

LA PREFABRICATION CONTEMPORAINE : UNE OPPORTUNITE POUR DE NOUVEAUX SAVOIR-FAIRE ?

Eva Madec

LéaV – Laboratoire de l’Ecole Supérieure Nationale d’Architecture de Versailles – EUR HCP CY
Cergy Paris Université

Direction de thèse : Gabriele Pierluisi – Professeur HDR à l’ENSA de Versailles ATR, Architecte et
artiste-peintre, & Stéphane Berthier – Maître de conférence titulaire à l’ENSA de Versailles STA,
Architecte

- coordonnées mail : eva.madec@versailles.archi.fr.

1 Contexte

37¹ est le pourcentage de gaz à effet de serre émis pour l’exploitation et la construction des bâtiments dans le monde en 2022. En France, ce chiffre est légèrement inférieur, 23%², avec 40 % pour la phase d’exploitation et 60% pour la phase de construction³. Pour tenter de répondre aux accords de Paris et d’essayer de réduire les gaz à effet de serre (GES) de la construction en France, la nouvelle réglementation environnementale est rentrée en vigueur progressivement depuis janvier 2022. Face à ces nouvelles obligations réglementaires et à la crise globale que connaît le secteur du bâtiment (pénurie de mains d’œuvre, de matières premières, de ressources, coût de la construction en hausse, manque de logements etc.), nous voyons apparaître la notion de construction hors-site chez les acteurs du secteur mais aussi chez les politiques⁴.

Derrière ce néologisme se cachent des notions qui ont déjà été questionnées et expérimentées dans le passé : la préfabrication et l’industrialisation de la construction. À l’époque, les arguments : économiques, sociaux, temporels, de productivité, etc. étaient déjà mis en avant. Aujourd’hui, le nouvel argument est celui de la réduction de l’impact carbone pour répondre à la crise climatique. Sans refaire l’histoire de la préfabrication, cette dernière a pris différentes formes, a connu des réussites comme des déboires. Une multitude de brevets ont été déposés en quelques années, surtout durant la reconstruction. De nombreux historiens se sont penchés sur le sujet, dont Yvan Delemontey qui retrace l’histoire de la

¹ United Nations Environment Programme (2023) Building Materials and the Climate : Constructing a New Future. United Nations. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293>.

² Source : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/construction-performance-environnementale-du-batiment#:~:text=Le%20secteur%20du%20b%C3%A2timent%20repr%C3%A9sente,sensibilise%20les%20acteurs%20du%20secteur>, consulté le 16/08/2023.

³ Source : Association BBKA, Carbone et Bâtiment, sur le site <https://www.batimentbas carbone.org/carbone-batiment/> consulté le 11/03/2022.

⁴ En janvier 2021, un rapport sur « L’industrialisation de la construction » a été rédigé par Bernard Michel et Robin Rivaton pour le Ministère en Charge du Logement. En novembre 2022, Emmanuel Macron évoque la construction hors-site lors de son entretien avec Olivier Salleron de la FFB durant les 24 heures du bâtiment. En juin 2023, c’est la première ministre Elisabeth Borne qui mentionne la construction Hors-site lors de son discours pour la restitution des travaux du Conseil National de la Refondation. Enfin, c’est Gabriel Attal, en tant que premier ministre qui évoquera le sujet en février 2024 lors d’une visite d’un chantier à Villejuif.

reconstruction en France aux travers des nombreux procédés de préfabrication lourde⁵. Cette période a été marquée par l'hégémonie du béton, malgré la présence d'autres matériaux comme le métal et le bois, qui étaient plus marginaux. Aujourd'hui, nous savons que la fabrication du ciment représente environ 7% des GES dans le monde. La préfabrication, ou construction hors-site comme nous l'appelons maintenant, se tourne vers le bois mais aussi d'autres matériaux géosourcés ou biosourcés⁶. En effet, même s'il existe encore des produits préfabriqués en béton comme les prémurs et les escaliers, le regain d'intérêt pour la préfabrication est revenu avec le développement de la construction bois en France. Cette dernière étant intrinsèquement préfabriquée allant d'un simple système poteaux – poutres aussi appelé 1D, passant par les panneaux 2D (ossatures, CLT, etc.) qui correspondent à des murs ou planchers, ou encore des solutions 3D. Cette classification n'est pas sans rappeler les catégories de solutions qui existaient déjà dans le passé. Au-delà du bois, la préfabrication s'oriente aussi vers de nouveaux matériaux : les matériaux géo et biosourcés comme la terre crue, la paille ou encore le béton de chanvre.

2 Panorama

Depuis quelques années, les matériaux géosourcés et biosourcés sont mis en lumière, comme dans l'exposition *Terrafibra Architectures* au Pavillon de l'Arsenal à Paris⁷. Ces matériaux permettraient de décarboner la construction et de renouer avec des architectures locales, des savoir-faire ancestraux, et avoir recours à des ressources renouvelables dans certains cas. Cependant, ils restent chers pour pouvoir y recourir à grande échelle. C'est la promesse que fait la construction hors-site : rendre accessible ces matériaux géo ou biosourcés dans les années à venir⁸. Actuellement, lorsque que la construction hors-site est évoquée, nous faisons principalement référence au bois sous différentes formes, avec différents niveaux de finition et d'incorporation. Les travaux de second œuvre ont encore du mal à être embarqués, et les constructions en module 3D sont majoritairement appliquées à des logements spécifiques et quelques équipements⁹, comme les crèches. En parallèle du bois, des solutions avec d'autres matériaux biosourcés ou géosourcés se développent. Sans refaire les débats entre l'industrialisation et l'artisanat, cet article propose un court panorama de solutions préfabriquées émergentes à partir de trois matériaux : la paille, le chanvre et la terre crue. Il s'appuiera sur quelques exemples d'applications, notamment dans le logement social.

2.1 Paille

En 1920, M. Feuillette, ingénieur français, a construit sa maison à Montargis à partir de ressources locales : le ballot de paille, déchet de l'agriculture qui a été standardisé. Il serait l'un des premiers à avoir utilisé ces ballots pour remplir des murs à ossature bois. Cent ans plus tard, cette maison est toujours sur pied et abrite le Centre National de la Construction Paille. De nos jours, la paille est remise en avant pour ses performances isolantes. Elle est insérée sur le chantier, dans des montants en ossature bois, ce qui génère parfois des chutes et des déchets de

⁵ Delemontey Y. (2015). *Reconstruire la France : L'aventure du béton assemblé: 1940-1955*. Éditions de la Villette.

⁶ Des solutions en béton, en métal ou avec mixité de matériaux existe aussi.

⁷ Exposition du 24 novembre 2021 au 27 février 2022 coproduite par le Pavillon de l'arsenal, Amàco et les Grands Ateliers, commissaires scientifiques invitées : Dominique Gauzin-Müller et Anne Lambert.

⁸ A l'instar, de la préfabrication dans les années 50/70 qui visait à réduire les couts de construction.

⁹ Logements étudiants, hôtels, foyers, bâtiment scolaire, etc.

paille ainsi que des soucis d'uniformité dans la mise en œuvre. À partir de ce constat, certains acteurs de la construction ont décidé de créer des usines de préfabrication de murs en ossature bois avec un remplissage en paille. D'après les industriels, la production de ces panneaux en usine permettrait de conditionner la paille, de la travailler, de la mettre en œuvre, de gérer : les stocks, la chaîne d'approvisionnement et le lien avec les agriculteurs locaux. Aujourd'hui, les murs bois/paille dépendent généralement de la largeur du ballot de paille soit 37 cm, et aussi de sa densité qui doit être comprise en 80 et 120 kg/m³ ¹⁰. Certains industriels sont en train de développer leur propre machine pour reconditionner et recompresser de nouveaux ballots de paille à la dimension nécessaire pour assurer la résistance thermique des projets, tout en assurant la densité réglementaire et ne plus dépendre des dimensions du secteur de l'agriculture.

Ces panneaux 2D mixtes en bois et en paille peuvent être utilisés pour la construction neuve comme pour la réhabilitation ou la rénovation, et pour tout type de programme. Par exemple, l'agence MU architecture a réalisé un collège pour le département de Meurthe et Moselle à Nancy à partir de ce type de procédé. L'agence NZI architectes travaille aussi avec ce système de murs préfabriqués en ossature bois et remplissage paille. Elle a conçu différents projets grâce à cette solution, comme la transformation de bureaux en logements étudiants dans le 15^{ème} arrondissement de Paris ou encore les logements en bande à Nogent Le Rotrou, projet de 13 logements sociaux¹¹ dans lequel ils ont tenté de pousser le niveau de préfabrication en équipant les murs à ossature bois (MOB) avec le bardage bois directement en usine.

2.2 Chanvre

À l'image de la paille, la mise en œuvre du chanvre sur le chantier est très « salissante ». En effet, le chanvre est utilisé avec de l'eau et un liant, comme la chaux, pour fabriquer du béton de chanvre. Sur chantier, il est projeté sur les parois, ce qui génère des projectiles et donc de la saleté. Ce mélange nécessite un temps de séchage particulier et donc des conditions de température et d'hygrométrie spécifiques. À l'instar de la paille, certains ont décidé de déplacer cette tâche dans une usine, afin de gérer la mise en œuvre, l'homogénéité du mélange et le séchage. Par exemple, l'entreprise Wall'Up préfa, contrairement au chantier classique, a développé une machine lui permettant de couler le béton de chanvre dans des panneaux de bois plutôt que de le projeter. Lors de la création de l'atelier et de cet outil, il a été mis en place un système de récupération et de réutilisation des eaux usées afin de réduire la pollution des sols. Un autre élément intéressant concernant la création de cet atelier, est son implantation à quelques mètres seulement de la chanvrière qui le fournit en matières premières. Les préfabricants ont décidé de s'inscrire dans un réseau local, déjà existant. La chanvrière s'appuie sur une centaine de producteurs, qui se situent dans un rayon d'environ 50 kilomètres de cette usine de transformation. La culture du chanvre s'inscrit dans une logique globale pour les agriculteurs. Elle est réalisée en rotation avec d'autres plantations, et leur permet de diminuer leur consommation de produit phytosanitaire sur l'année et aussi d'améliorer leurs autres cultures. Le chanvre étant une plante rustique, il s'adapterait à tous les sols, nécessiterait peu d'engrais et d'irrigation, et aucun traitement chimique. Il permettrait surtout de réduire la présence d'adventices, favoriserait la présence d'insectes aidant à la protection des plantations contre des espèces préjudiciables et laisserait un sol propice aux autres cultures.

Pour revenir aux panneaux de bois et de béton de chanvre, l'épaisseur et le complexe peuvent varier selon la préconisation des projets et les études réalisées par les BET et/ou l'industriel. Une étude conjointe permet une conception adaptée aux outils de production, qui peuvent varier

¹⁰ En générale la hauteur est aussi fixe à 47 cm et la largeur varie entre 80 et 120 cm.

¹¹ Projet réalisé pour Nogent Perche Habitat, livré en 2019.

selon les industriels, ce qui contribue à une maîtrise des coûts. La pose des menuiseries et des revêtements extérieurs comme des bardages peut être réalisée en usine, mais cela est rarement le cas pour des raisons de fournitures, d'assurances et de limite de prestations. Les murs sont souvent des parallélépipédiques. Néanmoins, l'agence Palast et l'atelier d'Architecture Ramdam ont conçu des murs avec des angles arrondis qui ont été mis en œuvre pour un projet de 81 logements, en R+6, à Nantes dans la ZAC Mellinet. Cette mise en œuvre légèrement différente reflète à la fois la collaboration entre acteurs, et aussi une certaine souplesse de l'outil industriel. Néanmoins, cet exemple ouvre sur de nouvelles grandes questions à propos de la préfabrication : jusqu'où cette souplesse est-elle possible, et quelles sont ses limites. Par le passé, il fallait des grandes séries pour que la conception de solutions soit économiquement intéressante, est-ce toujours le cas ? quelle est la taille minimale d'une série ? De nombreuses interrogations qui ne semblent pas avoir de réponses univoques pour le moment, mais qui dépendraient principalement des outils industriels utilisés.

2.3 Terre

Dernier matériau de ce panorama, la terre crue, matériau ancestral utilisé par de nombreuses civilisations avec différentes techniques et savoir-faire. En 1999, après plusieurs années à travailler la terre crue, l'autrichien Martin Rauch fonde une entreprise de murs de pisé préfabriqués, *Lehm, Ton, Erde GmbH*, dans le Vorarlberg¹². L'usine de préfabrication a connu une évolution majeure avec le projet d'Herzog et de Meuron pour La Maison des plantes de Ricola en Suisse. Cet entrepôt de séchage de plantes reste toujours l'un des plus grands bâtiments réalisés en terre crue avec ses 110 mètres de long par 30 mètres de large et 11 mètres de haut. L'usine se situait à environ 5 kilomètres du chantier, et pour garder cette logique de production locale, elle a utilisé des terres provenant d'une dizaine de kilomètres. Le projet, et son budget, ont permis à l'entrepreneur de développer un automate, appelé Roberta, qui permet de fabriquer des murs de 50 mètres de long et de les compacter. Après avoir été compactés mécaniquement, les murs sont sciés, numérotés puis séchés pendant plusieurs semaines¹³. Les murs sont finalement transportés et assemblés sur le chantier, avec un travail de joints réalisés manuellement. Afin de gérer l'érosion de la terre, il est de plus en plus courant de recourir à du pisé dit « stabilisé ». Il s'agit d'un mélange de terre avec une faible proportion de ciment ou de chaux. Pour autant, cet ajout rend la terre impropre au recyclage et à sa réutilisation pour faire de nouveaux murs, ou encore de la retourner directement dans le sol. Pour éviter cela, Martin Rauch accepte une érosion limitée qu'il assure l'aide de couches, réalisées tous les 60 centimètres environ, et confectionnées à partir d'un mélange à base de chaux. La fabrication en usine de ces murs de pisé permet de les produire 365 jours par an, et de ne plus dépendre des conditions météorologiques pour la mise en œuvre et le séchage de la terre.

Avec cette technique, l'agence :mlzd a pu concevoir des murs pour le centre de visite de la station ornithologique à Sempach en Suisse, situé à environ 200km de l'usine. Au regard du poids et de la démarche de production locale, Martin a développé des usines temporaires. Cependant, à cause de la taille des machines, leurs déplacements étaient coûteux, cela a beaucoup nui aux coûts des murs.

En France, des industriels commencent à s'inspirer du système de Martin Rauch. Cela a notamment permis à l'agence Déchelette Architecture de construire un immeuble en R+4, de 8 logements sociaux avec une façade entière en pisé préfabriqué, et dans lequel il y a également du bois et de la pierre.

¹² La contribution de Susanne Stacher, *Learning from : la régénération du Vorarlberg grâce aux filières bois et terre*, présentée pour ce colloque présente plus en détail l'histoire de Martin Rauch.

¹³ BENGANA Alia (2024), « Entretien avec Martin Rauch et Martin Mackowitz », in : *Revue Tracés 3540 : Hors-site*, espazium, Zurich, Suisse, p17-21. <https://www.espazium.ch/fr/actualites/les-nouvelles-voies-de-la-prefabrication-terre>

3 Collaborations et numérique

Comme évoqué précédemment, la préfabrication revient sur les devants de la scène. Aujourd'hui, elle se tournerait vers les matériaux géosourcés et biosourcés, comme nous avons pu le constater au travers de ces quelques exemples. Au-delà de la question des matériaux, ce qui est intéressant de faire ressortir de ces initiatives, c'est le développement de nouveaux outils qui s'inspirent à la fois du monde artisanal et industriel. Pour permettre l'appropriation de ces outils et de leurs contraintes par les concepteurs, la question de la collaboration est souvent soulevée.

Cette collaboration permettrait d'assurer à la fois la bonne mise en œuvre, mais aussi la maîtrise des coûts. Pour l'instant, les solutions dites hors-site mentionnées précédemment restent onéreuses, mais elles sont plus chères au regard des matériaux utilisés, leurs équivalents in situ restent également coûteux. Pour réussir cette collaboration, certains réinterrogent les montages classiques des opérations. Par exemple, le bailleur social Immobilière 3F expérimente différents montages dans le cadre des marchés de la commande publique avec : des conceptions réalisations, des consultations en phase amont, notamment sur le rendu d'avant-projet (AVP), ou encore ce qu'ils ont appelé la loi MOP¹⁴ inversée. Cette dernière consiste à réaliser en premier un appel d'offres d'un groupement entreprise/industriel sur une étude de faisabilité. Le groupement retenu a dû rédiger un cahier des charges techniques qui a été inséré dans les pièces programmatiques du concours de maîtrise d'œuvre (MOE). À cette étape de concours, il fut intéressant de constater que les quatre équipes de conception ont fait des propositions très différentes les unes des autres, et n'ont pas été limitées par ce nouveau cahier des charges techniques. Après la sélection d'une équipe de conception, une phase de négociations a eu lieu avec une révision du prix, qui dépendait d'un prix pivot défini lors de l'appel d'offres des entreprises. Ensuite, un contrat d'interface a été mis en place pour assurer l'indépendance de la MOE vis-à-vis de l'entreprise et de l'industriel. Ce choix a été fait pour éviter certaines mauvaises expériences en conception-réalisation dues au déséquilibre entre l'Entreprise Générale et les MOE. Le projet, en cours d'expérimentation, est un projet situé en Seine et Marne dans la commune de Trilport. Il est composé de deux bâtiments : l'un, avec 46 logements familiaux, réalisé avec des façades à ossatures bois, et le second est un foyer jeunes travailleurs, composé de 78 T1 dont 65 réalisés à partir d'un système modulaire 3D bois, et 8 T1 bis pour les personnes mobilités réduites. Le rez-de-chaussée, les T1 bis et les espaces communs ne sont pas réalisés en modulaire 3D bois pour des raisons techniques. Le projet n'étant pas encore livré, les conclusions de cette expérience ne sont donc pas finalisées. Néanmoins, il est intéressant de noter que, lors d'une table ronde organisée par la Maison de l'architecture Île-de-France en novembre 2023¹⁵, le représentant de l'entreprise générale et l'architecte ont tous les deux mis en avant qu'ils avaient dû apprendre « à chausser les chaussures de l'autre » lors des étapes de conception du projet. Cette remarque suggère que nous devons revoir nos manières de collaborer lors de nos projets afin d'améliorer notre compréhension des enjeux de chacun, et ainsi mieux travailler ensemble.

Le numérique peut aussi être une opportunité pour aller plus loin dans cette idée de collaboration et de partage. Il y a quelques années, une agence d'architecture anglaise, architecture 00, a développé un système préfabriqué la Wikihouse, qu'elle a rendu Open Source. Une plateforme internet permet de télécharger : des blocs numériques, permettant de concevoir la structure de projets, et aussi les fichiers de commandes numériques associés. Le site internet regroupe aussi des guides de recommandations, des retours d'expérience, etc. Ce système a permis de sensibiliser sur le sujet de l'open source en architecture et surtout de construire des projets comme la transformation d'espace dédiés aux JO de Londres en ateliers de coworking, the Trampery at the Gantry, réalisé par l'agence Hawkins\Brown ou encore de logements au

¹⁴ Loi relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée.

¹⁵ Organisée dans le cadre de la matinale Hors-site et commande publique : retour d'expérience de projets de logements sociaux le 29 novembre 2023 par la Maison de l'architecture Île-de-France.

Danemark avec le projet De Stripmaker à Almere conçu par l'agence Ontwerpburo Muller. Au-delà de la collaboration à grande échelle et de la concurrence entre agence d'architecture, ce système interpelle également sur notre rapport à la production. Grâce aux partages de ces fichiers de commande numérique, chacun peut aller dans un fablab à proximité de chez soi afin de fabriquer les éléments. Cela questionne à la fois la taille des industries et aussi leur maillage dans le territoire. Ici le système s'applique à des machines de découpes de bois, demain elle pourra peut-être s'appliquer à de nouveaux outils ou de nouveaux matériaux.

4 Perspectives et opportunités

En résumé, au travers de ce court panorama et les exemples de réalisations, notamment dans le logement social, la préfabrication semble être une solution pour rendre plus accessibles les matériaux géosourcés ou biosourcés. Néanmoins, la démonstration reste encore à étayer. A l'heure actuelle, il ne s'agit que de quelques exemples marginaux. Par le passé, les partisans de la préfabrication prônaient déjà ces arguments économiques. Pour autant, cela semblait aussi controversé. Jean Prouvé explique dans le livre *Jean Prouvé par lui-même* que l'

« industrialisation [en parlant de la préfabrication lourde] ne coûtait pas moins cher que la construction traditionnelle. J'ai remarqué à l'époque que lorsqu'on mettait en concurrence une grosse firme telle Camus¹⁶ avec un petit entrepreneur local pour faire les mêmes logements, le petit entrepreneur local qui réalisait avec des moyens traditionnels allait beaucoup plus vite et était moins cher que Camus. C'était très net. Et il était content d'avoir fait son petit immeuble dans l'année. La différence était que Camus en fabriquait beaucoup plus. Comme il y avait nécessité de construire beaucoup de logements, Camus apportait ce qu'on appelle un service rendu. Mais il le faisait payer cher, horriblement cher. Le prix du logement en panneaux de béton s'avère scandaleusement onéreux. »¹⁷

Aujourd'hui, la préfabrication connaît un regain d'intérêts, notamment politiques car, comme nous avons pu le constater, elle pourrait présenter certains avantages. Cependant, elle doit encore faire ses preuves. Nous devons rester conscients que les dérives, comme celles que nous avons connues, ou d'autres, sont toujours possibles. C'est pourquoi, il est important d'avoir des acteurs engagés sur le sujet, et que les architectes s'en saisissent afin d'en faire une opportunité : pour apprendre de ces initiatives locales, et bien d'autres, et pour partager de nouvelles manières de faire. Nous ne pouvons plus croire en une réponse simple, en une solution unique, généralisable, et à sa massification comme certains préfabricants tentent encore d'instaurer. Au-delà de l'accessibilité des matériaux géosourcés et biosourcés, la préfabrication est aussi une occasion plus large de se questionner sur nos pratiques constructives : consommation de matière, apprentissage, réseau local, rapport à la technique, et surtout sur le rôle de chaque acteur dans les processus usuels de construction afin de remettre de l'intelligence collective au sein de nos projets.

¹⁶ Raymond Camus est un ingénieur français et fondateur d'une entreprise de préfabrication lourde. Il développe des panneaux préfabriqués en béton, connus sous le nom de système Camus, qu'il exporta dans de nombreux pays dans le monde entier.

¹⁷ PROUVE, J., & LAVALOU A. (2001). *Jean Prouvé par lui-même*, Editions du linteau, Paris, p 57-58.

Bibliographie

- BENGANA A. (2024), « Entretien avec Martin Rauch et Martin Mackowitz », in : *Revue Tracés 3540 : Hors-site*, espazium, Zurich, Suisse, p17-21.
- Bouchet-Blancou, G. (2020). *Préfabrication de l'habitat : Une histoire technique et culturelle*. L'Harmattan.
- Centre de création industrielle (Éd.). (1983). *Architecture et industrie : Passé et avenir d'un mariage de raison [exposition, Paris, Centre de création industrielle, Centre Georges-Pompidou, 27 octobre 1983-23 janvier 1984]*. Centre de création industrielle.
- Delemontey Y. (2015). *Reconstruire la France : L'aventure du béton assemblé: 1940-1955*. Éditions de la Villette.
- Fares, K. (2012). *L'industrialisation du logement en France (1885-1970) : De la construction légère et démontable à la construction lourde et architecturale* [These de doctorat, Paris, CNAM].
- GAUZIN-MÜLLER D. , LAMBERT A. (2022), exposition TerraFibra Architectures, Pavillon de l'arsenal, Amàco et les Grands Ateliers, Paris.
- Graf, F., & Delemontey, Y. (2020). *Histoire et sauvegarde de l'architecture industrialisée et préfabriquée au XXe siècle*. EPFL press.
- Maison de l'architecture Ile-de-France (2023), Exposition « hors-site mais pas hors-sol », Paris.
- Michel, B., & Rivaton, R. (2021, janvier). *L'industrialisation de la construction*. Rapport pour le Ministère chargé du Logement.
- PROUVE, J., & LAVALOU A. (2001). *Jean Prouvé par lui-même*, Editions du linteau, Paris.
- Resendiz-Vazquez, A. (2010). *L'industrialisation du bâtiment : Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973)* [These de doctorat, Paris, CNAM]. <https://theses.fr/2010CNAM0716>
- Sennett, R. (2010). *Ce que sait la main : La culture de l'artisanat*. Albin Michel.
- Solopova, N. (2021). *La préfabrication en URSS : Concepts techniques et dispositifs architecturaux*. DOM Publishers.
- United Nations Environment Programme (2023) *Building Materials and the Climate : Constructing a New Future*. United Nations. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43293> .