achetant plus de choses, en produisant plus de choses. La première chose, c'est, au lieu de construire des bâtiments neufs, d'utiliser ce qu'on a. Et après on essaye de réutiliser des matériaux, mais il faut déjà commencer par le bâtiment.» Anna Chavepayre, architecte, *épisode 1*

Pour le maître d'œuvre, le style low-tech se dessine avec le contexte. En cela, il rejoint la conception bioclimatique. Concevoir low-tech exige de la créativité, des compétences, du temps, une réflexion sensible partant des caractéristiques et des forces en présence. Concevoir low-tech suppose de prendre en compte aussi les contraintes. Par exemple, si l'on prévoit des ouvrants pour ventiler, ils doivent être positionnés, dimensionnés, équipés pour être maniables, ne pas débattre de façon gênante dans l'espace, assurer la sécurité de tous.

Pour l'entreprise qui construit, le low-tech apporte le plaisir de travailler avec des matériaux naturels, de fabriquer lui-même et de sentir son implication dans une filière, d'échanger avec d'autres artisans sur des techniques ou des problématiques. Le low-tech apporte le plaisir d'inventer tout en gagnant bien sa vie, en faisant les choses de manière pointue, en valorisant et transmettant des savoir-faire.

Pour l'habitant, vivre dans un bâtiment low-tech c'est être maître chez soi. Régler son confort en fonction de ses besoins, de sa santé, au fil des saisons et des activités. Il pourra, par exemple, ventiler abondamment en ouvrant les fenêtres. Vivre dans un bâtiment low-tech, comme le sont beaucoup de bâtiments anciens, suppose d'être attentif pour comprendre, et réparer au lieu de jeter et racheter. Il aura la satisfaction de ne pas être tributaire d'une technologie supposant une alimentation en énergie.

« Mon terme, c'est sobriété technique dans le sens où il ne faut pas bloquer les gens derrière des technologies qui sont ingérables d'un point de vue maintenance, remplacement de matériel... Il faut remettre l'humain dans l'équation. On ne peut plus tout confier à la machine. La démarche c'est faire mieux avec peu. » Alexandre Pointet, ingénieur, *épisode 1*

Le low-tech est avant tout une démarche. Celle-ci débute par un état des lieux, en commençant par le territoire. Le projet low-tech utilise des matériaux du territoire, mis en œuvre par des artisans locaux et participe ainsi au développement d'une économie non délocalisable. Il s'inscrit dans le style, la matérialité, les couleurs des bâtiments vernaculaires qui font l'harmonie d'un paysage.

Le low-tech part du contexte en s'appuyant et en utilisant ce qui est déjà-là. Le site, le sol, le climat, les forces naturelles, le paysage et ses



ressources, le bâtiment à rénover, son équilibre, ses qualités et ses défauts. La démarche low-tech commence par l'analyse et la compréhension de l'existant. La démarche low-tech part de l'humain. De ses besoins et de ses capacités. Peut-on mutualiser certains espaces, certaines machines, imaginer des dispositifs saisonniers, des espaces capables d'assurer différentes fonctions ? Il s'agit de définir ses propres besoins finement. Faire un choix c'est aussi abandonner quelque chose. Y a-t-il des espaces que l'on pourrait moins ou ne pas chauffer ? Recueillir les besoins, être à l'écoute, sont à considérer comme des solutions de performance énergétique à part entière, au même titre qu'une bonne isolation par exemple.

Cette démarche nous engage dans une remise en question de notre désir de surconsommation. Le techno discernement consiste à évaluer si une technologie rend bien le service attendu et quels en sont les effets indésirables. Les low-tech sont conviviaux, au sens d'Ivan Illich dans son ouvrage *La convivialité*. En rénovation de bâtiment, nous observons ce qui est déjà-là pour l'intégrer dans le projet. Nous prenons le temps de mener des recherches, de mobiliser notre intelligence et notre créativité. Le low-tech induit un autre

ROMAIN JAEGER, LORAINE MOIROUD,
ÉLOÏSE MORALES, ALEXANDRE OLIVEIRA,
CAMILLE HABÉ

Concevoir, construire et occuper l'habitat low-tech

Bien que leur définition ne fasse pas consensus, les low-tech peuvent être décrites comme « [une] approche [...] innovante et inventive de conception et d'évolution de produits, de services, de procédés ou de systèmes qui vise à maximiser leur utilité sociale, et dont l'impact environnemental n'excède pas les limites locales et planétaires ¹ ». Émergeant des courants de pensée alternatifs des années soixante-dix, les low-tech gagnent aujourd'hui en notoriété, car perçues comme des outils à fort potentiel pour la transition écologique. Les scénarios Transition(s) 2050 ² placent notamment les low-tech comme composante centrale du scénario « génération frugale ».

Appliquée au bâtiment, la démarche low-tech pourrait répondre à de nombreux enjeux : artificialisation des sols, consommation de ressources, accessibilité de l'habitat, etc. En effet, une série de questionnements soutiennent les low-tech (remise en cause des besoins et de l'usage de la technologie, recherche de frugalité, minimisation de l'impact environnemental, etc.) et transforment la manière dont les habitats sont imaginés et construits. L'habitat est, de surcroît, un terrain d'innovation fertile : les low-tech ont exploré le champ des possibles vis-à-vis des techniques et matériaux utilisés, mais également concernant l'organisation de l'habitat et ses usages. Ce faisant, les démarches low-tech peuvent transformer la société en profondeur : les bâtiments sont non seulement des structures matérielles avec une longue durée de vie, mais influent également sur les modes de vie de leurs habitants et habitantes.

Cette reconfiguration s'opère à plusieurs niveaux, remettant en question par la même occasion les pratiques qui dominent le paysage de l'habitat actuel dans sa conception et durant sa phase d'utilisation.



Les Grands voisins installés sur le site de à Paris ont été un modèle de mixité des fonctions entre lieux de loisirs, associatifs, hébergement et culturel.

Crédit photo : Yes We Camp

Renouvellement des modèles urbains : la ville a-t-elle besoin du low-tech ?

Cet article fait suite à des travaux de recherche¹ qui avaient pour ambition d'interroger la pertinence d'une traduction de la démarche low-tech — appliquée généralement à des dispositifs techniques — à l'échelle urbaine et territoriale. Mobilisant un important état de l'art, ce travail souhaite mettre en évidence, par l'analyse critique, un ensemble de convergences, divergences et interrelations dans la pensée urbaine contemporaine. Par la comparaison, il distingue alors des aspects théoriques et pratiques qui pourraient être plus spécifiques à une approche low-tech des problématiques urbaines. Cette réflexion aboutit sur une définition possible de la ville low-tech, non comme concept fermé, mais comme produit d'un nouvel *urbanisme de discernement*.

Le fait anthropocène : nouvelle condition d'une pensée urbaine en plein renouvellement

Depuis quelques années, les éléments de langage traversant les domaines de l'architecture et de la conception urbaine, mais aussi une grande partie du discours politique sur l'aménagement et la ville, sont en pleine mutation. Nous assistons à un changement de paradigme qui trouve ses fondements dans une lecture révisée des conséquences de l'action humaine sur les bouleversements écosystémiques². Là où le développement durable cherchait à *atténuer* les externalités négatives de notre modèle productiviste, un nouveau cadre intellectuel, qualifié de *pensée anthropocène*, semble aujourd'hui se dégager. Cette pensée, en intégrant à sa réflexion l'instabilité

de notre écosystème, durablement bouleversé et sujet aux crises, quitte une certaine forme d'optimisme qui animait la pensée de la ville durable. C'est au milieu des années deux mille et à la suite de l'accident de Fukushima que cette appréhension de l'avenir aurait commencé à imprégner le discours architectural et urbain français³.

L'idée de *ville anthropocène* sert à décrire un état de l'urbanité des villes au XXI^e siècle, confrontées à un environnement géologique perturbé. La géographe Harriet Bulkeley aborde ainsi la question de la ville anthropocène comme le produit d'une évolution de ce qu'elle nomme *l'urbanisme stratégique*, mué en *urbanisme climatique*, « où l'action climatique serait désormais inscrite dans les priorités stratégiques du développement économique et urbain à l'échelle de la ville⁴ ».

Confrontée à une nouvelle série de défis — mêlant instabilité, imprévisibilité, accélération des bouleversements sociaux et écologiques — la ville, lieu d'expression du pouvoir et de la Cité⁵, est entrée dans une sorte de chantier intellectuel permanent, et se cherche, aujourd'hui encore, de nouveaux modèles fédérateurs⁶. Il est par exemple frappant d'observer l'évolution des thématiques urbaines abordées par le concours d'architecture et d'urbanisme Européen⁷. Si jusqu'en 2006, la plupart des sujets exploraient de manière transverse les sujets récurrents du projet urbain, *habitat, mode de vie, urbanité, intensité, paysage, mobilité...*, ces dix dernières années, les concepts de ville sont à l'honneur : *villes durables* (2008-2012), *ville adaptable* (2013-2015), *villes productives* (2016-2020), et *villes vivantes* (2021-).

Si tant est qu'il soit possible d'esquisser ses contours, la *phénoménologie* urbaine pourrait se définir comme le produit d'un mélange hétéroclite : entre des dynamiques et des rapports de forces sociétaux (économie, mœurs, expression publique...), des influences environnementales (climat, dissension, épidémies...), et des injonctions politiques (réglementations, stratégie de projets, visions...). Cet agencement humain produit une histoire (mémoire, identité, expérience...) de l'espace fluctuant (bâtiments, rues, places, parc...), ainsi que son lot d'externalités négatives (pollution, conflits sociaux, accidents...) et positives (émulation intellectuelle, mélange des cultures, liberté...).

¹ Travaux menés dans le cadre de l'étude « Urbalotek : pour des villes sobres et résilientes » (2020-2022), conjointement porté par l'agence Arep et l'Institut Paris Région, avec le soutien de l'Ademe Île-de-France : LOPEZ, C., LE BOT, N., SOULARD, O., DETAVERNIER, P., HEIL SELIMANOVSKI, A., TEDESCHI, F., BIHOUIX, P., PAPAY, A., *La ville low-tech : Vers un urbanisme du discernement*, Ademe - Institut Paris Région - Arep, 2021.
² LALLAU, B., « La résilience, moyen et fin d'un développement durable ? », *Éthique et économique/Ethics and Economics*, n° 8 (1), 2011.

³ MOSCONI, L., *Émergence du récit écologiste dans le milieu de l'architecture 1989-2015 : de la réglementation à l'anthropocène*, thèse, 2018.

⁴ BULKELEY, H., « Climate Changed Urban Futures : Environmental Politics in the Anthropocene City », *Environmental Politics*, vol. 30, n° 1-2, 2021, p. 266-284.

⁵ SENNETT, R., *Bâtir et habiter : pour une éthique de la ville*, Paris, Albin Michel, 2019.

⁶ PEYROUX, E., SANJUAN, T., « Stratégies de villes et "modèles" urbains : approche économique et géopolitique des relations entre villes : Introduction », *EchoGéo*, n° 36, 2016 [en ligne].

⁷ Organisé avec l'aide du Puca tous les deux ans.

Circulant au gré des mouvements de pensée, la réflexion urbaine repère des dysfonctionnements. Elle en isole alors des enjeux, et propose un certain nombre de solutions pour y répondre. Ces cheminements intellectuels sont parfois regroupés et mis en perspective sous forme de *modèles ou de concepts*, dont les acteurs de la ville se saisissent pour orienter leur action, définir leurs objectifs de projet, esquisser les contours d'une urbanité en devenir. Le « modèle » urbain renverrait ainsi, selon certains auteurs « à un ensemble d'objets, de politiques, de doctrines urbanistiques, de "bonnes pratiques" ou de labels partageant une caractéristique commune : celle de servir de référence à l'imitation ou à la reproduction dans un contexte autre que celui de sa production initiale⁸ ».

Nous entendons par *concept de ville*, un appareil intellectuel à visée opérationnelle, qui entend penser la ville sous un certain angle — en lui adjoignant un adjectif signifiant (ex : adaptable, durable, inclusive...), proposant une matrice de résolution de ses dysfonctionnements, tout autant qu'un imaginaire urbain désirable et stabilisé. Ces concepts n'ont pas vocation à prédire le futur, mais à proposer une trajectoire. Dans un entretien de 2018, le philosophe et physicien Étienne Klein invitait à « réactiver collectivement, publiquement, et politiquement un discours sur le futur ». Dans ce même esprit de réflexivité, produire, analyser ou critiquer ces concepts opérationnels, c'est en quelque sorte donner *un futur* au présent, et permettre ainsi au débat public d'aborder le devenir de la cité sur des bases *représentées*. C'est éveiller les imaginaires collectifs en proposant les conditions d'une *réflexivité*. De nombreux territoires manifestent aujourd'hui leur intérêt pour l'émergence de nouveaux modèles, mais ont parfois du mal à cerner les champs d'actions possibles, perdus dans les nombreux concepts de ville du futur, aux injonctions parfois contradictoires... la confusion règne.

Le concept de low-tech apporte-t-il quelque chose de plus au foisonnement de concepts de ville ?

Parmi ce foisonnement doctrinal, nous avons étudié un ensemble de concepts de ville relativement récents (*ville adaptable, à échelle humaine, circulaire, créative, frugale, sobre, inclusive, fabricante, des proximités, résiliente, smart, nature*, ainsi que la *biorégion urbaine*) — qui présentent des similitudes ou des antagonismes avec la définition du low-tech — et dans l'optique de cerner en creux les contours d'une possible « ville low-tech ».

⁸ PEYROUX, E., SANJUAN, T., *op. cit.*

Quels imaginaires pour la ville low-tech ? « Le XXI^e siècle sera le siècle des villes »

Les institutions internationales sont unanimes. Mais de quelles villes parle-t-on ? Le futur des métropoles se projette inéluctablement vers une technologisation toujours accrue.

Des travaux de l'Arep et de l'Institut Paris Région s'intéressent à la démarche low-tech appliquée à l'urbain, qui permettrait à la métropole d'être plus en phase avec les enjeux environnementaux et sociaux de notre époque : être plus sobre, plus robuste et plus conviviale pour retrouver les marges d'action indispensables à sa résilience. Ce saut d'échelle qui permet de passer d'une approche low-tech centrée sur des solutions techniques, à un système urbain au sens large parle de la ville à la fois dans sa matérialité et dans son mode de fonctionnement.

Construire d'autres récits pour le futur des villes

L'innovation technologique est partout. Elle est devenue le mantra des entreprises et des acteurs publics et infuse les imaginaires sur la ville du futur. On invoque l'innovation de rupture pour répondre aux grands défis environnementaux et économiques. On recherche des solutions technologiques pour endiguer le réchauffement climatique : fusion nucléaire, géo-ingénierie, stockage de carbone, stations solaires orbitales, intelligence artificielle...

La « tech » rêve aussi de la ville car sa densité permet des expérimentations de grande échelle. Elle est une vitrine pour la plupart des sièges

Résumés

NICOLAS VERNOUX-THÉLOT, JEAN-PAUL VERNOUX, ANISSA BEN YAHMED, THOMAS GARNESSON

Création d'un matériau innovant valorisant les algues de Sargasses échouées et les terres de chantier

L'objectif de ce programme de recherche est de développer un matériau de construction biosourcé innovant et géo-cyclé « Terre d'Algues ». Ce matériau valorise et recycle les terres excavées de chantier, qui représentent la plus grande part du volume total des déchets du secteur du BTP, et les sargasses échouées sur les plages. Ces dernières ont un impact négatif sur les écosystèmes côtiers et contiennent des métaux lourds qui limitent leur réutilisation et leur valorisation dans d'autres secteurs.

Les premiers résultats démontrent des propriétés thermiques remarquables, ce qui classe Terre d'Algues comme un des matériaux écologiques isolants les plus performants sur le marché. Son bilan carbone est positif grâce à la Sargasse qui sont de véritables puits de carbone et grâce à un procédé de fabrication low-tech et notamment un apport d'énergie limité lors des phases d'extraction et de fabrication. Bien que notre programme de recherche soit à mi-chemin, le matériau est très prometteur.

BENJAMIN CIMERMAN

Développer l'ingénierie du low-tech dans les bâtiments pour une résilience énergétique et climatique

Une ingénierie climatique nouvelle, orientée vers la sobriété et la résilience plutôt que vers la performance théorique et la sécurité du surdimensionnement, peine à émerger. L'expérimentation numérique présentée dans cet article vise à encourager une approche des questions de confort thermique et de consommation d'énergie ancrée dans les usages, esquissant par ce moyen les contours d'une ingénierie orientée vers la conception low-tech.

EMMANUELLE PATTE, HÉLOÏSE PELEN

Rénovation low-tech

En rénovation énergétique, le low-tech propose une démarche exploratoire et créative. Le low-tech s'appuie sur le contexte, donne le pouvoir aux usagers, élargit le périmètre habituel du projet et incite à utiliser des matériaux locaux. Les solutions low-tech sur l'enveloppe, sur les systèmes et aussi sur les abords apportent des réponses frugales, durables et participatives pour adapter les bâtiments à la transition climatique.

Concevoir, construire et occuper l'habitat low-tech

Cet article analyse les implications d'une déclinaison d'une démarche low-tech dans le secteur de l'habitat, de la conception et construction des bâtiments à leur occupation. En particulier, la démarche low-tech invite à un investissement fort des utilisateurs et utilisatrices à chacune de ces étapes. Systémique par essence, cette déclinaison porte une transformation bien plus large à l'échelle sociétale, en constituant la base d'un mode de vie à son image : sobre, frugal et inventif.

PAULINE DETAVERNIER, NILS LE BOT

Renouvellement des modèles urbains : la ville a-t-elle besoin du low-tech ?

Cet article est issu des travaux menés dans le cadre de l'étude « Urbalotek : pour des villes sobres et résilientes » (2020-2022), conjointement porté par l'agence Arep et l'Institut Paris Région, avec le soutien de l'Ademe Île-de-France. Ce projet de recherche avait pour ambition d'interroger la pertinence d'une traduction de la démarche low-tech – appliquée généralement à des dispositifs techniques – à l'échelle urbaine et territoriale.

Mobilisant un important état de l'art, ce travail souhaite mettre en évidence, par l'analyse critique, un ensemble de convergences, divergences et interrelations dans la pensée urbaine contemporaine. Par la comparaison, il distingue alors des aspects théoriques et pratiques qui pourraient être plus spécifiques à une approche low-tech des problématiques urbaines. Cette réflexion aboutit sur une définition possible de la ville low-tech, non comme concept fermé, mais comme produit d'un nouvel urbanisme de discernement.

CRISTINA LOPEZ, ODILE SOULARD

Quels imaginaires pour la ville low-tech ?

Le XXI^e siècle sera le siècle des villes. Mais de quelles villes parle-t-on ? Le futur des métropoles se projette inéluctablement vers une technologisation toujours accrue, au prix de pressions environnementales et sociales souvent croissantes. L'Arep et l'Institut Paris Région pensent que la démarche low-tech permettrait à la métropole d'être plus en phase avec les enjeux environnementaux et sociaux en étant plus sobre, plus robuste et plus conviviale à la fois dans sa matérialité et son mode de fonctionnement. Pensée de manière systémique à l'échelle urbaine et territoriale, la ville low-tech est innovante et permet de renouer avec l'idée de la Cité.

Les auteurs

BEN YAHMED Anissa

Ingénieur des Travaux publics de l'État et titulaire d'un Master 2 « Recherche » en bâtiment, Anissa Ben Yahmed travaille au sein de l'équipe du Cerema Est en tant que responsable d'études « Performance énergétique des bâtiments et des matériaux » après avoir été chargée de mission « Développement des filières vertes et des matériaux biosourcés » en Dreal Grand Est et Dreal Auvergne-Rhône-Alpes de 2015 à 2021.

CIMERMAN Benjamin

Ingénieur, Diplômé MSc « Informatics and architecture », RPI, États-Unis, fondateur et directeur du bureau d'études Éléments Ingénieries, enseignant en école d'Architecture.

DETAVERNIER Pauline

Architecte et titulaire d'un doctorat en architecture (Liat), la thèse de Pauline Detavernier portait sur la conception des cheminements piétons en gare, et plus largement sur la pratique de la marche dans les lieux de mobilité. Elle exerce depuis 2016 en tant qu'architecte chargée de recherche chez Arep et enseigne actuellement en tant que vacataire dans différentes écoles d'architecture, ainsi qu'aux Ponts et Chaussées.

GARNESSON Thomas

Ingénieur spécialiste de la construction en bois, il a rejoint Nobatek/Inef4 en 2014 et occupe le poste de chef de projets sur la thématique Matériaux et Systèmes constructifs. Il travaille sur la conception et l'évaluation de nouveaux produits pour la construction avec les industriels en réponse aux enjeux de la transition environnementale du secteur.

HABÉ Camille

Diplômée d'un master en politiques environnementales de Sciences Po Paris et d'un master en économie de la Stockholm School of Economics, Camille Habé est consultante chez Goodwill-management depuis 2020, et travaille notamment sur les missions low-tech et de mesure d'impact environnemental. Dans ce cadre, elle a participé à la rédaction du rapport *Démarches « low-tech »* pour l'Ademe.

JAEGER Romain

Diplômé d'HEC Paris et du master X-HEC Entrepreneurs, Romain Jaeger est aujourd'hui consultant chez Goodwill-management. Il a notamment contribué à la rédaction du rapport *Démarches « low-tech »* pour l'Ademe et a écrit un mémoire sur l'entrepreneuriat low-tech avec pour objectif d'aider les porteurs de projet low-tech à créer, pérenniser et diffuser leur projet.

LE BOT Nils

Architecte et titulaire d'un doctorat en urbanisme, enseignant-chercheur, les travaux d'analyse critiques et prospectifs de Nils Le Bot portent principalement sur les questions de morphologie urbaine, le dimensionnement des gares métropolitaines et sur les enjeux de la transition mobilité. Ces recherches l'ont également amené à questionner la soutenabilité du concept de smart city et à déconstruire une part de ses fondements conceptuels.

LOPEZ Cristina

Économiste à l'Institut Paris Région, Cristina Lopez s'intéresse à l'ensemble des enjeux à la croisée de l'environnement et de l'économie. Ses travaux portent à la fois sur le métabolisme territorial, l'économie circulaire, la création d'emplois dans la transition, l'approche systémique et la démarche low-tech plus récemment.

MARRY Solène

Titulaire d'un doctorat en urbanisme et coordinatrice économie circulaire et innovation dans le bâtiment au Service Bâtiment/ Direction Villes et Territoires Durables de l'Ademe, l'Agence de la transition écologique, Solène Marry est notamment l'auteur des ouvrages *L'espace sonore en milieu urbain* paru aux Presses universitaires de Rennes en 2013, *Territoires Durables, de la recherche à la conception* paru aux Éditions Parenthèses en 2018, *Adaptation au changement climatique et projet urbain* paru aux Éditions Parenthèses en 2020, *Intégrer l'économie circulaire Vers des bâtiments réversibles, démontables et réutilisables* paru aux Éditions Parenthèses en 2022.

MOIROUD Loraine

Titulaire d'un diplôme d'ingénieur avec une spécialisation en génie environnemental, Loraine Moiroud est aujourd'hui manager chez Goodwill-management. Dans ce cadre, elle a notamment contribué à la rédaction du rapport *État des lieux des démarches low-tech* pour l'Ademe. Elle enseigne également l'innovation frugale et les low-tech aux Mines de Saint-Étienne.

MORALES Éloïse

Diplômée d'un master en politiques environnementales de Sciences Po Paris, Éloïse Morales est consultante chez Goodwill-management depuis l'année 2020. Elle travaille notamment la prise en compte des enjeux environnementaux par les acteurs privés et publics, et les low-tech. Dans ce cadre, elle a notamment contribué à la rédaction du rapport *État des lieux des démarches low-tech* pour l'Ademe.

OLIVEIRA Alexandre

Diplômé d'un master en Management et actuellement en double diplôme ingénierie et management de l'environnement et du développement durable entre Sherbrooke (Québec) et l'Université de Technologie de Troyes, Alexandre Oliveira est aujourd'hui consultant stagiaire chez Goodwill-management. Il réalise par ailleurs son mémoire de fin d'études sur l'habitat low-tech.

PATTE Emmanuelle

Architecte associée à méandre, etc', Emmanuelle Patte œuvre pour chercher par le dessin les meilleures solutions spatiales en partant de l'esprit des lieux, de ce qui est déjà là, en ayant pour objectif des bâtiments confortables, faciles à entretenir et agréables à vivre tout en étant très économe en énergie, une façon d'agir pour la paix. Sa devise : que l'envers vaille l'endroit.

PELEN Héloïse

Ingénieur thermique énergie et environnement, Héloïse Pelen est spécialisée dans la rénovation de bâti ancien. Ses propositions visent à respecter le caractère patrimonial et la logique initiale de la construction, le déjà-là, et prendre en compte en amont les utilisateurs pour concevoir les systèmes adaptés, low ou high-tech, dans une logique de frugalité.

SOULARD Odile

Économiste-urbaniste à l'Institut Paris Région, l'expertise de Odile Soulard porte sur les apports croisés de la culture et de l'innovation au développement économique et social des métropoles (économie créative, réseaux et dynamiques de clusters, campus, écosystèmes d'innovations, démarches low-tech...), dans des contextes urbains locaux et internationaux.

VERNOUX Jean-Paul

Actuellement professeur émérite à l'Université de Caen depuis 2014 et spécialiste de biochimie et microbiologie et de la Ciguatera aux Antilles, des toxines naturelles, des ETM, des POP et autres polluants marins, Jean-Paul Vernoux a mis son expertise en toxicologie et analyse de risques sanitaires (ERS) acquise à l'Anses (2006 à 2018) au service de la micro entreprise qu'il a créée Tox'Sea'In créée en janvier 2021.

VERNOUX-THÉLOT Nicolas

Fondateur et gérant du cabinet d'architecture Insitu Inc, Nicolas Vernoux-Thélot est architecte DPLG, botaniste (MNHN) et natif des Antilles par sa mère. Il est lauréat du Prix public des Architectures contemporaines de la Métropole parisienne, du prix européen « 40 Under 40 architects », du prix international Architecture Masterprize et nommé en 2020 au prix Afex monde. Il est l'inventeur du procédé Terre d'Algues.

Table

Philippe Bihouix « Low » is beautiful ?	5
Solène Marry (Ademe) Introduction	11
Nicolas Vernoux-Thélot, Jean-Paul Vernoux, Anissa Ben Yahmed, Thomas Garnesson Création d'un matériau innovant valorisant les algues de Sargasses échouées et les terres de chantier	21
Benjamin Cimerman Développer l'ingénierie du low-tech dans les bâtiments pour une résilience énergétique et climatique	37
Emmanuelle Patte, Héroïse Pelen Rénovation low-tech	55
Romain Jaeger, Loraine Moiroud, Éloïse Morales, Alexandre Oliveira, Camille Habé Concevoir, construire et occuper l'habitat low-tech	71
Pauline Detavernier, Nils Le Bot Renouvellement des modèles urbains : la ville a-t-elle besoin du low-tech ?	89
Cristina Lopez, Odile Soulard Quels imaginaires pour la ville low-tech ? « Le xxi^e siècle sera le siècle des villes »	105