



HAL
open science

Grave-Acte! La réversibilité des gravats de démolition

Éloïse Van Steenkiste

► **To cite this version:**

Éloïse Van Steenkiste. Grave-Acte! La réversibilité des gravats de démolition. Architecture, aménagement de l'espace. 2023. dumas-04111615

HAL Id: dumas-04111615

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04111615>

Submitted on 31 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GRAVE-ACTE ! LA RÉVERSIBILITÉ DES GRAVATS DE DÉMOLITION



ELOÏSE MÉMOIRE DE MASTER - SOUTENU LE 9 JUIN 2022 - SOUS LA DIRECTION DE GÉRALDINE GINESTET
VAN STEENKISTE MÉMOIRE MENTION RECHERCHE - SOUTENU LE 24 JANVIER 2023 - SOUS LA DIRECTION D'ALINE BARLET
SÉMINAIRE 'ARCHITECTURE, INGÉNIERIE, ENVIRONNEMENT ET VILLE DURABLE'
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

IMAGE DE COUVERTURE : ELŐISE VAN STEENKISTE

GRAVE-ACTE !

LA RÉVERSIBILITÉ DES GRAVATS DE DÉMOLITION

ELOÏSE VAN STEENKISTE

MÉMOIRE DE MASTER - SOUTENU LE 9 JUIN 2022 - SOUS LA DIRECTION DE GÉRALDINE GINESTET
MÉMOIRE MENTION RECHERCHE - SOUTENU LE 24 JANVIER 2023 - SOUS LA DIRECTION D'ALINE BARLET
SÉMINAIRE 'ARCHITECTURE, INGÉNIERIE, ENVIRONNEMENT ET VILLE DURABLE'

Quand on projette d'utiliser de façon insolite un matériau, une technique de construction ou un élément architectural, on se heurte toujours à quelqu'un qui vous répond : « C'est impossible », pour la simple raison que personne ne s'y est encore hasardé.

Piano, R., Brignolo, A., Bauer, C. (1997).

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

REMERCIEMENTS

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements à ma directrice de mémoire, Géraldine Ginestet, pour son encadrement.

J'adresse ma sincère reconnaissance à Aline Barlet, ma directrice de mention recherche, qui m'a fourni les outils nécessaires à l'écriture de ce mémoire malgré le contexte, qui par ses conseils et ses critiques a guidé mes réflexions. Je tiens également à la remercier pour l'intérêt constant qu'elle a porté aux différents sujets de mon mémoire et de mon projet de fin d'étude. Sa présence et sa fiabilité m'ont beaucoup rassurée.

Mes remerciements sont aussi destinés à tous les intervenants qui m'ont accordé de leur temps afin de répondre à mes questions et de mener à bien mes entretiens. Mais aussi à tous ceux dont j'ai croisé la route, qui m'ont aidé de leur savoir, de leurs encouragements et de leurs critiques bienveillantes afin de stimuler et nourrir mes réflexions et mon travail.

Je tiens à remercier ma mère pour son accompagnement plus qu'important durant toutes mes années d'études.

A Théo, son frère et leurs parents pour leur soutien sans faille et leurs attentions quotidiennes tout au long de l'écriture de ce mémoire.

Remerciements également à mon père, pour ses nombreuses relectures et corrections consciencieuses du début à la fin.

Enfin, je souhaite remercier Léa et tous mes amis pour leurs encouragements et leurs intérêts constants depuis de longs mois.

AVANT-PROPOS

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Si nous posons le bilan de notre société et du capitalisme sauvage comme prédateur et destructeur, alors nous avons aussi le devoir de le repenser. L'épuisement grandissant des ressources et l'accumulation sans fin des déchets nous projettent dans une impasse, qu'il nous faut contourner. Dans cette perspective, nous devons prendre la responsabilité des enjeux d'aujourd'hui, pour vivre dans un monde plus durable demain. Ce document présente mon travail de recherche pour le Master en Architecture sur la possibilité de recyclage des gravats de démolition à l'ère de l'Anthropocène. Cette étude s'accompagne de nombreuses réflexions sur une société en mutation dont les enjeux environnementaux sont devenus critiques.

À l'origine de ces réflexions, est le constat que la société a, depuis le début de la révolution industrielle au XIX^e siècle, accéléré considérablement l'exploitation des sols et l'extraction des ressources. Le développement des transports et des méthodes de travail nous a fait passer d'un modèle d'exploitation local à un système où de nombreux éléments du secteur de la construction sont manufacturés et transportés. Ces activités humaines ont mené notre société à une gérance linéaire des ressources et ont aujourd'hui un impact global sur l'écosystème terrestre. Le triptyque extraire, consommer, jeter ne doit plus être majoritaire. Le paradigme actuel nécessite d'être déconstruit afin d'évoluer petit à petit vers un modèle circulaire et renouvelable. Une mutation doit s'opérer dans le domaine de la construction, modifiant la gestion et la durée de vie d'un matériau, de sa naissance à sa revalorisation.

Lors de mon stage de troisième année au sein de l'agence d'architecture SCAU à Paris en 2019, mes connaissances se sont ouvertes à l'économie circulaire. Cette agence d'architecture a développé une unité de recherche afin de procéder au réemploi de la matière dans ses différents projets. J'ai voulu investiguer sur ces pratiques au moment de mon mémoire de Licence. Le réemploi, secteur de l'économie circulaire, inclut différents niveaux : les terres d'excavation, les éléments issus des déconstructions sélectives et les matériaux usinés du second œuvre. Il m'a paru primordial d'évoquer le processus du réemploi par le biais d'un matériau d'antan, la brique, façonnée par le temps, comportant des aspérités, qui conte un récit, une manière de faire. Ce sont de ces irrégularités que les enjeux du réemploi se composent, car la mise en œuvre de la substance usée est un réel défi. Ainsi, mon mémoire de Licence intitulé *Brick à vrack* concernait le réemploi de la brique de terre cuite. Ces recherches m'ont permis d'en apprendre plus sur les matériaux de construction, la production des déchets inertes de chantier et les pratiques du réemploi et du recyclage, mais également de constater qu'il y a de nombreuses limites à la circularité des matériaux de construction. En effet, la brique ne peut être réemployée pour les parties structurelles d'un futur projet et cela la conditionne à ne devenir qu'un parement de façade ou un objet en soi. C'est

également un matériau qui nécessite un soin particulier lors de sa dépose, or les chantiers de déconstruction sélective restent encore trop rares, limitant donc son réemploi.

C'est en liant ces différents constats et recherches que mon envie de travailler, pour ce mémoire de Master, sur le recyclage des déchets inertes de démolition, s'est développée. Ces déchets, si caractéristiques, que l'on nomme gravats, mal aimés, sont pourtant porteurs de grandes valeurs et doivent maintenant être considérés comme une ressource première, au sein d'un secteur de plus en plus ouvert et innovant dans lequel tout semble presque possible, où la matière peut réellement être réinventée. Ce sujet donne lieu à de nombreuses investigations et à mon tour, je souhaite à mon échelle et sans prétention, y apporter ma réflexion. Ce mémoire, qui arrive lors du second et dernier cursus de mes études, me permet de questionner mon rapport à l'architecture, à la ville et à ce que seront mes futures pratiques professionnelles. L'implication des acteurs de la construction dans des structures et filières locales est importante afin de faire évoluer notre société contemporaine. C'est ce que je souhaite pour les années à venir, à la suite du diplôme d'architecte. Il me serait impossible de prendre part à l'évolution de notre monde, en laissant de côté les enjeux environnementaux actuels, tout en sachant qu'en tant qu'architecte, une partie des clés peuvent être entre mes mains. L'objectif principal de ces recherches est de comprendre comment l'innovation dans le secteur du bâtiment peut nous permettre de faire évoluer durablement nos manières de construire et de consommer. La porte d'entrée à ce sujet est la matérialité. Ainsi, il est nécessaire de prendre le pouls d'un secteur en pleine croissance mais également en pleine remise en question.

Certaines difficultés se sont posées à moi, notamment à cause de la crise de la Covid-19 qui limite beaucoup la collecte de données empiriques sur des sujets en plein essor comme le réemploi et l'économie circulaire. Il a également été compliqué de s'entretenir réellement avec les acteurs de terrain. Cela m'a néanmoins donné la possibilité de suivre depuis un seul endroit, toutes les conférences et temps de parole ouverts grâce aux nouveaux moyens de partage des informations, qui se sont développés pendant la crise sanitaire.

AVANT-PROPOS	09
GLOSSAIRE	13
INTRODUCTION	15
RÉCIT & FRISE MÉTHODOLOGIQUE	19

PARTIE I LA VILLE COMME UN ASSEMBLAGE D'ÉLÉMENTS DORMANTS ET VIVANTS OU COMMENT CONSIDÉRER LES CENTRES URBAINS COMME DE VÉRITABLES CARRIÈRES À CIEL OUVERT **23**

01 - ORIGINES ET ÉVOLUTIONS DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION **25**

Valorisation architectonique des matières premières minérales	26
Importance de l'exploitation locale des carrières	27
Impact de la révolution industrielle sur l'approvisionnement des matériaux	29

02 - VERS UN CHANGEMENT DE PARADIGME DES SYSTÈMES URBAINS **33**

Influence de l'être humain sur la modification des écosystèmes	34
Densification des stocks de matières anthropiques en centres urbains	35
Implication de l'autosuffisance dans le concept de résilience urbaine	37

03 - APPROCHE HOLISTIQUE ET PROSPECTIVE DES GISEMENTS URBAINS **41**

Progression de la métaphore organiciste	42
Évaluation du bâti comme source de nouveaux matériaux	44
Régulation des flux dans la gestion intégrée des ressources urbaines	46

PARTIE II QUAND LE DÉCHET DEVIENT RESSOURCE OU L'IMPORTANCE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE FACE À LA SURPRODUCTION DE DÉCHETS INERTES DU SECTEUR DU BÂTIMENT **51**

01 - ORIGINES ET ÉVOLUTIONS DE LA GESTION DES RESSOURCES **53**

Valorisation cyclique des matières premières minérales	54
Impact de la révolution industrielle sur la standardisation des matériaux de construction	56
Intensification de la production de déchets inertes	58

02 - CONTEXTUALISATION DES PROCESSUS DE REVALORISATION **63**

Différenciation entre acte de démolir et acte de déconstruire	64
Définitions des stratégies de traitement de la matière	66
Observations contextuelles des modèles de réutilisation et de réemploi	68

03 - CADRES DE DÉVELOPPEMENT DE PRATIQUES EN RÉ-ÉMERGENCE **73**

Évolutions des méthodes opérationnelles du réemploi	74
Mutation des objectifs des maîtrises d'ouvrages	77
Importance du rôle local des acteurs de terrain	80

PARTIE III LA RÉVERSIBILITÉ DE LA MATIÈRE OU COMMENT TRANSFORMER LES GRAVATS POUR CONCEVOIR DE NOUVELLES MATÉRIALITÉS QUALITATIVES 85

A présent, les gravats 87

01 - TRAITEMENTS OPÉRATIONNELS DES GRAVATS 89

Définitions des modes de valorisation 90

Transformation par le recyclage 94

Marbre d'Ici, recyclage des gravats pour l'espace publics - cas d'étude 96

02 - TRANSFORMATION DES GRAVATS EN RESSOURCES SECONDAIRES 101

Qualifications à fortes valeurs ajoutées 102

Création de nouvelles matérialités qualitatives 103

Fresk, recyclage des gravats pour l'architecture - cas d'étude 108

03 - RÉVERSIBILITÉ STRUCTURELLE DES GRAVATS 113

Limites d'un cycle court 114

Formulations autour du béton 116

Expérimentations personnelles 119

CONCLUSION 125

BIBLIOGRAPHIE 135

TABLE DES FIGURES 139

ANNEXES 143

GLOSSAIRE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ANTHROPIQUE [adj.] *grec. antrôpos* - Qualification des phénomènes qui peuvent être conséquents de la présence ou de l'action de l'être humain.

ANTHROPOCÈNE [n.m] *grec. antrôpos et kainos* - Période actuelle des temps géologiques, où les activités humaines ont de fortes répercussions sur les écosystèmes de la planète (biosphère) et les transforment à tous les niveaux.

ARCHITECTONIQUE [adj. n.f] *grec. architectoniké* - Qui concerne l'architecture en tant que science et technique de la construction, et considérée d'un point de vue théorique abstrait, en particulier en tant que recherche et création de structures ; qui a un rapport avec l'architecture ainsi conçue.

DÉCHET INDUSTRIEL BANAL [n.m] - Déchet en mélange non dangereux et non inerte tel que des cartons, papiers, plastiques, bois, ferrailles, textiles, isolants, déchets verts, etc.

DÉCHET INERTE [n.m] - Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact et qui n'est susceptible d'entraîner aucune atteinte à l'environnement ou à la santé humaine.

DÉCONSTRUCTION SÉLECTIVE [n.f] - Dans le domaine du Bâtiment et Travaux Publics, la déconstruction est, par rapport à la démolition, une destruction sélective et réfléchie d'éléments bâtis, afin d'en recycler ou réutiliser tout ou une partie des matériaux.

DÉMOLIR [v.tr] *lat. demoliri* - Rompre la liaison d'un édifice en l'abattant pièce à pièce, en détachant toutes ses parties, de manière à le rendre inutilisable.

GRAVAT [n.m] - Catégorie de déchets inertes constitués de débris de petit calibre, issus du secteur de la construction.

GROS ŒUVRE [n.m] - Ensemble des éléments de construction d'un édifice qui lui assure la reprise de tous les efforts subis.

ORGANICISTE [adj. n.m] - Orientation philosophique qui affirme que la réalité est mieux comprise comme un tout organique.

REBUT [n.m] - Ce qu'il y a de plus mauvais dans quelque chose et qui est laissé de côté.

RECYCLER [v.tr] *lat. re- cyclus* - Article L541-1-1 du code de l'environnement : Procédé de traitement, de valorisation des déchets, y compris les déchets organiques, et de réintroduction des matériaux dans le cycle de production d'autres produits équivalents ou différents. Les matières premières d'un déchet sont retraitées en substances, matières ou produits.

RÉEMPLOYER [v.tr] - Article L541-1-1 du code de l'environnement : Opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique ou différent de celui pour lequel ils avaient été conçus.

RÉSILIENCE [n.f] *lat. resilire* - Capacité à se rétablir après une perturbation extérieure.

RÉUTILISER [v.tr] - Article L541-1-1 du code de l'environnement : Opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau.

RÉVERSIBILITÉ [adj. n.f] - Qui peut revenir en arrière, qui peut se produire en sens inverse.

RÉVERSIBILITÉ ARCHITECTURALE [n.f] - Solution anticipée qui consiste à programmer un ouvrage neuf pour qu'il puisse indifféremment accueillir des logements ou des bureaux, au moyen de modifications minimales, contrairement à la reconversion.

SPOLIA [n.m] *lat. spolium* - Réutilisation de matériaux ainsi que d'œuvres d'art de monuments déjà existants comme matériaux de construction dans un nouvel édifice pour des raisons idéologiques ou pour des considérations purement économiques.

INTRODUCTION

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

L'adage d'Antoine Lavoisier¹ émet que la qualité et la quantité des principes physico-chimiques de la matière sont les mêmes quelle que soit son utilisation et seules des modifications s'opèrent dans une boucle constante et infinie. En ces termes, nous pouvons transposer ce principe physico-chimique aux pratiques de construction et de démolition, dans la mesure où les déchets des uns peuvent devenir les ressources des autres par des principes de transformation. Réinventer les usages premiers et la définition des matériaux apparaît comme une réalité nécessaire. Ainsi, le détournement des matériaux permettrait l'optimisation des ressources par des stratégies cycliques vertueuses.

C'est le statut de ces matériaux qui va définir la différence entre plusieurs manœuvres telles que le réemploi et le recyclage. Il n'est pas rare que ces deux processus soient confondus et manquent de cadre. L'article L541-1-1 du code de l'environnement indique les définitions suivantes : « réemploi : toute opération par laquelle des matières, qui ne sont pas des déchets, sont utilisées de nouveau pour un usage identique ou différent à celui pour lequel ils avaient été conçus » et « recyclage : toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retransformés aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins ». Le réemploi est donc une pratique qui s'applique avant d'avoir considéré la matière comme un déchet tandis que le recyclage s'effectue après la mise en benne des déchets et le tri d'un certain nombre de matériaux. C'est en reconsidérant le cycle de la matière et certaines pratiques que l'on pourra réinventer l'équation du secteur du Bâtiment et des Travaux Publics (BTP)². L'exercice du réemploi n'est en rien un nouveau processus de revalorisation de la matière. Dès les premières constructions de grands édifices, le réemploi a représenté une manière avantageuse de bâtir. Les civilisations égyptienne, grecque et romaine ont réemployé des pièces, des œuvres d'art, des matériaux pour bâtir durablement. Le terme de *spolia* désigne notamment, sous l'empire romain, ce procédé³. Procédé ancestral qui s'étend jusqu'au XIX^e siècle, mais qui, au fil de l'industrialisation de nos moyens de production, est transformé en une parenthèse historique. Le principe millénaire du recyclage a lui connu un sort différent puisqu'il a pu jouir des avancées industrielles pour continuer à être développé et encadré. Dès l'âge de

bronze⁴, au II^e siècle avant J.-C., le recyclage a accompagné le développement des premiers artisanats. Il devient nécessaire au Moyen-Âge face à l'augmentation de la population des villes et fait naître de nouveaux métiers, tels les chiffonniers⁵ au XIX^e, indispensables aux progrès de la société et représentés dans la littérature de Charles Baudelaire⁶ ou de Victor Hugo. Aujourd'hui, le recyclage, au même titre que l'incinération et l'enfouissement, est un des modes courants de gestion de nos déchets - quels qu'ils soient. Le réemploi et le recyclage, valorisent donc le déjà-là, prenant en compte ce qui existe sur nos territoires. L'enjeu, dès à présent, est de maintenir ces tendances constantes et structurées dans un marché principal où la démolition et la mise au rebut ne sont que des banalités.

Ainsi, le développement des industries et la croissance démographique ont accéléré, depuis le XIX^e siècle, l'extraction des ressources, la consommation des matériaux et la gestion linéaire de déchets. Les activités humaines ont commencé à avoir un impact global sur l'écosystème terrestre déclenchant une nouvelle chronologie géologique nommée l'ère de l'Anthropocène⁷. Mais c'est à l'heure des défis majeurs de la ville durable que le réemploi et le recyclage apparaissent sous un autre angle, créant un nouveau paradigme. Aujourd'hui, le système linéaire de notre économie qui consiste à extraire, fabriquer, consommer et jeter a atteint ses limites. La réduction des déchets à la source, la lutte contre le gaspillage et le développement de l'économie circulaire sont des pratiques grandissantes qui font des déchets des uns, la matière première des autres. Le réemploi, pratique plus qu' ancestrale, connaît un renouveau tandis que le recyclage apparaît comme une évidence à approfondir. Il est développé par plusieurs types d'acteurs, du collectif associatif aux groupes internationaux par le biais de nombreuses démarches toujours plus innovantes, ce qui permet de déconstruire petit à petit la notion de déchet encore très ancrée. Quels que soient les moyens, chaque innovation a un impact sur la société et le secteur du bâtiment. La prise de conscience de l'importance de l'optimisation des ressources se crée petit à petit en réponse à l'accélération et à l'augmentation des besoins en matériaux générées par l'accroissement des projets métropolitains. En 2010⁸, l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)⁹ quantifiait à environ

1. Chimiste, philosophe et économiste français du XVIII^e siècle, considéré comme le père de la chimie moderne.

2. Ensemble des activités et des corps de métiers intervenant dans le cadre de la construction d'édifices et d'infrastructures publics et privés.

3. Conférence menée par le Pavillon de l'Arsenal, « Les enjeux du réemploi et ses possibles, à un instant décisif où l'architecture aspire à se réinventer aux contraintes environnementales, économiques et aux nouveaux usages », (Paris, 17 novembre 2014).

4. Période de la Protohistoire et de l'Histoire caractérisée par l'existence de la métallurgie du bronze, nom générique des alliages de cuivre et d'étain.

5. Personne dont le métier consiste à passer dans les villes pour racheter des choses usagées et les revendre à des entreprises de transformation.

6. Baudelaire, C. (1857). *Le vin des chiffonniers*. Les Fleurs du Mal.

7. Paul Crutzen, Nobel de Chimie en 1995, propose l'année 1784 comme date d'entrée dans l'Anthropocène (dépôt de brevet de la machine à vapeur).

8. Conférence menée par Bellastock, « Architecture et réemploi, nouveau territoire d'économie circulaire », (Paris, 2016).

9. L'ADEME est un établissement public qui coordonne des opérations de protection de l'environnement.

240 millions de tonnes les déchets issues du bâtiment et des travaux publics dont 45 millions de tonnes issues du secteur du bâtiment en France. Ceci représente un véritable gisement à ciel ouvert pour les années à venir qui permettrait de pallier l'épuisement des matières premières, en donnant à chaque corps de métier du secteur une part de responsabilité. Un nouveau système d'économie circulaire est mis en place. Un cycle est créé remédiant à l'obsolescence, où la matière ne se détache pas de son essence.

Mon intérêt grandissant pour ces sujets couplé à ma future responsabilité de bâtisseur me motive à prendre part aux mutations pour la transition socio-écologique¹⁰, qui est une approche plus large que la transition énergétique¹¹. Les questions qui me préoccupent sont relatives à l'épuisement inexorable de nos ressources minérales qui se sont formées sur des temps géologiques extrêmement longs et exceptionnels, les rapports épineux entre pays producteurs et pays dépendants, le niveau de saturation des pollutions lié aux extractions, l'influence du développement industriel et finalement l'ensemble de ce contexte instable qui nous pousse vers des pénuries certaines. Jacques Chirac, lors de son discours au IV^e Sommet de la Terre, prononçait déjà, en 2002, des mots alarmants sur la destruction de la nature et l'indifférence de l'espèce humaine :

*Notre maison brûle et nous regardons ailleurs. La nature, mutilée, surexploitée, ne parvient plus à se reconstituer et nous refusons de l'admettre. L'humanité souffre. Elle souffre de mal-développement, au Nord comme au Sud, et nous sommes indifférents. La terre et l'humanité sont en péril et nous en sommes tous responsables. [...] Nous ne pourrions pas dire que nous ne savions pas ! Prenons garde que le XXI^e siècle ne devienne pas, pour les générations futures, celui d'un crime de l'humanité contre la vie. Notre responsabilité collective est engagée.*¹²

Il est nécessaire et urgent que nous transformions notre rapport à l'environnement en réorganisant la structuration de notre société actuelle et en redéfinissant en profondeur nos systèmes d'actions et de pensées. Je souhaite prendre part à cela, à mon échelle, en prenant en considération mon rôle de prescripteur dans le secteur de la construction et du bâtiment afin de participer à le rendre nettement moins destructeur de l'environnement pour les années à venir.

Certains l'ont déjà fait et ont permis aux pratiques du réemploi et du recyclage de ré-émerger et de se structurer, afin de sortir du cadre de l'expérimentation pour s'affirmer en

tant qu'étapes courantes de projets territoriaux, urbains et architecturaux. Comme le collectif d'architecture belge Rotor, fondé en 2005 par Lionel Devlieger et Maarten Gielen, qui s'intéresse depuis plusieurs années aux différentes échelles du réemploi des matériaux, avec la mise en place notamment d'une plateforme en ligne¹³ qui met à disposition les matériaux récupérés et prêts au réemploi. Le collectif déconstruit et décroïsonne la pratique d'une architecture classique au sens large et se positionne comme investigateur émérite au service de la revalorisation des éléments de second œuvre. C'est également le cas de l'agence d'architecture Encore Heureux, fondée en 2001 par Nicola Delon et Julien Choppin, qui a permis de vulgariser la pratique du réemploi et de la rendre accessible à tous par le biais de l'exposition *Matière Grise* au Pavillon de l'Arsenal à Paris en 2014. La posture transversale qu'ils appliquent à celle de l'architecte leur permet d'adhérer à toutes les échelles de projet mais également de développer des procédures et mécanismes complets qui servent aujourd'hui à tous ceux qui veulent s'engager à valoriser les gisements urbains. Il existe de nombreuses portes d'entrées, autre que l'architecture, aux filières du réemploi et du recyclage. Notamment la sociologie et l'urbanisme, comme le démontre la professeure et chercheuse française Sabine Barles, spécialiste de l'étude du métabolisme urbain, qu'elle théorise comme étant « une analyse interdisciplinaire de la totalité des flux (matière/énergie, entrants/internes/sortants) mis en jeu par le fonctionnement d'une société urbaine, dans un territoire (celui de la ville et celui, plus étendu de son empreinte écologique), s'inscrivant dans des interactions biosphère/société¹⁴ ». Elle questionne la possible autosuffisance urbaine en mettant en parallèle le caractère insatiable et parasitaire des villes et la potentielle identification en gisements de celles-ci. Il existe aussi quelques projets emblématiques, comme le musée d'histoire de la ville de Ningbo (Chine), pensé par l'architecte chinois Wang Shu. Pour dégager la parcelle en vue d'accueillir ce musée, ce ne sont pas moins de trente villages traditionnels qui ont été démolis. Cette pratique est courante, mais ne s'inscrit pas dans la manière de faire de Wang Shu. C'est pourquoi il a décidé de réemployer les gravats, la plupart étant des briques et des tuiles de terre cuite qu'il a liées au projet pour garder la mémoire du lieu et l'inscrire dans la société d'aujourd'hui. De nombreux autres projets démontrent qu'il est tout à fait possible de considérer les déchets des uns comme de véritables ressources pour d'autres, ce que nous verrons par la suite au travers de plusieurs cas d'étude.

Sous l'impulsion des interrogations lancées par l'ère de l'Anthropocène, proposer de nouvelles manières de valoriser

10. Processus qui mène à un changement des modes de production, de consommation, de vie vers un partage des pouvoirs et de la richesse plus équitable.

11. Ensemble des transformations du système de production, de distribution et de consommation d'énergie effectuées sur un territoire dans le but de le rendre plus écologique.

12. Discours devant l'assemblée plénière du IV^e Sommet de la Terre le 2 septembre 2002 à Johannesburg, en Afrique du Sud.

13. <https://opalys.eu/fr>.

14. Barles, S. (2018). *Le métabolisme territorial : l'énergie et la matière des sociétés*. Colloque « Paysages métaboliques ? Paysages circulaires ? ».

les déchets, en corrélation avec les nouveaux enjeux de la transition socio-écologique¹⁵, permettrait de contourner la *tabula rasa*. Aujourd'hui, il est plus que nécessaire de se soucier de notre empreinte de futur architecte sur l'environnement qui nous entoure et qui connaît de plus en plus de difficultés à se renouveler. Or, la démolition des bâtis en centre urbain imposée par l'obsolescence programmatique génère un trop grand nombre de déchets.

Quels rôles jouent les centres de commandement et de politiques publiques face à ces amoncellements de déchets ? Comment pouvons-nous considérer nos centres urbains comme une source de nouveaux matériaux ? Quels sont les moyens de structuration des flux cycliques de l'économie circulaire ? Comment faire face à la surproduction des déchets liés aux démolitions constantes ? A quel point les déchets inertes engendrés par ces démolitions peuvent être valorisés afin d'être réinjectés au cœur du processus de construction ?

Enfin, ce qui constitue la problématique centrale de mon travail de recherche est : comment les gravats générés par les villes peuvent devenir des ressources par un processus de réversibilité incluant un changement d'état de la matière ?

L'hypothèse partagée ici, est celle de la possibilité d'inclure les déchets de démolition dans la boucle grandissante de l'économie circulaire, dans le contexte d'une future ville auto-suffisante, dans l'espoir que notre société métropolitaine cesse de démolir sans compter. Il est question de modérer l'idée qu'un trop grand nombre de limites assurantielles, économiques ou réglementaires entravent les méthodes car même les plus petites expérimentations et tentatives ouvrent la porte à de nombreuses hypothèses qui avec du temps et l'énergie réunie d'un certain nombre de volontaires peuvent devenir des procédures universelles. Les explorations dans le contexte de la ville matérielle, que j'ai menées dans le cadre de mes recherches, avaient pour objectif de poser un cadre à la ville comme ressource de son développement, dans une tentative de transformation du modèle actuel dominant. Il a fallu passer par la mise en perspective de la ville en mouvement, afin de définir les possibilités, les leviers d'actions et les opportunités, mais aussi les freins et les limites des filières du réemploi et du recyclage des déchets inertes de démolition.

Pour mener à bien ce travail de recherche¹⁶, j'ai pris le parti d'une méthode classique englobant un certain nombre d'outils méthodologiques en parallèle de lectures sur des sujets clés tels que l'Anthropocène, l'économie circulaire, le réemploi ou le métabolisme urbain. La participation à des conférences comme le visionnage de reportages ont permis de ne pas laisser sans réponse un certain nombre de questionnements en récoltant

des informations techniques, réelles, concrètes. L'observation et la compréhension de divers projets ont permis l'analyse des méthodologies et des marches à suivre en fonction des gisements et des objectifs souhaités. Inversement, il s'agit de cibler des situations où les acteurs de terrain se sont confrontés à certaines limites, en voulant eux aussi, participer à cette boucle circulaire qu'est la revalorisation des matériaux de construction. L'approfondissement de cette analyse secondaire est rendue possible par les entretiens semi-directifs, les observations de terrain et les expérimentations personnelles. Enfin, la mise en exergue des différences et similitudes des démarches, moyens mis en œuvre ou gestions de projet par exemple, s'est faite à partir du croisement de fiches de synthèse retraçant l'ensemble des recherches effectuées (cf. Ensemble des annexes p.149).

Cette restitution, dans le cadre du mémoire, se fera en trois moments thématiques et graduels. Le premier moment présentera la ville comme un assemblage d'éléments dormants et vivants. Il s'agira de comprendre comment nous pouvons considérer les centres urbains comme de véritables carrières à ciel ouvert par le biais d'une mise en relation entre matériaux de construction, paradigme de nos systèmes et métabolisme urbain. Le second moment théoriserait l'importance de l'économie circulaire face à la surproduction des déchets inertes, en considérant le déchet comme une ressource. C'est à ce stade que les processus de revalorisation émergent, dans un contexte de renouvellement urbain où les acteurs de terrain ont toute leur importance dans la mutation des méthodes opérationnelles. Enfin, le dernier moment s'attachera à la transformation des gravats pour concevoir de nouvelles matérialités qualitatives par la réversibilité de la matière. Ainsi, il sera nécessaire d'analyser les capacités formelles et informelles des gravats mais aussi les sources d'approvisionnement et la mobilisation des moyens techniques pour formuler des résultats quantitatifs et qualitatifs sur le recyclage des gravats.

15. Barles, S. (2018). *ibid.*

16. Cf. Récit et frise méthodologique p.19.

RÉCIT & FRISE MÉTHODOLOGIQUE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Considérer la ville comme un métabolisme vivant, ayant en son sein, toutes les ressources est une nécessité. Mon objectif est de comprendre comment nous sommes arrivés à cette gérance linéaire de nos ressources et quelles sont les initiatives prises à l'ère de l'Anthropocène, pour faire évoluer durablement notre système. C'est donc tout naturellement que j'ai décidé en septembre 2020 d'intégrer le séminaire Architecture, ingénierie, environnement et ville durable afin de débiter mes recherches sur la réversibilité des gravats issus des démolitions.

Commence alors en octobre 2020, l'état de l'art sur la pratique du réemploi qui me permet de fixer les termes de mon sujet. J'ai pu répertorier les différents acteurs de terrain qui développent cette pratique afin de savoir quels prismes m'intéressent le plus (cf. Annexe n°2, p.145). Une fois l'état de l'art effectué, j'ai défini les termes du sujet et plusieurs cas d'étude, constitué un plan de recherche et élaboré une problématique, présentés lors d'un rendu de première phase au mois de janvier 2021.

S'ensuit la mise en place d'un certain nombre d'outils méthodologiques qui m'ont permis d'enrichir mes recherches, de définir des hypothèses et des champs d'action par le biais d'observations participantes.

Ma problématique qui englobe un certain nombre de thématiques sous-jacentes à celles du réemploi et des gravats oriente ma méthodologie vers des lectures en filigrane d'une recherche plus poussée sur plusieurs concepts distincts. Comme l'Anthropocène, l'économie circulaire, la modélisation d'un stock de matière, le métabolisme urbain et la réversibilité. Cela me permet de réunir de nombreuses informations connexes et essentielles au réemploi et aux gravats. C'est d'ailleurs à ce moment là, que je laisse de côté la notion de réemploi pour me concentrer sur celle du recyclage, plus pertinente à mes recherches, sans oublier néanmoins, de toujours expliquer la distinction entre les deux (cf. Glossaire p.13).

Viennent alors les premiers entretiens. De l'étudiant à l'agence d'architecture, chaque type d'acteur m'intéresse. J'ai souhaité à travers ces entretiens semi-directifs rencontrer ceux qui s'engagent dans les secteurs du réemploi et du recyclage. Mes objectifs principaux ont été de comparer les différentes visions et pratiques, de comprendre comment ces secteurs s'amplifient et de déterminer si les gravats sont une ressource commune. En les mettant en parallèle, j'ai pu déterminer quelle est la place de chacun dans les processus et comment ils interagissent. J'ai pu comparer les démarches, les conclusions économiques, les moyens mis en œuvre, les gestions de projet, etc. Pour ce faire, j'ai construit deux grilles d'entretien et des fiches récapitulatives de ces entretiens (cf. Annexes n°7 & 8, p.152). Malheureusement, j'ai connu quelques difficultés à pouvoir rencontrer certaines personnes limitant la collecte d'informations.

Je fais le choix de présenter plusieurs cas d'étude, avec un but pédagogique afin d'appuyer mes propos et de leur donner une réalité « augmentée ». Ces études de cas analytiques m'ont servi à démontrer ou à révoquer certaines hypothèses et questionnements. J'aurai voulu suivre un projet particulier de manière active tout au long de mes recherches afin d'apporter une expertise technique et une expérience vécue. Malheureusement, je n'ai pas réussi à aller au bout de cette idée, n'ayant pu rejoindre une agence en parallèle de mes études. Mon attrait pour la matière me pousse à expérimenter moi-même le recyclage de gravats à petite échelle. J'ai effectué des tests de concassage, des mélanges afin de concevoir des poutres et dalles constituées de béton et de gravats. J'ai réalisé des fiches techniques et comparatives afin d'évaluer plusieurs possibilités (cf. Annexes n°5 & 6, p.150). Même si ce travail reste à petite échelle sans vérification technique, il constitue les prémises d'une recherche plus poussée sur la matière pour de futurs projets. Le travail cartographique qui avait pour but de déterminer les origines, flux et lieux de reconversion des gravats n'a pas abouti. Je me suis confrontée à la difficulté de traçabilité des éléments sans projet précis pour le faire. Cette méthodologie reste néanmoins primordiale, pour chaque projet, afin d'optimiser les échanges et réduire les échelles d'approvisionnement de matériaux de construction. Afin de croiser toutes ces recherches élargies, comparatives, expérimentales, qualitatives et documentaires pour formuler des résultats, j'ai mis en place des fiches de synthèse par thématiques précises, afin de classer et comparer les nombreuses informations récoltées. Cela m'a permis de mettre en exergue les différences ou les similitudes (cf. Annexes p.149).

FÉVRIER 2019

STAGE DE LICENCE À L'AGENCE SCAU



01.

Rencontre avec Anna St-Pierre / découverte des recherches sur la matérialité au sein d'une agence d'architecture / première approche sur la pratique du réemploi dans le secteur du bâtiment.

MARS/JUIN 2019

MÉMOIRE DE LICENCE 'BRICK À VRACK'



02.

Recherches et présentation des résultats sur le réemploi de la brique de terre cuite.

OCTOBRE 2020

ÉTAT DE L'ART GÉNÉRAL



04.

Prise de conscience de l'étendue des actions, projets, initiatives et acteurs impliqués (cf. Annexes p.149).

SEPTEMBRE 2020

SÉMINAIRE 'ARCHITECTURE, INGÉNIERIE, ENVIRONNEMENT ET VILLE DURABLE'



03.

Volonté de continuer mes études d'architecture en prenant en compte de manière concrète les enjeux environnementaux.

DÉCEMBRE 2020

PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS



05.

Définition des termes du sujet et constitution d'un plan de recherche.

JANVIER 2021

RENDU DE LA PHASE 1



06.

Présentation de la méthodologie / définition des cas d'étude / élaboration d'une problématique.

FÉVRIER/MAI 2021

MISE EN PLACE DES OUTILS MÉTHODOLOGIQUES



07.

Enrichir mes recherches / définir des hypothèses et des champs d'action / observations participantes.

JUIN 2021

RENDU DE LA PHASE 2



08.

Soutenance devant un jury / premiers résultats.

SEPTEMBRE 2021/AVRIL 2022

RECHERCHES - LECTURES - CONFÉRENCES - DISCUSSIONS - RENCONTRES



Anthropocène / économie circulaire / modélisation d'un stock de matière / métabolisme urbain / réversibilité / organicisme / recyclage (cf. Annexes p.149).

ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS ACTEURS DE TERRAIN



09.

- 10 mai : assistance maîtrise d'ouvrage réemploi **r-use 4**
- juin : atelier d'architecture **delalande & tabourin**
- 1er octobre : bureau d'étude réemploi **remix**
- 20 octobre : industriel ciment et béton **lafarge agneo**
- 10 novembre : collectif **cancan**
- 19 novembre : innovation matériaux **néolithe**

FÉVRIER 2022/JUIN 2022

DEMANDE DE STAGE SANS SUITE



11.

Demande de stage au sein d'une entreprise d'assistance à maîtrise d'ouvrage réemploi / demande restée sans suite.

9 JUIL 2022

SOUTENANCE DU MÉMOIRE

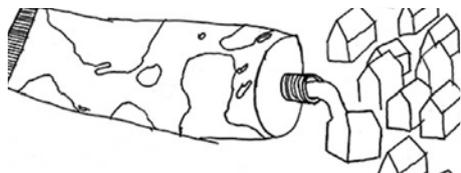


13.

Soutenance devant un jury / volonté de continuer la recherche.

FÉVRIER 2023/JUIN 2023

STAGE DE MASTER EN AGENCE D'ARCHITECTURE



16.

Orienter mes choix de stages ou d'emplois vers des agences qui conçoivent sans perdre de vue l'importance de l'économie circulaire et la gestion des ressources.

JANVIER 2021/MARS 2022

EXPÉRIMENTATIONS - CARTOGRAPHIE - CAS D'ÉTUDE

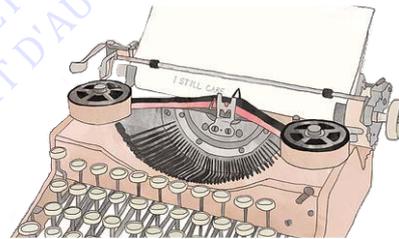


10.

Expérimentations : fabrication d'éléments à partir de gravats.
Cartographie : flux et circularité des matériaux de construction.
Cas d'étude : donner une réalité « augmentée » à mes propos.

FÉVRIER 2022/MAI 2022

ÉCRITURE DU MÉMOIRE DE RECHERCHE

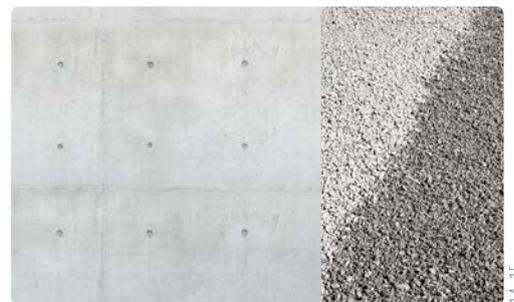


12.

Comparer, interpréter, analyser, contextualiser toutes les recherches et informations transversales, comparatives, expérimentales, qualitatives, documentaires / fiches de synthèses (cf. Annexes p.149).

SEPTEMBRE 2022/JANVIER 2023

PROJET DE FIN D'ÉTUDES - DIPLÔME D'ARCHITECTE



14, 15.

Concevoir et développer mon projet de fin d'études sur des thématiques communes à mon mémoire afin de développer un lieu d'expérimentation et de démonstration des différentes possibilités de recyclage et de réemploi des déchets.

PARTIE I



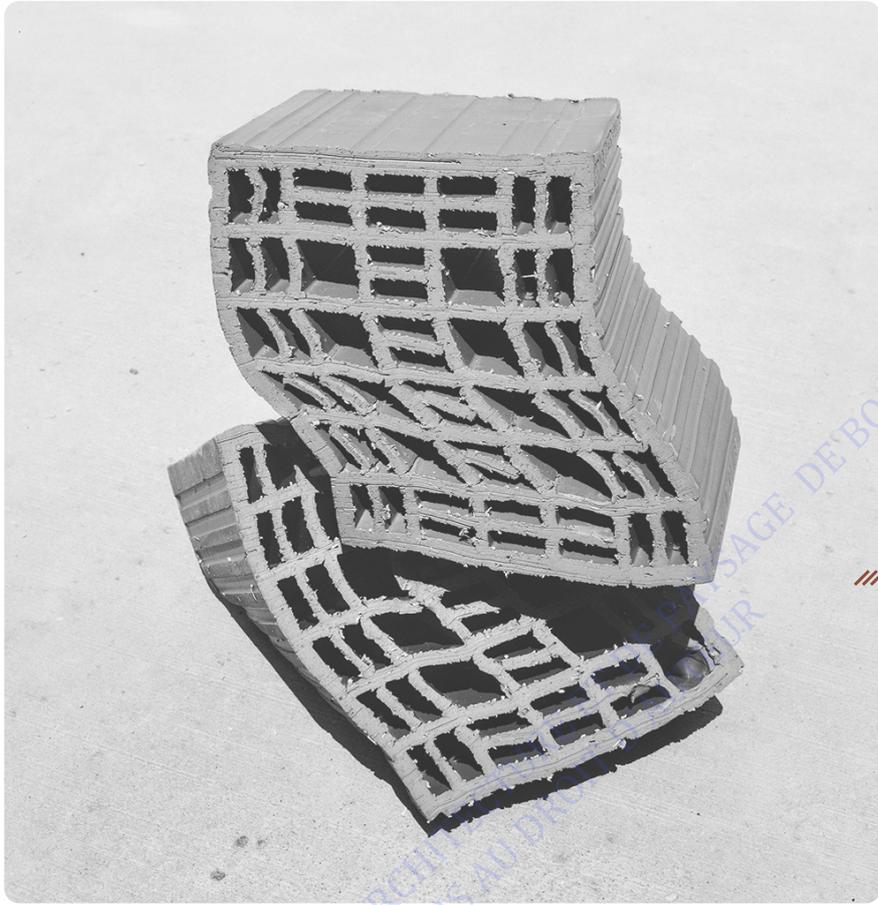
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

LA VILLE COMME UN ASSEMBLAGE D'ÉLÉMENTS DORMANTS ET VIVANTS OU COMMENT CONSIDÉRER LES CENTRES URBAINS COMME DE VÉRITABLES CARRIÈRES À CIEL OUVERT

Les Français, on le sait, sont fiers de leurs monuments et de leur passé. Mais notre histoire architecturale s'est écrite à coups de pioche dans la poussière des gravats ; notre patrimoine s'est élevé au fil des siècles sur un immense champ de ruines.

Montclos, C. D. (1992). *La mémoire des ruines : anthologie des monuments disparus en France*. Mengès.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

01. ORIGINES ET ÉVOLUTIONS DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Les matériaux de construction se trouvent à la rencontre de la géologie, de la technique, de l'esthétique et de la culture. A la conjonction du passé, du présent et du futur. Façonnés par le temps, comportant des aspérités qui content un récit, une technique de mise en œuvre, un registre vernaculaire, ils ont traversé les âges et subi des transformations et sont indispensables à nos vies de citoyens et d'architectes.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

A. VALORISATION ARCHITECTONIQUE DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES

Des techniques de construction ancestrales aux matériaux industrialisés d'aujourd'hui, il n'y a qu'un pas, mais lent. Dès le Néolithique (environ 8 500 avant J.-C.), l'Humain a puisé en la Terre des ressources inestimables pour se constituer un abri durable. Il a façonné de ses mains la terre, la pierre et le bois pour concevoir les premiers habitats organisés afin de se sédentariser et de développer un nouveau modèle de subsistance fondé sur l'agriculture et l'élevage. Des constructions durables apparaissent, en torchis et en pierre, remplaçant les huttes de peaux des chasseurs-cueilleurs. Ces constructions prennent une autre dimension lorsque les bâtisseurs de l'Antiquité (environ 3 000 avant J.-C.) développent des processus de préparation et de transformation de la pierre calcaire et du gypse afin d'obtenir de la chaux et du plâtre. Ces éléments additionnés à de la pouzzolane (roche naturelle constituée de projections volcaniques), de la brique pilée ou de la pierre tout venant, permettent de réaliser les premiers bétons et mortiers durant la Rome antique (environ 800 ans avant J.-C.). Ainsi est né l'*opus caementicium*, une des clés de la construction romaine qui s'est largement diffusée dans l'ensemble de l'Europe.

Les paysages ont été façonnés par des architectures définies suivant les ressources locales et les techniques de construction déployées pour les mettre en œuvre, dépendant elles-mêmes des climats et des topographies. De plus en plus, les matériaux ont été confectionnés afin de répondre à des facteurs pratiques mais aussi esthétiques et symboliques. La « taille décorative » mise en œuvre à l'époque romane (XI^e et XII^e siècles) confère une attitude esthétique à la pierre qui se pare de formes ornementales et d'une variété de décors mis en œuvre par le bâtisseur, qui est aussi sculpteur. La disposition des matériaux dans une architecture devient importante et minutieuse. L'*opus* ou « appareil » désigne la façon dont les pierres ou les briques sont assemblées.

« À l'époque médiévale, la technique de construction qui consistait à alterner des assises de pierres et de briques [...] fait expressément référence à certains bâtiments symboles du pouvoir » comme le souligne Marie-Ange Causarano, docteur en archéologie médiévale¹⁷. Les différents types d'appareillage sont conditionnés par les effets esthétiques souhaités, tandis que l'habitat est édifié à partir d'ossatures en bois et des remplissages de pierre ou de briques recouvertes de chaux, signes distinctifs des premiers colombages. Avec l'apparition du style gothique et la construction de nombreux ouvrages religieux, la pierre semble être le matériau phare de la période moyenâgeuse, rendant possible l'effet imposant d'un certain nombre de clochers. Ainsi, se développent des techniques de taille de pierre qui atteignent la perfection. La diversité des modes de construction utilisés est à son apogée.

L'influence de la Renaissance se fait alors ressentir. Les humanistes hellénistes affluent d'Italie, berceau de ce mouvement qui remet à l'honneur les arts gréco-romains au XV^e siècle. L'utilisation de la pierre - de taille ou moellon - perdure et ne sert plus seulement pour les bâtiments religieux ou militaires. L'ensemble des constructions est élevé avec des murs de pierres, de briques ou encore de pisé. Les techniques de l'Antiquité sont remises au goût du jour. L'appareillage régulier de pierre fait son apparition, toutes les pierres sont égales et forment des assises régulières. Les artisans mêlent ingénierie, art et philosophie à l'architecture et font de nombreuses recherches sur l'agencement des matériaux de construction, afin de leur donner une régularité, un certain équilibre et des proportions idéales liées au corps humain :

*La symétrie est la proportion qui règne entre toutes les parties de l'édifice, et le rapport de ces parties séparées avec l'ensemble, à cause de l'uniformité des mesures. Dans le corps humain, le coude, le pied, la main, le doigt et les autres membres, offrent des rapports de grandeur ; ces mêmes rapports doivent se rencontrer dans toutes les parties d'un ouvrage.*¹⁸



Figure 18 : Casalonga, P., Bohl, X. (1984). U casamentu anzianu di Corsica.

17. Causarano, M. A. (2017). *Quantificare le architetture: i materiali da costruzione nei grandi cantieri medievali di Siena*. Archeologia dell'architettura.

18. Vitruve, P. (environ 35 av. J.-C.). *De l'architecture*. Livre III.

Même si les débuts de l'époque moderne sont teintés par la Renaissance - qui joue un rôle de charnière entre le Moyen-Âge et l'époque moderne -, une nette rupture engage les XVII^e et XVIII^e siècles dans des modèles de croissance, de progrès et d'innovation dans de nombreux domaines sociétaux incluant l'architecture et la construction. L'architecture moderne s'affirme en France, avec le classicisme qui intègre des matériaux comme le marbre, la brique et le béton romain. L'utilisation de l'ardoise devient très courante, les toits sont saillants et les cheminées très hautes. L'emploi commun de la pierre et de la brique est très courant entre 1600 et 1630¹⁹ (Place des Vosges, 1605 et Place Dauphine, 1607), devenant un style bien particulier : « La brique est la chair de l'édifice et la pierre, les os qui la soutiennent²⁰ ». Le château de Versailles (1631) est un des modèles de cette architecture classique française. Sont également d'usage à Paris, le calcaire francilien et le plâtre de Montmartre du fait des nombreux gisements naturels de gypse du Nord de la capitale.

Les corporations²¹ du bâtiment - guildes du Moyen Âge qui rassemblent maîtres, apprentis et compagnons -, caractéristiques de l'Ancien Régime²² sont abolies par l'Édit de Turgot en 1776 puis par le décret d'Allarde en 1791. Leurs savoir-faire sont remis au domaine public et l'intérêt général prévaut. Ces mesures ont un impact sur le développement de la mécanisation du travail et la production de biens manufacturés qui propulse la révolution industrielle. De nouveaux matériaux voient le jour comme le ciment artificiel, le bitume et le goudron mais aussi le béton armé qui révolutionne la construction des fondations et des ponts. Les matériaux courants, utilisés depuis de nombreux siècles, sont, quant à eux, de plus en plus performants. L'avènement des usines a provoqué la production en série des matériaux de construction avec l'ajout d'adjuvants dans les matières premières minérales afin de transformer leurs capacités mécaniques. La fabrication de produits manufacturés évolue, laissant le système artisanal être remplacé par des chaînes de fabrication à fort potentiel de productivité, abolissant tout l'aspect sensible, historique et identitaire des matériaux d'antan.

B. IMPORTANCE DE L'EXPLOITATION LOCALE DES CARRIÈRES

L'approvisionnement de matières locales n'est pas un fait datant du Moyen Âge mais remonte déjà à l'époque Néolithique. En effet, l'Humain depuis toujours se sert des ressources naturelles à proximité pour bâtir. Les premières exploitations se font par ramassage des éléments sur le sol et des puits sont creusés pour se fournir en silex et en calcaire. Dans le monde antique, ce sont les Romains qui excellent dans l'exploitation des carrières et le traitement des pierres de construction. Le mot carrière provient du latin *quadraria* : « lieu où l'on met la pierre au carré ». Les Romains eux, utilisaient un autre terme : *lapicidina*, qui signifie « pierre ». Pour eux, les carrières sont exclusivement le lieu d'extraction de pierres pour la construction :

Les constructions de pierre qu'ils ont laissées sont élevées toujours avec les meilleurs matériaux que l'on pouvait se procurer dans le voisinage de leurs monuments. Il n'existe pas d'édifice romain dont les pierres soient de médiocre qualité ; lorsque celles-ci faisaient absolument défaut dans un rayon étendu, ils employaient le caillou ou la brique, plutôt que de mettre en œuvre de la pierre à bâtir d'une qualité inférieure.²³

Au Moyen Âge, l'essor de la construction des châteaux forts faits de pierres et de terre développe l'exploitation des carrières. L'emplacement du château est donc très important et se fait à proximité d'éléments exploitables ou de voies de communication. Mais l'activité d'extraction de la pierre de taille est également prospère sous l'impulsion de l'architecture sacrée. Les monastères et lieux de culte s'implantent à proximité des gisements de calcaire. Les carrières se situent souvent à flanc de coteau, à ciel ouvert et s'étendent horizontalement. La pierre est extraite sur l'ensemble du territoire, changeant de consistance et d'apparence selon les régions (le granit en Bretagne, le calcaire dans les bassins parisiens et aquitains, le marbre dans les Pyrénées, la meulière dans le Jura), ce qui exerce une influence sur les attributs et spécificités du bâti²⁴. Il existe une multitude de carrières locales du fait du poids très important des blocs de pierre qui ne peuvent pas être acheminés sur de grandes distances, même s'il est assez aisé de les transporter par voies fluviales. Fleuves qui ont toute leur importance dans l'extraction de matières premières, puisque les lits majeurs et mineurs ainsi que les affluents sont mis à profit (comme la Loire et la Garonne).

19. Le Bas, A. (2014). *Architectures de brique en Île-de-France, 1850-1950*. Somogy. p.304.

20. Serlio, S. (1537). *Regole generali di architettura*.

21. Jusqu'au XVIII^e siècle, association d'artisans, groupés en vue de réglementer leur profession et de défendre leurs intérêts.

22. Période de l'histoire de France qui correspond au règne des Bourbons, depuis l'accession d'Henri IV en 1589 jusqu'à la Révolution française en 1789.

23. Viollet-le-Duc, E. (1854). *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*. Vol. 1. Banc.

24. Burat, A. (1843). *Géologie appliquée, ou, Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*.

L'exploitation horizontale des premiers bancs de pierre ne permet pas d'accéder aux meilleurs éléments et la difficulté à enlever les grandes quantités de déblais impose l'extraction en souterrain. De plus, l'expansion géographique des villes nécessite l'exploitation par bouche de cavage et ensuite par puits d'excavation au sein même de celles-ci, puisqu'une carrière à ciel ouvert ne peut se situer qu'en zone rurale. Afin d'accroître la vitesse d'édification, les carrières urbaines font donc leur apparition - sans que les carrières rurales perdent en popularité. À Paris par exemple, afin de trouver des roches sédimentaires, comme le calcaire et le gypse, non altérées par l'air, les sites d'exploitation s'étendent au même rythme que l'urbanisation de la capitale. Ainsi, il devient tout à fait possible de construire au-dessus de ces zones tout en continuant d'en tirer parti. Les « rats des villes » exploitent le sous-sol de Paris, provoquant notamment à la fin du XVIII^e siècle certains effondrements. Les carrières sont des marqueurs de la géomorphologie de certains quartiers, notamment au nord de la ville où le relief des buttes révèle l'extraction de matières premières comme le gypse (actuel parc des Buttes-Chaumont). Les quartiers bâtis sur ces zones d'avulsion de gypse sont peu élevés afin d'être le plus léger possible en raison de la fragilisation des couches géologiques :

*La logique du développement des sites d'exploitation est, en fait et avant tout, géologique. Pas de pierre, pas de ville. Réciproquement, les besoins croissants des parisiens en matériaux de construction entraînent les carrières vers les confins de ces gisements.*²⁵

Au siècle des Lumières, Montesquieu, dans son ouvrage *De l'esprit des lois*, paru en 1748, avait établi une relation entre géographie physique, géologie et développement des civilisations. Leur importance est telle dans le circuit local des matériaux de construction que « l'ouverture de nouvelles carrières fournit rien qu'en France, entre 1830 et 1880, plus de 3 milliards de mètres cubes de pierres aux bâtiments et aux travaux publics²⁶ ». Cette logique d'exploitation des richesses géologiques de proximité existe dans d'autres villes françaises comme Lyon ou Nantes, où les rythmes et les zones d'extension dépendent des lieux d'extraction et de l'ordonnance des carrières et où les zones d'extraction et d'urbanisation se superposent. Les carrières représentent un véritable témoignage historique des transformations du paysage. Tout comme le savoir-faire des artisans qui s'adaptait aux différents matériaux dont ils disposaient ici et là, l'architecture s'élabore de manière intimement liée à son territoire :

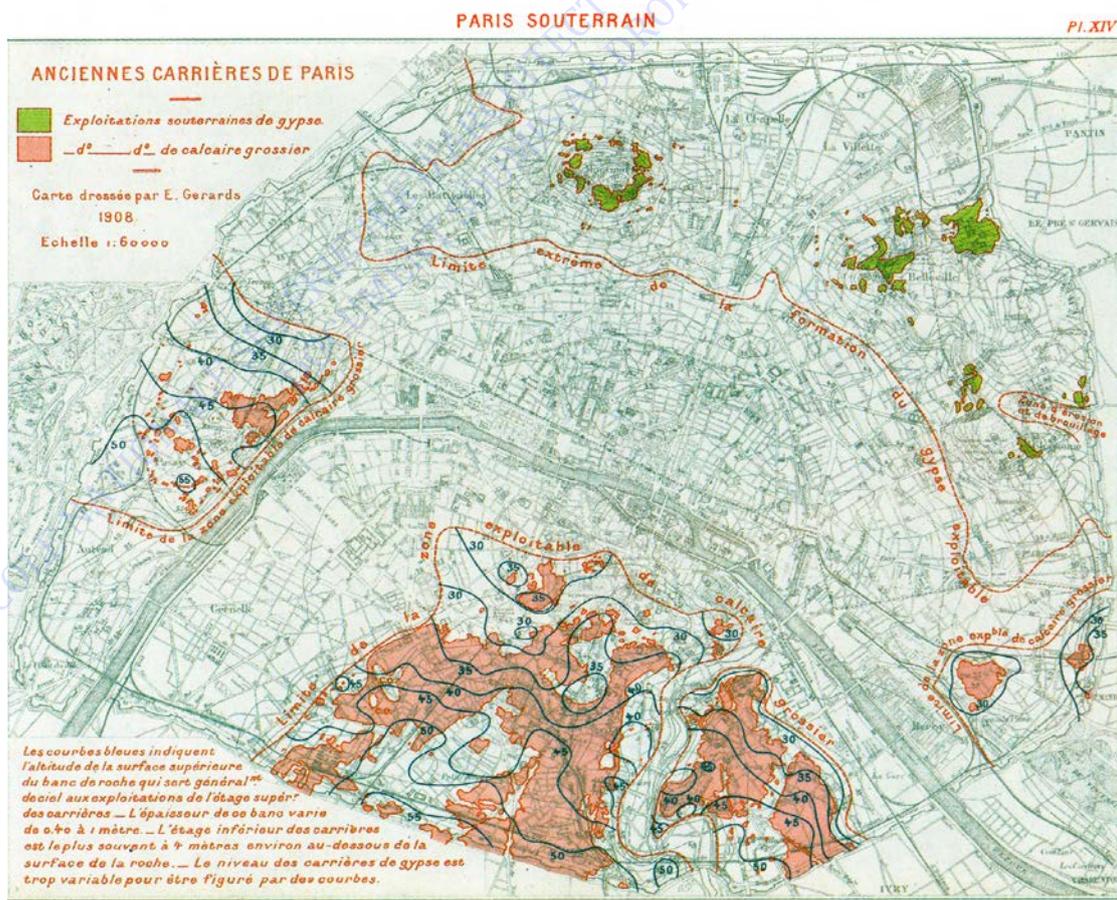


Figure 19 : Gérards, E. Situation des anciennes carrières sous Paris. (1908). BnF.

25. Guini-Skljar, A. (2003). *Les carrières parisiennes aux frontières de la ville et de la campagne*. Histoire urbaine.

26. Guillaume, A. (1991). *Techniques et matériaux de construction XIXE-XX siècle, une introduction*.

La disposition d'une maison aura été avantageusement choisie, si, pour la bâtir, on a eu égard au pays et au climat. Qui ne voit, en effet, qu'une maison doit être différemment construite en Égypte qu'en Espagne, autrement dans le royaume de Pont qu'à Rome ; que tel pays, tel climat exige une ordonnance particulière. L'aspect du ciel, par rapport à l'étendue de la terre, fait naturellement sentir à notre globe une influence différente, selon l'inclinaison du zodiaque, et le cours du soleil ; il en résulte que l'emplacement des maisons doit être approprié à la nature des lieux et à la différence des climats.²⁷

La présence de calcaire et de gypse dans le bassin parisien ne nécessite pas l'utilisation de la brique pour les constructions de la capitale, tandis que dans la vallée de la Garonne (région pauvre en ressource lithique), la brique prédomine amplement. L'architecture des villes est colorée par les matériaux locaux et oriente l'esthétique. Dès le XVIII^e siècle, le mot vernaculaire - du latin *vernaculus* - désigne une architecture en adéquation avec son territoire immédiat. Il s'agit d'un type d'architecture indigène à un lieu particulier, à une région ou un pays. Les traditions de construction et d'utilisation des matériaux perdurent à travers les siècles. C'est une architecture qui « ne répond pas à des écoles de pensée, à des courants, à des tendances internationales²⁸ ». Ainsi, les compétences locales et les filières de proximité sont valorisées et l'impact du transport est limité :

S'il est vrai que les pays, si diversement modifiés par les climats, soient appropriés à la nature différente des nations qui les habitent, et que les peuples y naissent avec de si grandes disparités, ne doutons point que la disposition des maisons ne doive également être assortie au tempérament de chaque peuple, puisque la nature nous ouvre elle-même, d'une manière aussi simple qu'ingénieuse, la voie que nous devons suivre.²⁹

Aujourd'hui, les exploitations de carrières continuent de se faire à ciel ouvert ou en souterrain. Avec environ 3 300 carrières actives³⁰, la France est l'un des pays les plus productifs d'Europe. Les matériaux les plus abondants sont les granulats (pour le béton ou les sous-couches routières), les roches ornementales, les pierres de construction, les sables. Le calcaire et le gypse sont toujours très présents depuis de nombreux siècles. Les carrières françaises sont très bien réparties sur le territoire mais la nécessité de maintenir une indépendance en matière minérale se fait grandissante ces temps-ci - attraction financière au risque d'empreintes carbone très fortes.

C. IMPACT DE LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE SUR L'APPROVISIONNEMENT DES MATÉRIAUX

Depuis l'industrialisation de nos modes de production à partir du XIX^e siècle, la fabrication de produits manufacturés a sensiblement évolué, laissant le système artisanal être remplacé par des chaînes de fabrication à fort potentiel de productivité excentrées des centres bâtis. Celle-ci bouleverse également les modes d'extraction, de transformation et de distribution des matériaux de construction. Le passage d'une société agricole et artisanale à une société industrielle se fait sur un modèle de croissance perpétuelle qui bouleverse également les techniques de construction utilisées depuis des millénaires. La forte croissance démographique génère l'édification de plus d'un million de constructions en France³¹ augmentant la consommation des matières premières.

Le développement des moyens de transport comme le chemin de fer provoque l'agrandissement des étendues d'approvisionnement des matériaux de construction. Dès les années 1820, cette nouvelle organisation des modes de transports (chemins de fer, réseaux de canaux, bateaux) encourage la fraction entre architecture et ressources locales. Le développement du moteur à énergies fossiles (le charbon notamment) permet le transport des matériaux sur de grandes distances. Une multitude de carrières locales deviennent désuètes et sont laissées à l'abandon. A partir du XIX^e siècle, de grandes carrières sont exploitées sur un mode industriel à l'écart des villes et à partir du XX^e siècle, les bâtisseurs de France s'approvisionnent en Europe de l'Est et en Asie.

L'exploitation exclusive des ressources locales se voit perturbée par l'avènement du progrès technique et les matériaux de construction se mettent à voyager sans condition. L'État encourage le libre-échange - d'abord porté sur les produits textiles et métallurgiques - afin de favoriser l'ouverture de l'économie française au reste de l'Europe et du monde (cf. figure 21, p.31). Le but est de produire en masse des produits spécifiques dont les ressources sont locales et d'exporter le surplus à d'autres pays qui ne peuvent être autonomes. Les matériaux se déplacent donc vers les constructions. L'avènement du moteur à explosion raccourcit encore plus les temps de trajet. Le développement du béton à l'échelle industrielle et l'apparition des pierres artificielles chamboulent l'utilisation de la pierre naturelle que l'Humain a, depuis toujours, quasiment puisé au pied de son abri.

27. Vitruve, P. (environ 35 av. J.-C.). *De l'architecture*. Livre VI.

28. Varin, F. *L'architecture vernaculaire : une définition difficile à cerner*.

29. Vitruve, P. (environ 35 av. J.-C.). *ibid.*

30. Recensement 2020. Bureau de recherches géologiques et minières.

31. Bardet, J.P., Chaunu, P., Desert, G., Gouhier, P., Neveux, H. (1971). *Enquête d'Histoire économique, XVe-XIXe siècles*. Tome I : Maisons rurales et urbaines dans la France traditionnelle.

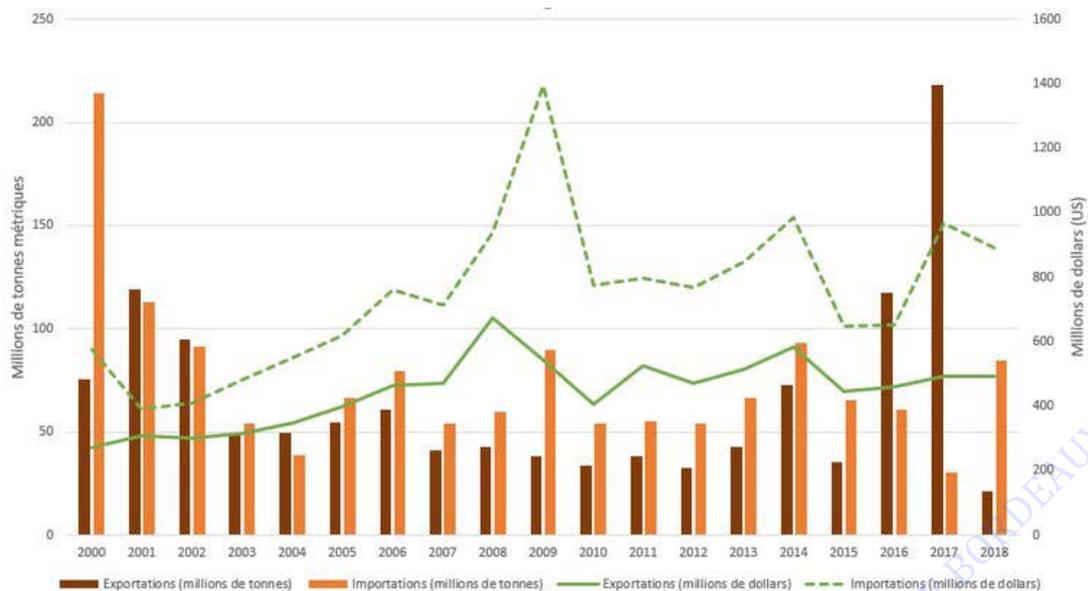


Figure 20 : Commerce mondial du sable, tel que rapporté par les pays exportateurs et importateurs. (2018). UN Comtrade.

L'omniprésence du béton dans nos constructions actuelles a de nombreux impacts sur la quantité des ressources non renouvelables telles que le sable et le gravier. Ces ressources représentent le plus grand volume de matières premières après l'eau (entre 40 et 50 milliards de tonnes) extrait chaque année dans le monde impactant les écosystèmes de manière non négligeable. « Jusqu'à récemment, le sable était extrait des carrières et du lit des rivières ; cependant, l'exploitation des granulats marins prend de l'ampleur compte tenu d'un relatif épuisement des ressources terrestres. Au niveau mondial, la croissance est exponentielle³² », constate Pascal Peduzzi, chercheur au Programme des Nations Unies pour l'environnement. L'exportation de ces matières premières pose de nombreuses questions environnementales et bafoue le patrimoine historique, géologique et géomorphologique des carrières qui ont accompagné les transformations du paysage naturel et bâti. Du fait de son exportation et de sa normalisation, la matière perd de sa valeur et de son sens réel. Elle ne peut plus conférer à l'architecture une qualité historique et temporelle, une expression matérielle et un contenu émotionnel alors que « la matérialité du bâti doit se combiner avec la matérialité du lieu³³ » d'après l'architecte Peter Zumthor.

Aujourd'hui, la Fédération Française du Bâtiment alerte sur la tension mondiale grandissante concernant l'approvisionnement des matériaux de construction parallèlement à la hausse des prix. Les plus gros marchés de biens de consommation que sont la Chine et les États-Unis sont toujours plus demandeurs

(la Chine représente 47 % de la demande mondiale de ciment et en trois ans elle a consommé plus de ciment que les États-Unis en cent ans³⁴). La hausse importante de la demande fait augmenter le prix des transports comme le fret maritime, ce qui se répercute sur les entreprises de vente de matériaux qui doivent baisser leur taux de marge pour continuer à vendre (facteur lié à la crise de la Covid-19 notamment). L'intensité des projets métropolitains en matière de nouveaux logements alimentent aussi cette crise car les objectifs souhaités sont difficilement alignés avec la disponibilité des matériaux. La métropole bordelaise a pour objectif la construction de 50 000 logements en quelques dizaines d'années tandis qu'au niveau national, le gouvernement a annoncé la construction de 500 000 logements neufs. Le président de la Fédération Française du Bâtiment rappelle qu'il est nécessaire de « mettre en face les moyens d'approvisionnement localement les entreprises du bâtiment³⁵ », et est rejoint par le président de la délégation régionale de l'Unicem³⁶, Jean-Yves Cadieux, qui souligne que « les dispositions prises dans plusieurs documents de planification à l'échelle régionale ou départementale vont à l'encontre d'un approvisionnement durable des territoires³⁷ ». Produire des matériaux de construction à proximité des bassins d'expansion doit donc redevenir une nécessité dans un souci de durabilité et d'économie de moyens.

32. <https://www.lesechos.fr/2016/02/la-guerre-mondiale-du-sable-est-declaree-1110253> (consulté le 17 avril 2022).

33. Zumthor, P. (2010). *Penser l'architecture*. Birkhäuser. p.99.

34. Statistiques Planetoscope. <https://www.planetoscope.com/matieres-premieres/1708-production-mondiale-de-ciment.html>.

35. <https://www.batiactu.com/edito/approvisionnement-matieres-construction-filiere-toujours-33484.php> (consulté le 14 mars 2022).

36. Union Nationale des Industries de Carrières Et Matériaux de construction.

37. *ibid.*

FIG 21. MINE D'OR DE SERRA PELADA, BRÉSIL, 1944. SEBASTIÃO SALGADO





ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET ARCHITECTURE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR
INSTITUT DE PAYSAGE DE BORDEAUX

02. VERS UN CHANGEMENT DE PARADIGME DES SYSTÈMES URBAINS

Pour l'anthropologue Marc Augé, « urbanisation et mondialisation constituent un changement de définition de l'humanité », en d'autres termes, le bouleversement de notre société, caractérisé par la troisième révolution industrielle - avènement des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication - nécessite un changement du paradigme actuel. L'Humain doit désormais résilier son modèle de fonctionnement linéaire et contrôlé pour un fonctionnement des écosystèmes ouverts, contributifs et hybrides. Ainsi, devient-il le principal élément déclencheur des transitions de notre société.

A. INFLUENCE DE L'ÊTRE HUMAIN SUR LA MODIFICATION DES ÉCOSYSTÈMES

Le monde vivant est composé d'écosystèmes qui interagissent les uns avec les autres. Les espèces échangent de l'énergie et de la matière entre elles et avec l'environnement dans lequel elles se trouvent. C'est le principe d'interrelation entre biotope et biocénose. Ainsi, lorsqu'une espèce est affectée par un déséquilibre, l'ensemble du système est impacté et l'écosystème est alors modifié. Les écosystèmes évoluent depuis la nuit des temps de manière naturelle et progressive. Depuis que l'Humain fait partie des multiples écosystèmes terrestres, il entretient de nombreuses relations avec son environnement qui sont indispensables à sa survie. En exploitant massivement les ressources de son environnement pour faire perdurer et évoluer son espèce, l'Humain a développé un statut de prédateur, tout en ayant une influence positive sur le développement de la biodiversité.

relation de dépendance aux systèmes qui l'entourent et qu'il épuise de plus en plus. L'Organisation Non Gouvernementale Global Footprint Network a mis en place dans les années 1970 un calculateur³⁸ de la date annuelle à laquelle l'humanité a consommé l'ensemble des ressources renouvelables que la Terre est capable de générer en une année. Passé ce jour, les Humains puisent dans le stock de matières non renouvelables. En 1970, la date était au 31 décembre et depuis, elle n'a fait qu'avancer pour être au 29 juillet en 2021. Même si la méthodologie de calcul change régulièrement et que sa fiabilité est contestée, c'est une représentation qui nous montre à quel point l'Humain épuise inexorablement les richesses telluriques.

Les conséquences des activités humaines ne sont donc pas négligeables, au point d'être entrés dans une nouvelle dimension géologique : « l'ère de l'Humain » ou en d'autres termes, l'ère de l'Anthropocène. Ce terme a été théorisé pour la première fois dans les années 1990 par le météorologue et chimiste de l'atmosphère Paul Josef Crutzen et par le biologiste Eugène

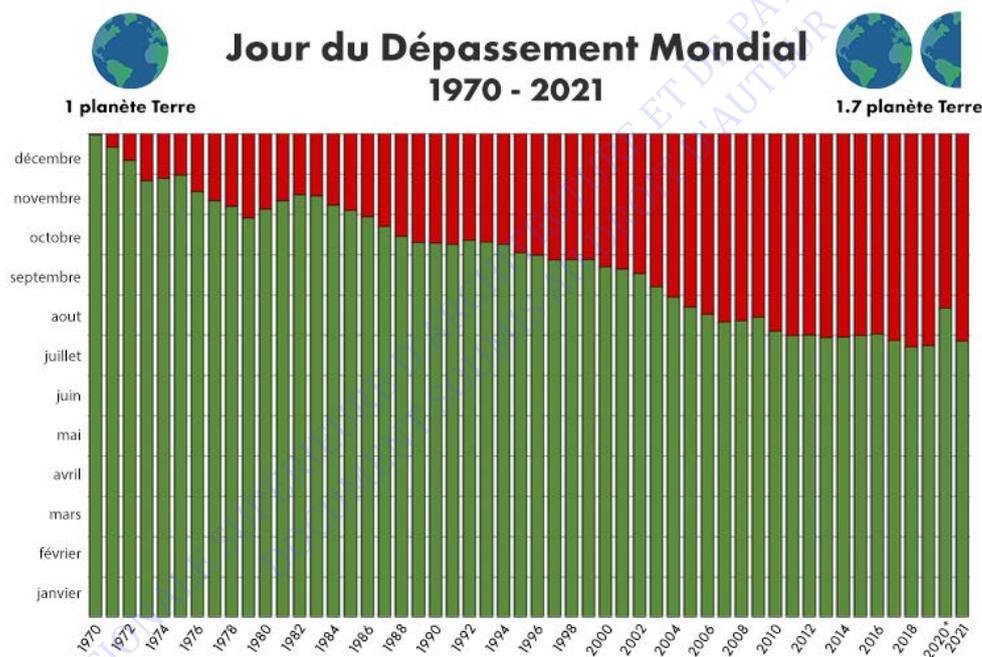


Figure 23 : Jour du dépassement mondial. (2021). National Footprint and Biocapacity Accounts.

Mais de plus en plus, l'Humain provoque des déséquilibres qui sont parfois irréversibles entraînant des dégradations de toutes sortes sur l'ensemble des écosystèmes qui l'entourent. Le rythme naturel d'extinction est dangereusement multiplié, notamment depuis la révolution industrielle du XIX^e siècle qui s'est étendue à l'ensemble de la planète. Il épuise les ressources trop rapidement par rapport au temps nécessaire pour que les écosystèmes se renouvellent (la pierre ou le sable que l'on extrait pour la construction ont quelques milliers voir millions d'années). On parle aujourd'hui d'Empreinte Écologique. Le caractère hétérotrophe de l'Humain le maintient dans une

Stoermer. Il désigne l'empreinte humaine qui influence de manière négative et désastreuse la biosphère et le système terrestre. Ainsi, les reliquats et les décombres de notre passage sur Terre deviennent des strates sédimentaires et forment des conglomérats rocheux artificiels. Ces altérations impactent l'équilibre du système terrestre de l'Holocène dans lequel nous nous trouvons depuis environ 11 000 ans. « La face entière de la Terre porte aujourd'hui l'empreinte de la puissance de l'Homme³⁹ » écrivait déjà le comte de Buffon, académicien, naturaliste et biologiste en 1780. Même si la définition de cette nouvelle ère géologique n'est pas reconnue par tous

38. <https://www.footprintcalculator.org/home/fr> (consulté le 26 janvier 2022).

39. Comte de Buffon, G. L. L. (1780). *Les époques de la nature*. Vol. 1. Imprimerie Royale de Paris.

au sein de la communauté académicienne et scientifique⁴⁰, ce concept de l'Anthropocène révèle la fracture grandissante entre l'Humain et la Terre.

La notion d'Anthropocène peut être appliquée aux mécanismes urbains dans le sens où les villes polarisent les enjeux de nos sociétés. Les métropoles combinent et renvoient vers deux hypothèses fortes. La première consiste à considérer que ce sont elles qui concentrent aujourd'hui la population, les activités, les bassins d'emplois, les pôles de ressources, les biens et les services, etc. Elles ne cessent de s'accroître et focalisent donc toutes les ressources sans pouvoir être indissociées du processus de mondialisation. Ce sont elles qui consomment et sont prédatrices. Elles influencent donc grandement cette nouvelle ère de l'Anthropocène. La seconde hypothèse consiste à considérer que ce sont elles qui concentrent les fonctions stratégiques, économiques et politiques. Elles exercent un certain nombre de compétences, en matière de développement économique, social et culturel, d'aménagement de l'espace métropolitain, de politique locale de l'habitat, de gestion des services d'intérêt collectif mais aussi de protection et de mise en valeur de l'environnement. Autant de sujets qu'il faut développer dans l'intérêt commun et écosystémique, mais aussi dans une vision globale pour que dans un avenir plus ou moins proche, on sache rééquilibrer les besoins et les ressources, en favorisant la réactivité et la plasticité urbaine. Même si le schéma métropolitain connaît aujourd'hui beaucoup de tensions et tend à être transformé⁴¹ - fragmentation du territoire, tensions entre vocation historique et ambitions d'aménagement, uniformisation et mimétisme, territoire privilégié -, le modèle territorial est un levier considérable pour modifier l'impact farouche que l'Humain a sur la planète, en questionnant ce dont il dépend pour perdurer :

L'Anthropocène, considéré comme le moment dans l'histoire où les activités humaines ont une incidence globale significative sur l'écosystème terrestre, se formule d'abord dans les champs de la climatologie. En architecture, la thèse de l'anthropocène peut se lire comme la nécessité de sortir d'une approche strictement énergétique des changements climatiques, pour penser une manière de développer un autre rapport au monde, de créer de nouvelles manières d'habiter et de construire notre monde avec toutes les entités vivantes. Aujourd'hui, ce nouveau courant de pensée se déploie sous les termes « de nouveau réalisme » et s'éloigne du post-moderne et du structuralisme qui ne cherchaient pas à comprendre les causes des faits humains, mais seulement leurs significations sociales.⁴²

B. DENSIFICATION DES STOCKS DE MATIÈRES ANTHROPIQUES EN CENTRES URBAINS

Le système métropolitain dont l'expansion semble être sans limite apparente, contribue à l'augmentation des quantités de matières entrantes en son centre mais également à la densification des stocks de celles-ci. Des substances, de tous types, s'accumulent au fur et à mesure à l'intérieur même des villes, créant à certains endroits des strates pareilles à des systèmes sédimentaires. Si l'on a, pendant des siècles durant, privilégié la ressource locale et son réemploi, le processus de densification et de renouvellement urbain impose l'importation d'intrants de toute nature. Les matières sont devenues des variables exogènes au développement urbain, sans possibilité de mettre sur pause un système déjà fortement ancré. L'apport extérieur de matériaux conditionne donc la survie du groupe humain vivant à l'intérieur des systèmes urbains. Ainsi, les flux concernent l'alimentation, les biens matériels, les matériaux de construction, les matières premières et secondaires, les produits manufacturés, etc. L'Europe tient une place importante dans le triste classement des ressources surconsommées par continents, avec une consommation qui se situe entre 15 et 35 tonnes par personne et par an. Une large partie de ces ressources se retrouve donc au cœur des zones urbaines puisqu'environ 40 % des Européens vivent en ville. Tous ces flux forment des va-et-vient entre la ville et l'extérieur, la rendant dépendante d'un système très précis et généralisé :

Dans les villes, les flux de matériaux géologiques nécessaires à les construire et à les reconstruire sont réalisés par les humains et sont largement produits par les énergies fossiles stockées dans les hydrocarbures. Les assemblages de roches anthropogéniques et de minéraux qui en résultent peuvent être pensés comme des systèmes sédimentaires (et/ou des traces fossiles), fossilisables, à l'échelle de la planète.⁴³

Depuis la sédentarisation de l'Humain, l'action de stocker représente la symbolique de la survie. Ainsi, l'Humain a cessé de vivre en flux tendu - cueillir, chasser et consommer - pour se concentrer sur ce qu'il pouvait mettre de côté - stock de céréales, viandes, féculents, etc. Ce qui a généré la sensation de pouvoir se reproduire avec une certaine stabilité. La ville a donc toujours été un point d'accumulation avec de nombreuses ressources en son centre. Mais depuis le XIX^e siècle et la pratique courante du modèle immédiat : prélèvement - transformation - consommation - rejet, la société industrialisée a basculé dans une gestion en flux tendus. La structuration urbaine se fait au dépens du stock dans le sens où la mondialisation subsiste grâce à des

40. Le Gall, J., Hamant, O., Bouron, J. (2017). Anthropocène. *Géoconfluences*, rubrique « notion en débat ».

41. Olive, M. (2015). Métropoles en tension. La construction heurtée des espaces politiques métropolitains. *Espaces et sociétés*, 160-161, 135-151.

42. Boudreau, J. P. (2020, 8 décembre). L'architecture doit s'ouvrir à la nature. *La Presse*.

43. Zalasiewicz, J., Waters, C., & Williams, M. (2017). Les strates de la ville de l'Anthropocène. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*. Vol. 72. p.329.

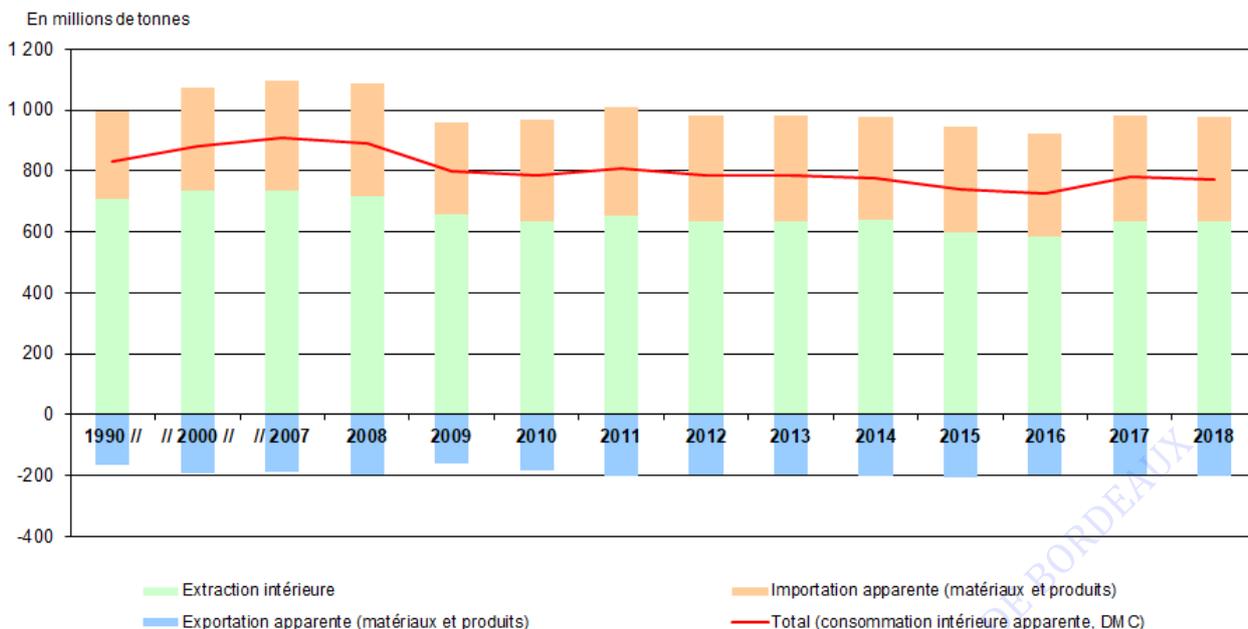


Figure 24: Évolution de l'extraction intérieure, des importations et des exportations de matières en France. (2021). Agreste, douanes françaises, UNICEM.

flux considérables et un tissu interconnecté global. Ces flux supplantent les stocks mais les font enfler également puisque l'accumulation, en parallèle d'une obsolescence grandissante, provoque une densification des stocks anthropiques urbains sans pareille mesure. La gestion de ces stocks est linéaire car la restitution des matières premières prélevées n'est pas possible dans leurs milieux d'origine - ou alors dans une forme peu compatible. C'est à ce moment-là que le déchet est produit :

L'esthétique du stock a complètement disparu. Elle a disparu parce que ce qui est mis en valeur aujourd'hui dans l'économie mondialisée, c'est le flux, au détriment du stock. Le stock est considéré à proprement parler comme tout ce qui ralentit l'économie.⁴⁴

La ville « matérielle » est donc composée d'une multitude d'éléments chargés de valeurs, pour certains d'une valeur économique et pour d'autres d'une valeur historique. C'est notamment le cas des matériaux de construction, qui s'accumulent au fil du temps et sont le témoin de l'empreinte de nos villes dans le temps : « Briques, asphalte, parpaings, acier et plastiques seront les marqueurs géologiques les plus évidents de notre époque d'ici plusieurs millions d'années⁴⁵ ».

Ces espaces artificialisés que sont nos villes concentrent donc dans leurs morphologies des tas de matériaux issus de matières premières minérales. Les villes sont morcelées d'architectures différentes dépendantes d'époques, de matériaux et de techniques distinctes. Aujourd'hui, les matériaux sont devenus sources de connaissances et révèlent, grâce aux recherches

archéologiques et scientifiques, des savoir-faire, des techniques ou des modes de production, etc. Mais nul besoin d'être initié pour comprendre que la conservation de ce stock de matériaux de grandes valeurs est indispensable, par quelconques moyens (cf. figure 26, p.39) :

Le tissu d'une ville correspond à une transformation de matériaux géologiques bruts en un assemblage complexe de nouveaux minéraux, fabriqués par des humains. Cette activité est considérée en termes de « métabolisme urbain », avec des afflux et des flux quotidiens de personnes, de nourriture, d'eau et de déchets.⁴⁶

Afin de mieux comprendre ces flux et ces stocks, un cadre d'analyse est nécessaire. L'approche physique du métabolisme urbain permet en ce sens d'avoir une meilleure connaissance des systèmes dans lesquels la ville est ancrée. Le moyen de mesure du métabolisme urbain donne une vision quantitative de ce qui entre, de ce qui est stocké et de ce qui sort d'un territoire donné. Cela permet une vision globale des déséquilibres urbains. Cet indicateur a toute son importance dans les mesures de politiques territoriales et urbaines. La ville peut être perçue comme le reflet d'un assemblage d'éléments dormants et vivants. La métaphore de gisement apparaît donc pour définir cette charge de substance utilisée ou en attente. Nous pouvons donc nous demander si ces dépôts ou réserves peuvent être gérés de la même manière que les carrières naturelles ou si d'autres schémas doivent être formulés.

44. Landauer, P. Vidéo Esthétique du flux, esthétique du stock. Pavillon de l'Arsenal. <https://www.dailymotion.com/video/x81kw7x> (consulté le 26 février 2022).

45. Dumas, C. (2021, 22 février). Le béton et les autres nouveaux ingrédients de la croûte terrestre. *Heidi News* (consulté le 17 avril 2022).

46. Zalasiewicz, J., Waters, C., & Williams, M. *op. cit.*

C. IMPLICATION DE L'AUTOSUFFISANCE DANS LE CONCEPT DE RÉSILIENCE URBAINE

Cette composition de flux, de stocks, d'éléments entrants et sortants, fait progresser la métaphore classique comparant la ville à un corps vivant⁴⁷. La ville peut donc être perçue comme une entité à part entière, qui évolue, se transforme, grandit, se modifie. Cette figure du vivant qu'est la ville fait aujourd'hui face à une surpopulation et une surconsommation exponentielle, qui provoque un changement d'échelle, générateur de tensions. Son système est remis en question et les préoccupations qui la concernent sont grandissantes à un moment où la communauté scientifique alerte sur les effets visibles et notoires d'une forte altération des écosystèmes, causée par notre mode de vie moderne. Un changement de paradigme des systèmes urbains comprenant résilience et autosuffisance est indispensable afin de contrebalancer ces effets visibles et invisibles.

La résilience est la capacité d'un individu à supporter et à résister aux chocs ou traumatismes afin de retrouver un équilibre et de poursuivre le cours de sa vie. Cette qualité, appliquée à la ville, peut se définir comme « la capacité d'un système urbain à absorber une perturbation et à retrouver ses fonctions à la suite de cette perturbation⁴⁸ ». Ainsi, nous devons évaluer les perturbations qui affectent la ville depuis le XIX^e siècle. Même si de nombreux effets sont indéniablement positifs comme l'accessibilité aux services, l'interconnexion des communications, le développement des réseaux de transports et autres, la durabilité du modèle actuel est mise en question. Les éléments du système urbain doivent être maintenus mais de manières différentes, afin de soutenir les principes du développement durable et d'assurer la remédiation. Afin d'optimiser

la capacité de résilience d'une ville, la démarche pourrait être dans un premier temps prospective et dans un second temps opérationnelle, en définissant des indicateurs de performance qui orienteraient les prises de décisions et les schémas d'actions des acteurs de la ville.

Le but n'est donc plus de chercher à éviter les chocs mais de les accepter et d'évoluer en atténuant leurs conséquences. Réduire la vulnérabilité pour se maintenir dans le temps est donc une des composantes de ce principe de résilience, qui privilégie l'adaptabilité. Adaptabilité qu'il faut favoriser dans les programmes architecturaux face à l'obsolescence des qualités spatiales, en les rendant réversibles :

Pour faire face aux nombreuses perturbations agissant sur le système urbain, l'approche résilience cherche à améliorer la capacité d'adaptation du système afin de limiter les écarts à la trajectoire idéale de la durabilité. En favorisant une approche tournée vers le long terme, prenant en compte les incertitudes sur les évolutions de l'environnement physique, technologique, économique et social, l'amélioration de la résilience doit anticiper l'adaptation du fonctionnement du système et de ses composants [...] la perturbation peut créer des opportunités qu'il faut savoir mettre à profit, et pour cela le développement même de la ville doit avoir reconnu, accepté et intégré la possibilité de perturbations.⁴⁹

Le principe de résilience urbaine peut avoir plusieurs temporalités : « la résilience de temps court (moyen de gérer les soubresauts du système urbain soumis à de nombreuses perturbations) et la résilience de temps long (maintenir le système urbain dans la trajectoire idéale de la durabilité)⁵⁰ ». Cette résilience de temps long est précédée par la résilience

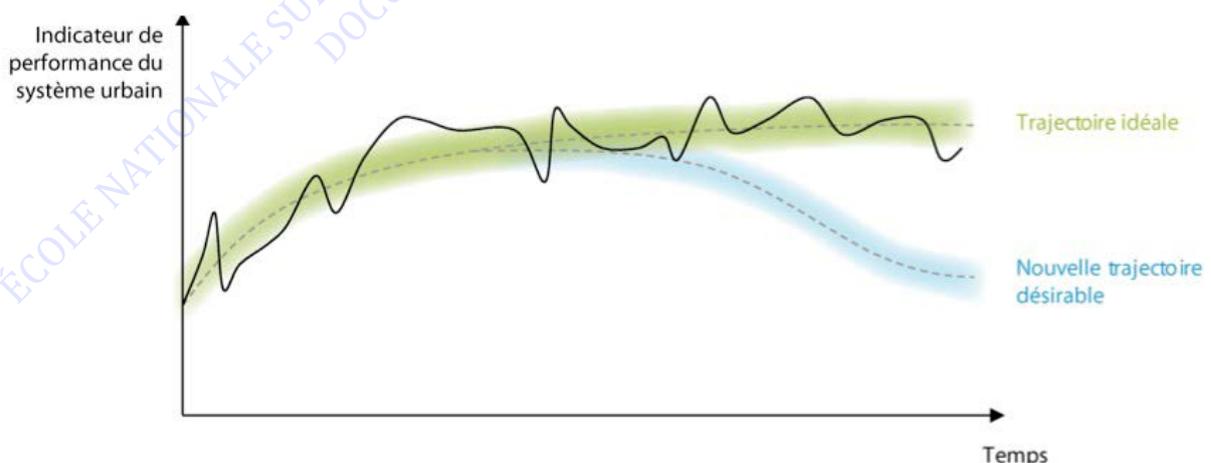


Figure 25 : Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y., Serre, D., & Laganier, R. (2012). La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ?

47. Peñalta Catalán, R. (2011). *La ville en tant que corps : métaphores corporelles de l'espace urbain*.

48. Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y., Serre, D., & Laganier, R. (2012). La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? *Développement durable et territoires*. Économie, géographie, politique, droit, sociologie. Vol 3, n°1.

49. *ibid.*, p.7.

50. *ibid.*, p.5.

de temps court dans le sens où la durabilité de la ville devient possible une fois que celle-ci est équipée contre les perturbations soudaines, comme les chocs liés aux perturbations climatiques ou étendues, comme les mutations sociales ou les crises économiques. Le principe de résilience ne peut être dissocié de la prise en compte des éléments extérieurs par les systèmes urbains. Nous pouvons d'ores et déjà présenter les pratiques du réemploi et du recyclage comme des outils et méthodes pouvant participer à cette résilience.

L'autosuffisance, quant à elle, questionne la dépendance des systèmes urbains aux intrants et aux flux extérieurs en valorisant la durabilité et le caractère résilient d'une ville. Le principe d'autosuffisance est défini comme la capacité à subvenir à ses propres besoins grâce à certains moyens. Nous pouvons parler d'autosuffisance alimentaire ou énergétique par exemple. Nous pouvons donc nous interroger sur le principe d'autosuffisance comme condition à la résilience urbaine et donc à sa durabilité. Est-ce que la ville, par des mécanismes d'autorégulation internes gérés à la fois par les politiques et la population, peut augmenter sa capacité de résistance ? Ces mécanismes concerneraient une multitude de domaines comme l'alimentation, l'énergie, les biens de consommation ou encore les matériaux de construction. La professeure et chercheuse Sabine Barles, qui s'est beaucoup intéressée au métabolisme urbain et à la soutenabilité des villes d'aujourd'hui, alerte sur les contradictions de ce caractère autosuffisant. La ville, dans sa dimension globale, aurait du mal à générer autant de matière dont elle a besoin, puisque l'autosuffisance implique « qu'elle tire l'ensemble des ressources dont elle a besoin de son propre territoire, ressources qui devraient être, autant que faire se peut, renouvelables⁵¹ » tout en gérant « ses excreta de façon à boucler localement les cycles biogéochimiques⁵² ». Concernant l'alimentation par exemple, cela impliquerait l'exploitation de superficies bien trop importantes. Ainsi, il faudrait pour nourrir la totalité de la population bordelaise, 89 700 hectares de culture⁵³ (sans changer le régime actuel, sans agriculture biologique), soit 8 fois la surface de Paris. Même si cela est rendu possible, les conséquences impliqueraient un réseau de transport très étendu et donc fortement polluant, des infrastructures colossales et une main d'œuvre démesurée. Sabine Barles affirme donc « qu'il existe une contradiction intrinsèque entre ville et autosuffisance⁵⁴ ».

Contrairement à l'alimentation qui tient d'une logique à perte - production, absorption, destruction - avec de faibles résidus recyclables, les matériaux de construction subsistent en continuant de remplir les qualités de ce pourquoi ils ont été

façonnés. Il semblerait que les pratiques du recyclage et du réemploi, de ces dits matériaux, rentreraient en ligne de compte dans l'approche de l'autosuffisance urbaine, en supposant le renouvellement de la ville sur elle-même. En effet, les matériaux de construction sont constitutifs des stocks de matières anthropiques présents dans les villes. En ce sens, valoriser le déjà-là permettrait d'enclencher une chaîne circulaire fixe favorisant l'autosuffisance, « puisque dans ce cas détruire la ville construit la ville⁵⁵ », d'après Sabine Barles. Ainsi, la revalorisation continue des matériaux de construction engagerait la ville dans une forme de résilience et d'autosuffisance au service de sa durabilité. Même si cela implique un cadre théorique et réglementaire, des zones de stockage, des flux de transports et de nombreuses autres conditions, le changement de paradigme des systèmes urbains peut être enclenché.

51. Barles, S. (2010). *Les villes : parasites ou gisements de ressources ?*

52. *ibid.* p.2.

53. Calculateur : <https://parcel-app.org/>.

54. *ibid.* p.4.

55. *ibid.* p.5.

FIG 26. DÉMOLITION DE L'ÉGLISE NOTRE-DAME-DES ANGES, BELFORT, 2015. XAVIER GORAU





ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

03. APPROCHE HOLISTIQUE ET PROSPECTIVE DES GISEMENTS URBAINS

Il est admis qu'aujourd'hui la ville s'organise comme un écosystème à part entière, dont l'équilibre est en permanence questionné et menacé, notamment par les mutations sociales, économiques et spatiales. Ses capacités de résilience sont également éprouvées puisque le système urbain est extrêmement dépendant de l'extérieur. Ce système ne peut se développer en autonomie. Il est nécessaire d'explorer de nouvelles formes de considération, d'organisation et de gestion des ressources afin de répondre aux objectifs de durabilité. Considérer le bâti comme un stock de matière brute en étant proactif permet une approche plus holistique de la ville - qui s'intéresse à son objet comme constituant un tout.

A. PROGRESSION DE LA MÉTAPHORE ORGANICISTE

La corrélation entre morphologie du vivant et morphologie architectonique ne date pas d'hier. Durant la Renaissance, la nature a joué un rôle clé dans les projections artistiques. Symbole d'harmonie et d'équilibre, elle devient un référent de la représentation picturale en perspective, théorisé par Leon Battista Alberti dans son traité *De Pictura* en 1435. En parallèle, la pensée Humaniste se propage avec pour modèle principal la considération de l'être humain comme centre de tout et comme valeur suprême. De nouveau, Alberti y consacre un ouvrage : *De re ædificatoria* en 1452, dans lequel il énonce que les proportions du corps humain doivent être prises pour canon⁵⁶. Cette œuvre, considérée comme le premier traité d'architecture de la Renaissance est une reformulation de *De Architectura*, dans lequel Vitruve, aux environs de -35 av. J.-C., établit que les proportions du corps humain et de l'environnement doivent être prises en compte dans l'agencement de l'espace, donnant naissance à *L'Homme de Vitruve* dessiné par Léonard de Vinci en 1490. Il énonce « Pour qu'un bâtiment soit beau, il doit posséder une symétrie et des proportions parfaites comme celles qu'on trouve dans la nature.⁵⁷ » Les proportions numériques de l'être humain, faisant partie de la nature, deviennent des références de la composition architecturale.

Bien que nous puissions affirmer la relativité de ce fondement vitruvien - le beau étant une notion qui n'a intrinsèquement aucune vérité - ce précepte aura influencé un grand nombre d'artistes et d'architectes mettant au centre de leurs préoccupations la figure humaine. Tel le *Modulor* de Le Corbusier, gabarit standardisé du corps humain servant d'outil de mesure à ses unités d'habitation - la parenté entre l'architecte et la pensée humaniste étant contrastée au bénéfice d'une dimension hygiéniste. Le mouvement humaniste persiste jusqu'au XIX^e siècle, accompagné de l'anthropocentrisme, philosophie considérant que toute chose doit se rapporter à l'être humain dominant la nature. Ces doctrines se heurtent d'abord à la théorie de l'évolution de Charles Darwin puis au philosophe Friedrich Nietzsche qui met en garde contre la référence à l'Humain comme sujet universel aliénant, suivi par Sigmund Freud qui interroge la figure du moi face à l'inconscient du sujet humain. Aujourd'hui, bien ancrée dans l'ère de l'Anthropocène, notre société humaine doit reconsidérer la place qu'elle tient au sein du vivant pour prendre comme nouveau partenaire d'évolution, son milieu naturel :

Le concept de vivant permet de dépasser le dualisme et l'anthropocentrisme introduit par la modernité et pousse vers une conception symbolique et pratique de la ville comme métabolisme urbain, signe d'une approche prenant en compte le défi écologique pour « ménager » la ville.⁵⁸

Pour ce faire, notre société pourrait calquer son évolution sur celle des espèces vivantes qui adaptent leurs organes à de nouvelles fonctions en passant d'une ère à une autre. L'adaptation biologique pourrait s'appliquer aux systèmes urbains, en ce sens qu'ils pourraient s'adapter en toute cohérence aux conditions extérieures. Qualifier la ville de métabolisme permettrait la modification des caractères anatomiques de celle-ci en fonction de son milieu dans l'optique de sa durabilité en « recréant une large biodiversité, en favorisant les échanges et la croissance organique, en fonctionnant de manière circulaire, en rendant les êtres et le bâti capables de muter avec le temps et les usages⁵⁹ ».

La ville, dans une vision organique, pourrait donc chercher à reproduire les mécanismes du vivant en vue de développer ses qualités réversible, modulaire et mixte. Il est question de sortir du dualisme moderne opposant mécanique et organique afin de développer un rapport inclusif entre Humain et composantes de la biosphère. L'affiliation de la ville avec l'anthropologie et les sciences naturelles se positionne comme antinomique à la Charte d'Athènes, qui fait suite au IV^e Congrès International d'architecture moderne de 1933, explicitant les grands principes de l'urbanisme fonctionnel et assurant la fragmentation de la ville en zones distinctes. Dans le contexte d'après-guerre, cette vision technicienne de l'urbanisme favorise l'unicité du modèle urbain au profit de la rationalisation spatiale et de la *tabula rasa*. En réaction aux 25 propositions de cette Charte, de nombreuses oppositions ont vu le jour, rappelant la nécessité de penser la ville comme un système pluriel et relationnel :

La ville est vivante parce qu'elle est un système réticulaire, fait de flux, voies, artères, conduits, tuyaux, carrefours, etc. L'idée que les réseaux font la ville est primordiale, qu'ils soient techniques, sociaux, culturels ou économiques. Si les réseaux techniques s'arrêtent (transports, énergie, communication), la vie en ville s'interrompt aussitôt.⁶⁰

Le changement de paradigme des systèmes urbains implique la transition d'une conception artificielle de la ville vers une conception dirigée sur le caractère vivant de celle-ci. Afin de réduire les impacts de la ville, qui mettent à mal les écosystèmes,

56. Règles directrices, ordres ou normes de proportionnalité étendues à l'architecture. Définition du CNRTL.

57. Vitruve, P. (environ 35 av. J.-C.). *De l'architecture*. Livre II.

58. Chiambaretta, P. (2017). Métabolisme urbain : conjuguer des approches complexes. *Stream 04*. <https://www.pca-stream.com/fr/articles/philippe-chiambaretta-metabolismes-urbains-conjuguer-des-approches-complexes-99> (consulté le 04 mai 2022).

59. Marion, F. (2018). La ville-métabolisme. Urbanisme - architecture - paysage. *Upmagazine*. <https://up-magazine.info/urbanisme-architecture-paysages/7639-la-ville-metabolisme/> (consulté le 26 mars 2022).

60. Musso, P. La ville vivante ou la ville-texte. *Stream 04*. <https://www.pca-stream.com/fr/publications/stream-04-les-paradoxes-du-vivant-7> (consulté le 26 février 2022).

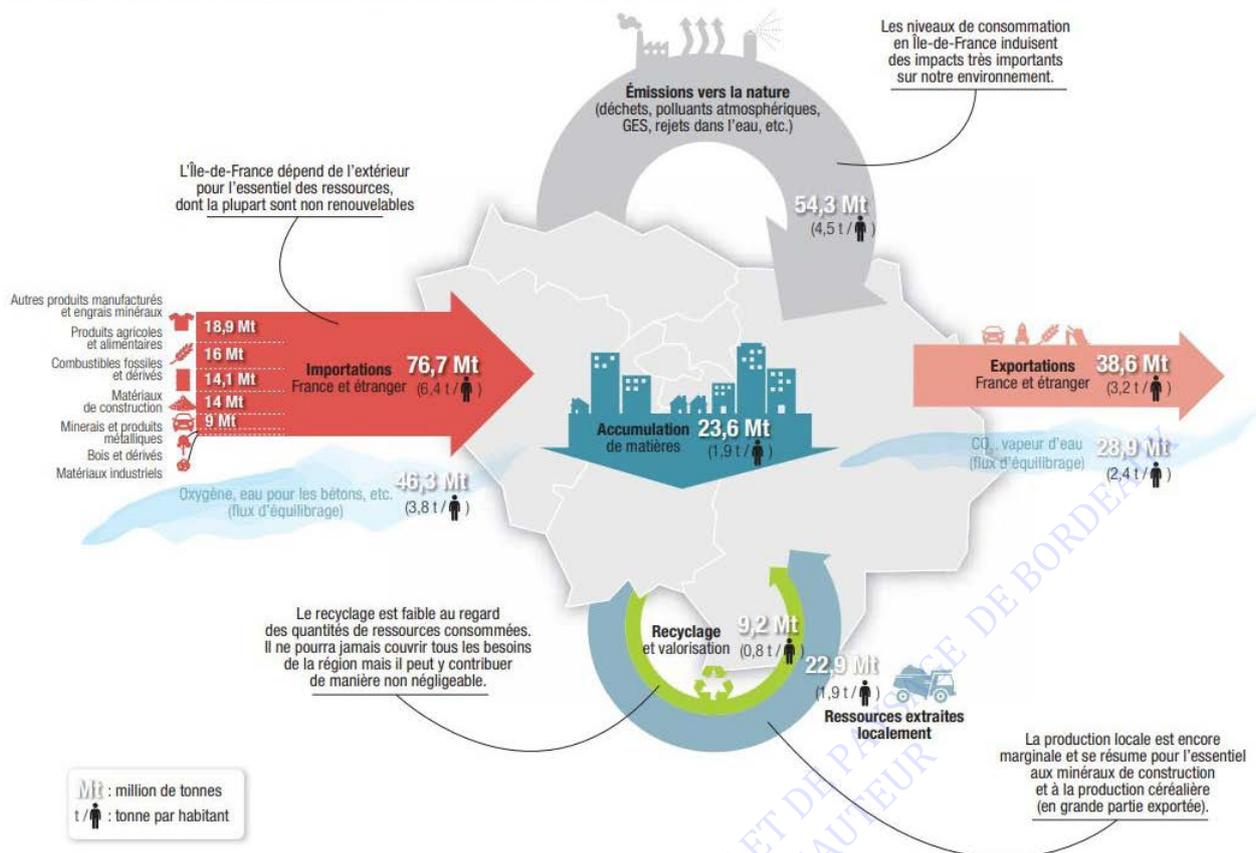


Figure 28 : Augisseau, V., Barles, S. (2018). Bilan des flux de matières de la région Ile-de-France en 2015. IAU IdF.

il est nécessaire de comprendre son fonctionnement, les flux et les réseaux qui la composent et leurs interactions avec l'extérieur, justifiant la métaphore organiciste. Il existe une multitude de portes d'entrée à la compréhension des systèmes urbains, comme les indicateurs sociaux, les indicateurs économiques et financiers, les indicateurs de mobilité, les indicateurs culturels, etc. Mais toutes rejoignent finalement l'approche physique du métabolisme urbain, outil de mesure des flux d'énergies (gaz naturel, électricité, charbon, etc) et de matières (alimentation, vêtements, mobiliers, matériaux de construction, etc) distinguant flux entrants, flux sortants et stock interne par déduction. Mieux définir ces fluctuations permettrait une meilleure gestion de celles-ci : les flux anthropiques supplantent les flux naturels, la majorité des flux circulent de manière linéaire, les flux indirects amplifient l'inventaire, les flux extérieurs sont prépondérants, etc. Les collectivités et politiques publiques peuvent donc grâce à cet outil prendre conscience du poids des systèmes urbains afin d'établir de nouveaux schémas de gestion écosystémiques. Quantifier les entrants et les sortants favoriserait l'optimisation de la circularité et du recyclage, valeurs primordiales de la ville durable.

Les matériaux de construction sont après l'eau, la matière la plus consommée par les villes et représentent une très grande

partie des déchets qu'elles produisent. Ils représentent donc un véritable enjeu à la fois matériel et économique dans la mutualisation des ressources dans le système d'Écologie Industrielle Territoriale⁶¹, l'un des sept piliers de l'économie circulaire défini par l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. De nombreuses recherches sur les flux et stocks des matériaux de construction (Île-de-France, Pays de la Loire, région Lyonnaise, Belgique, etc.) ont permis de définir des méthodes de gestion face au constant renouvellement urbain qui produit un grand nombre de démolitions et de constructions. Les flux et stocks dépendent de leurs milieux et des politiques urbaines mais aussi de la proximité de leurs gisements de ressources. Il est important d'annoncer que chaque nouvelle méthode dépend fortement de son contexte territorial et ne doit pas être défendue ou appliquée comme étant universelle :

Plus que le métabolisme urbain, une approche territorialisée et spatialisée des flux de matières nous semble particulièrement intéressante. C'est l'objet de l'écologie territoriale : il s'agit d'inscrire le métabolisme urbain dans un cadre spatial et social, pour avoir une compréhension fine des relations qu'il entretient avec les pratiques individuelles et collectives, les dynamiques et les formes d'organisation collective et de gouvernements urbains.⁶²

61. Démarche qui consiste à optimiser les flux de ressources utilisés et produits à l'échelle d'un territoire, grâce à des actions de coopération, de mutualisation et de substitution de ces flux de ressources. Définition par la Chambre de Commerce et d'Industrie.

62. Dupuy, G., Coutard O., Lévy, J.P. (2010). Ecologies urbaines. *Cybergeo : European Journal of Geography*.

B. ÉVALUATION DU BÂTI COMME SOURCE DE NOUVEAUX MATÉRIAUX

A l'ère de l'Anthropocène, la durabilité et la soutenabilité sont devenues des composantes essentielles au devenir des villes et à leur capacité de résilience. La ville « matérielle » peut être considérée comme ressource de son développement dans une optique de réversibilité. Les matériaux de construction sont constitutifs de la ville qui devient alors zone de stockage et d'approvisionnement potentielle et future : « Une ville comme Paris est en crue perpétuelle. En elle, il se fait une perpétuelle végétation de charpentes et de pierres. La ville pousse comme une forêt. On dirait que les fondations de vos demeures ne sont pas des fondations, mais des racines, de vivantes racines où la sève coule. Chaque semaine, c'est un essai nouveau.⁶³ » écrivait Victor Hugo. L'organisme complexe de la ville doit être observé comme un assemblage d'éléments hétérogènes disponibles dans l'immédiat ou ultérieurement.

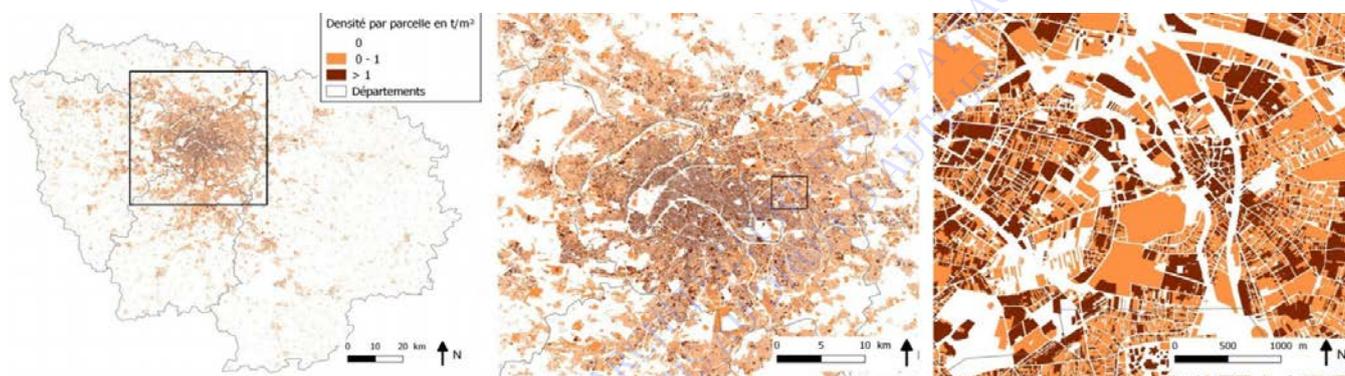


Figure 29 : Densités de matériaux dans les bâtiments hors sous-sol par surface des parcelles bâties. (2018). Vincent Augisseau.

Comment le métabolisme urbain pourrait-il être plus conforme aux objectifs du développement durable ? Une première piste de réflexion consiste à ne plus considérer les villes comme des parasites insoutenables, mais comme des gisements de ressources énergétiques et matérielles valorisables, et à mesurer la contribution d'une telle valorisation à la dématérialisation des sociétés (au sens de la consommation moindre de matières).⁶⁴ La masse de matières anthropiques pèse aujourd'hui plus lourd que ce que la nature représente. D'après une étude parue dans la revue scientifique *Nature*, l'accumulation des bâtiments, routes et de tous les produits manufacturés excède en masse, depuis 2020, celle des écosystèmes terrestres et marins⁶⁵, alors « qu'au début du XX^e siècle, la masse anthropique représentait seulement 3 % du poids total de la biomasse⁶⁶ ». Le grand nombre de bâtiments, aux

morphologies différentes qui composent l'espace urbain, représente une quantité importante de matériaux de construction déjà usinés, transportés, assemblés et utilisés. Bruxelles, par exemple, dispose d'un stock de matières dont 84 % proviennent des bâtiments⁶⁷. La masse de ces bâtiments et infrastructures a, depuis 1900, doublé tous les vingt ans⁶⁸ sur l'ensemble de la planète, associant le patrimoine bâti à une véritable réserve d'éléments dormants et vivants, qui enflent au fil du temps. L'expression « urban mining » désigne cette mine urbaine dont les matériaux peuvent être revalorisés pour éviter d'extraire de nouvelles matières de la nature, notamment dans l'exploitation des métaux précieux. L'enjeu est d'envisager cette source immédiate comme composante effective du renouvellement urbain, avec le réemploi et le recyclage comme stratégies. Les bâtiments, une fois démolis ou déconstruits, fournissent des matériaux de natures diverses comme des gravats de matières inertes ou des matériaux usinés de second œuvre :

Si l'on simplifie à l'extrême et qu'on les combine avec d'autres séries de données mondiales, on peut obtenir une estimation approximative de la masse totale des zones urbaines de la Terre, en ce qui concerne aussi bien les matériaux fonctionnels que les déchets ; selon des estimations, il s'agirait d'environ 11 000 milliards de tonnes sur la masse totale de la « technosphère physique » de la Terre de 30 000 milliards de tonnes. Ce chiffre implique que les matériaux de nos villes, répartis de manière égale sur l'ensemble de la surface de la Terre, pèsent plus de 15kg/m².⁶⁹

L'enjeu est donc d'envisager cette source immédiate comme composante effective du renouvellement urbain, avec le réemploi ou le recyclage comme stratégies. Afin de maximiser la revalorisation de ces gisements urbains, il convient d'étudier

63. Hugo, V. (1863). *Les misérables*. Lassalle.

64. Barles, S. (2010). *Les villes : parasites ou gisements de ressources ?*

65. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-3010> (consulté le 21 novembre 2021).

66. Chauvière, F. (2020). Les constructions humaines pèseraient désormais plus lourd que la nature. *France Inter*.

67. Gobbo, E. (2021). *La ville comme réserve de matériaux. Comprendre les études de gisement urbain*. FutuREuse. p.6.

68. De Temmerman, G. (2021). 2020, l'année où la masse de l'infrastructure humaine a dépassé celle de la biomasse présente sur Terre. *Usbek & Rica*.

69. Zalasiewicz, J., Waters, C., & Williams, M. (2017). Les strates de la ville de l'Anthropocène. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*. Vol. 72. p.329.

et d'évaluer la valeur de ces stocks car considérer le déjà-là est plus que fondamental afin de prolonger les cycles de vie des matériaux que la ville possède. Pour ce faire, il est nécessaire d'effectuer un « diagnostic ressources » de la ville. Plusieurs échelles d'analyses sont possibles. La première nécessite que chaque bâtiment soit étudié sous tous ses aspects tels que sa hauteur, son empreinte au sol, sa typologie structurelle, sa géométrie, les différents matériaux qui le composent - leur nature, leur densité, leur qualité. La valeur du poids par surface de chaque matériau est additionnée dans le but de dresser un bilan complet de chaque bâtiment à un instant « T ». Cette comptabilité est donc transitoire. Pour une étude menée dans la ville d'Orléans, l'équipe en charge du diagnostic a « calculé qu'un bâtiment en béton armé, d'une surface totale de 1975 m² répartie sur cinq niveaux, pèse 3 431 tonnes, dont 92 % sont relatifs au béton qui le compose, les 8 % restants étant attribués à la terre cuite, l'acier, le plâtre ou le polystyrène⁷⁰ ». Ce type d'étude quantitative traite alors de bâtiments aux typologies différentes et permet par addition d'obtenir le poids total d'une ville. Orléans pèse par exemple 28,6 millions de tonnes. Néanmoins, la collecte des données selon cette approche est assez complexe et longue puisqu'il faut prendre en compte les spécificités de chaque bâtiment, qui peuvent alors être tellement nombreuses que l'inventaire s'en retrouve diffus.

L'analyse du gisement urbain peut également se concentrer uniquement sur les matériaux. La même méthodologie est appliquée mais avec une unité différente. L'étude est menée à l'échelle des éléments de construction, classés par nature (béton, brique, etc) ou suivant leurs typologies et usages (structure, second œuvre, etc). Si l'objectif est de créer une chaîne de valeur directe, de modifier une ligne d'approvisionnement ou encore de redéfinir le marché d'un matériau suivant l'offre et la demande, ce recensement est avantageux. Par exemple, à Toronto, la prospection du gisement de briques en terre cuite utilisées pour l'habitat individuel a permis de montrer « qu'en moyenne 2 523 à 4 542 m³ de briques pourraient être réemployées chaque année, soit 20 % à 36 % du volume de briques neuves utilisées pour la construction de nouvelles maisons en 2012⁷¹ ». Cette information peut donc servir à définir de nouvelles logiques et méthodes de revalorisation à l'échelle de la ville.

Quelle que soit l'échelle de collecte des informations et du traitement des données, une cartographie peut retranscrire les résultats obtenus, soit en considérant la ville comme étant le gisement global, soit en considérant chaque bâtiment comme gisement unique. Lors de ces diagnostics, il est également

important de prendre en compte la durée de vie de chaque type de bâtiment. Les matériaux ne seront pas tous disponibles dans la même temporalité. Le pourcentage de reconversion des bâtiments d'habitation est, par exemple, plus faible que celui des bâtiments liés aux activités tertiaires ou industrielles, « le type de fonction et d'usage influencerait la dynamique des flux⁷² ». Le patrimoine historique impose également une influence propre. Considéré comme unité de temps long, il ne doit pas être comptabilisé dans le diagnostic ressources. De plus, il est important de notifier que l'approche instantanée d'un gisement est biaisée par la rapide évolution de celui-ci. Son caractère évolutif doit être observé et pris en compte, en croisant à la fois des données antérieures (analyses historiques sur l'évolution du gisement) avec des éléments de prévisions (anticipation de l'évolution future). L'unité de mesure du stock urbain est donc essentielle à définir et peut être exprimée en masse - majoritaire - mais également par unité d'élément, mètre linéaire, surface, volume ou valeur économique. Ainsi, une étude peut être formulée au moyen de plusieurs unités qui sont définies à partir de l'intention de celle-ci et de son échelle d'analyse.

Il est nécessaire par la suite de mettre en parallèle les besoins en matériaux de la ville, le stock urbain qu'elle possède déjà, les flux entrants et les gisements à proximité afin d'optimiser la consommation de matériaux neufs pour réduire la pression sur les ressources naturelles et d'accroître les échanges économiques locaux. Cette vision ciblée a pour but la structuration qualitative et quantitative de la circulation de matériaux au sein de la ville et entre la ville et l'extérieur afin de développer des méthodes de gestion intégrée comme le réemploi ou le recyclage :

Nous comprenons la Ville Ressource comme une ville qui profite de ses opportunités pour se régénérer, se développer, et qui par des usages inventifs devient plus économe. En nous penchant sur la signification de cette terminologie, nous avons compris la Ville Ressource comme une ville utilisant ses disponibilités et ses opportunités, et qui au travers de différentes échelles, parviendra à consommer mieux, dans une approche plus sobre de la vie urbaine.⁷³

70. Dumazert, F. (2013). Le patrimoine bâti : un gigantesque stock de matériaux recyclables. *Le Moniteur*. <https://www.lemoniteur.fr/article/le-patrimoine-bati-un-gigantesque-stock-de-materiaux-recyclables.792419> (consulté le 30 mars 2022)

71. Gobbo, E. *ibid.* p. 25.

72. *ibid.* p. 24.

73. Bouniol, A., Combe, M., Khamlichi, S., Le Cornec, M., Rague, C. (2016). *Ville ressource*.

C. RÉGULATION DES FLUX DANS LA GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES URBAINES

Les villes, qui occupent une position centrale dans la mobilisation, la consommation et la transformation des ressources naturelles, sont aussi des espaces de transition et de conversion. La première perspective consiste à relier impérativement programmation urbaine et fluctuation des matériaux. Ce principe, qui peut être considéré comme général, marque les prémisses d'une progression des schémas d'urbanisation propice à la diminution de leurs impacts. Passée l'analyse du métabolisme urbain et de la ville ressource, la régulation et la gestion des flux et stocks de matériaux de construction sont primordiales. Cela passe en partie par des politiques et des services publics, attentifs à l'économie de moyens et d'énergie, mais aussi par une force d'action opérationnelle qui pratique et intervient sur le terrain et qui parfois tente de devancer les services publics et les politiques environnementales. Comme le rappelle le géographe-urbaniste et auteur Jean-Philippe Dind, « la gestion des ressources urbaines est influencée par le poids politique des différents acteurs de la ville. La notion de gouvernance pose explicitement la question des modalités de l'action collective ». Pour ce faire, une connaissance accrue des différents flux de matériaux est nécessaire, apportant une vision globale. Cela ne peut se faire qu'à une échelle locale puisque chaque territoire fonctionne différemment. Les flux de matériaux sont aujourd'hui encore très sectorisés et leur caractérisation se fait à différents niveaux : l'extraction locale, les importations, les exportations de provenance nationale ou internationale, les flux annexes destinés à d'autres secteurs, les rejets vers la nature ou des filières de traitement, les flux excédentaires. Cette quantité massive de flux a pour impact la raréfaction des ressources et l'augmentation de la pollution liée aux transports :

La gestion plus durable des flux d'énergie et de matières est rendue difficile par la complexité et le cloisonnement existant entre les parties prenantes potentielles. Ceux qui approvisionnent les villes ne sont pas ceux qui en gèrent les excreta et les uns ignorent généralement tout des autres, si bien qu'il n'existe pas, à proprement parler, de gouvernance des flux ; en inventer les modalités constitue l'un des enjeux majeurs du développement durable. La difficulté en est renforcée parce qu'il n'y a pas coïncidence entre l'aire d'approvisionnement d'une ville – généralement très vaste et très morcelée – et son aire d'émission – plus concentrée.⁷⁴

Prenons comme support l'analyse des flux de matériaux de construction en Pays de la Loire publiée en novembre 2020, commandée par la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement et missionnée au CERC, observatoires régionaux de la filière Construction⁷⁵. Il s'agit ici d'une détermination des matériaux de construction en fin de vie qui ne produisent que des déchets inertes⁷⁶. Les activités de construction de la région Pays de la Loire concentrent environ 37 millions de tonnes de matériaux dont 85 % sont neufs, issus des carrières ou industrialisés, ce qui illustre la quasi absence d'économie circulaire⁷⁷. Si la majorité des matières premières dédiées à la construction sont extraites dans les carrières régionales et les concessions de sable marin (36,8 millions de tonnes), 5 millions de tonnes sont toujours importées sur le territoire régionale dont 800 000 tonnes le sont depuis d'autres pays, principalement européens dont la majorité en provenance d'Espagne. Ce sont le sable, le ciment et les pièces préfabriquées de béton qui sont les éléments les plus acheminés depuis l'extérieur. Un certain nombre de matériaux traversent toujours le globe en provenance de Chine, d'Inde ou de Turquie. Ces pays, européens ou internationaux, assimilent aussi une partie des matériaux produits par les Pays de la Loire qui sont exportés (26 000 tonnes), mais la plupart des

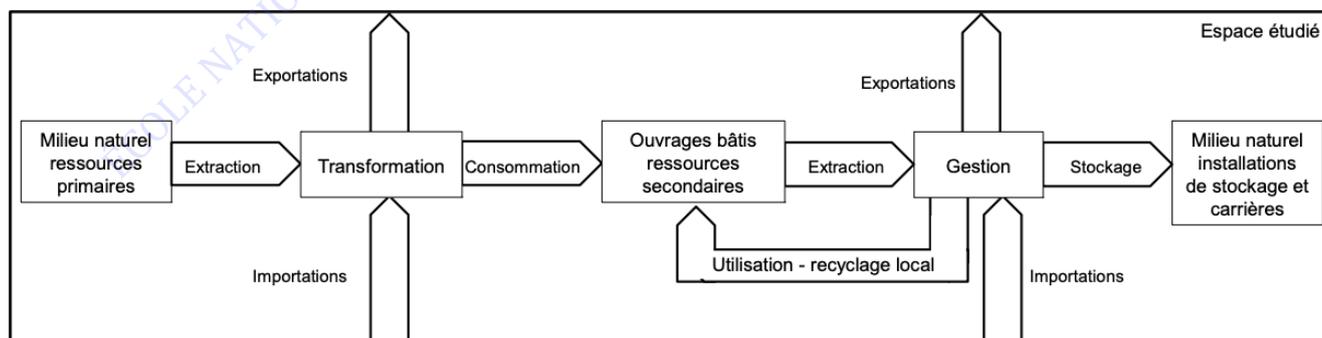


Figure 30 : Construire et aménager des espaces bâtis impliquent une mobilisation de matières. (2018). Vincent Augisseau.

74. Barles, S. (2010). *Les villes : parasites ou gisements de ressources ?*

75. L'ensemble des chiffres suivants proviennent de l'analyse des flux de matériaux de construction en Pays de la Loire : CERC, DREAL, GEREP.

76. Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas.

77. A ne pas confondre avec économie locale qui privilégie des intrants locaux mais dont la gestion peut être linéaire.

exportations se font vers les régions françaises, principalement limitrophes (6,7 millions de tonnes). Le sable, le ciment et les pièces préfabriquées de béton sont toujours les matériaux les plus impliqués dans ces exportations. Les 15 % restants de matériaux de construction impliqués dans les constructions des Pays de la Loire proviennent d'opérations régionales de réemploi, de réutilisation ou de recyclage.

Cette analyse, dans une logique d'approche sectorielle, révèle un secteur très structuré et assez indépendant - solde d'échange de matériaux de construction positif avec les autres régions⁷⁸ -, fort d'un réseau de carrières important et du grand nombre de gisements de sables marins sur la côte atlantique. La vision d'ensemble que permet l'analyse des flux de matériaux donne la possibilité de définir les orientations que doivent prendre les instances locales en matière de gestion des ressources et de contribution des matières premières secondaires pour la transition vers une économie circulaire dominante.

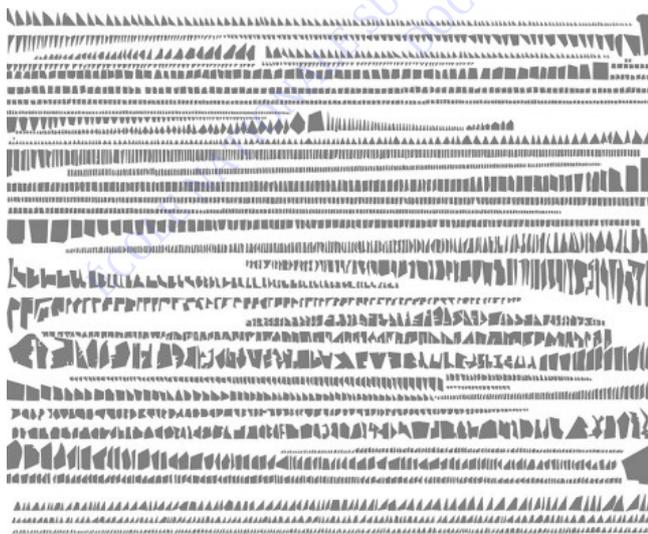


Figure 31 : Les Villes Rangées, Paris. (2020). Armelle Caron.

Ces systèmes multiscalaires très ancrés dans les zones urbaines développées, font transiter - parfois à travers le monde entier - les matériaux jusqu'aux villes, but ultime de leur voyage. Même si de nombreux éléments sont éliminés de celles-ci, une quantité non négligeable de matière est immobilisée au cœur des zones urbaines, sous différentes morphologies - bâtiments, routes, remblais, zones de stockage, etc (cf. figure 32, p.49). Ceci crée, comme analysé précédemment, des gisements de ressources potentielles. Cette immobilisation qui dure de longues périodes, se finit très fréquemment par des rejets, au détriment de la valeur économique ou même historique des matériaux de construction. Ce fonctionnement réticulaire et linéaire peine à s'homogénéiser afin de maintenir les ressources en circulation :

*L'enjeu n'est pas mineur : il s'agit ni plus ni moins que de mettre au point des procédés et des institutions qui permettent d'augmenter la part des ressources maîtrisées en réduisant les consommations d'eau, d'énergie et les déplacements, en recyclant les matériaux.*⁷⁹

La gestion intégrée des ressources du stock anthropique urbain nécessite certains prérequis. S'il est vrai que la métaphore de gisement urbain est grandissante et que la comparaison factuelle est cohérente, l'assimilation entre gestion d'un gisement géologique et la gestion d'un gisement urbain doit se faire avec précaution. Le bâti, concentrant une charge de valeur très importante que les enjeux de la ville durable poussent à garder en circulation, est devenu en cette période contemporaine extrêmement hétérogène. La diversité des matériaux au sein d'un bâtiment, d'une parcelle ou d'une ville est telle qu'une centaine de matériaux différents peuvent être comptabilisés au même endroit, à la différence d'un gisement naturel qui concentre seulement quelques ressources, rendant encore plus caractéristique chaque carrière.

« D'un bâtiment à l'autre, d'une circonstance à l'autre, se sont des matériaux très différents qui sont mis en mouvement⁸⁰ » rappelle le collectif Rotor dans son ouvrage *Déconstruction et réemploi*. L'estimation quantitative est alors compliquée à réaliser. De plus, les ressources peuvent être très éparpillées et disséminées souvent sur de grands périmètres, sous pression foncière et appartenant à de multiples propriétaires. La ressource est donc difficile d'accès et est conditionnée au caractère privatif des bâtiments et à l'évolution temporelle de ceux-ci, qui est disparate et imprévisible, contrairement à une carrière naturelle où la ressource est disponible tout le temps pendant sa durée d'exploitation. Les possibilités de gestion circulaire sont donc très variables et dépendent d'une multitude d'acteurs différents. La nuance entre gisement naturel

78. CERC. (2015). *Économie circulaire et construction en Pays de la Loire. Analyse des flux de matériaux*.

79. Florentin, D. (2019). Gérer les ressources urbaines « sobrement ». Une transition qui résiste. *Métropolitiques*.

80. Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. PPUR. p.92.

et gisement anthropique peut également être introduite par leurs différences d'exploitation. Le premier se prêtant très bien à des techniques d'extraction industrialisées et très mécanisées provoquant certaines nuisances, sonores notamment - machines, camions, dynamites, découpeuses, etc. Le deuxième nécessitant un démantèlement très précis, qui ne doit en aucun cas altérer la valeur de la ressource, déjà manufacturée. La gestion intégrée des matériaux en attente doit également se faire en minimisant les émissions, dans un contexte urbain très dense où une multitude d'acteurs - activités tertiaires et résidentielles - étrangers aux logiques de circularité des ressources sont majoritaires. C'est sur la base de ces spécificités que stock anthropique et gisement géologique entretiennent bon nombre de disparités de gestion, qu'il faudra considérer et définir dans l'approche prospective des carrières urbaines :

A cela s'ajoute une question transversale et cruciale : comment reconnaître ce qui possède de la valeur dans un ouvrage donné et comment évaluer si la récupération en vaut la peine ?⁸¹

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

81. Rotor. *ibid.* p.95.

FIG 32. VUE DE PARIS DÉPUIS L'ISS, 2017. THOMAS PESQUET



PARTIE II



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

QUAND LE DÉCHET DEVIENT RESSOURCE OU L'IMPORTANCE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE FACE À LA SURPORDUCTION DE DÉCHETS INERTES DU SECTEUR DU BÂTIMENT

Matériellement, les ordures représentent le monde de l'ombre des objets, le surplus d'une vie, d'un monde ou d'un rêve, fabriqué par les spéculations avides de la consommation et de la production des marchandises. Il est impossible de concevoir la ville sans la présence fantomatique de « quelque chose qui devient rien » – le déchet.

Scanlan J. (2005). *On Garbage*. Reaktion Books. p.164.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT DE RÉVÉLATION



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSANDE
DOCUMENT SOUMIS À LA PROPRIÉTÉ DE L'AUTEUR
BORDEAUX

01. ORIGINES ET ÉVOLUTIONS DE LA GESTION DES RESSOURCES

La pratique du réemploi n'est en rien un nouveau processus de revalorisation de la matière. Dès les premières constructions de grands édifices, le réemploi a représenté une manière avantageuse de bâtir. Les civilisations égyptienne, grecque et romaine ont réemployé des éléments de construction et des matériaux pour bâtir durablement. Le terme de « spolia » désigne notamment, sous l'empire romain, ce procédé. Celui-ci s'étendra jusqu'au XIX^e siècle, mais l'industrialisation des moyens de production transformera ces processus ancestraux en parenthèses historiques. Or, c'est à l'heure des défis majeurs de la ville durable que le réemploi apparaît sous un autre angle, créant un nouveau paradigme.

A. VALORISATION CYCLIQUE DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES

Depuis que l'Humain a façonné et édifié son abri pour se sédentariser, il n'a cessé d'approfondir ses techniques d'extraction, de confection, de mise en œuvre et d'utilisation de la matière au profit de techniques artisanales toujours plus minutieuses conférant de multiples valeurs aux matériaux : historique, esthétique, symbolique, etc. C'est dans cette volonté de faire perdurer la matière à travers le temps que les Égyptiens d'abord puis les Grecs et les Romains ont développé des techniques de valorisation souvent très poussées afin de réutiliser des éléments déjà mis en œuvre, dans un devoir, entre autres, de préservation. « Les civilisations égyptienne, grecque ou romaine n'ont essentiellement fait que reconstruire sur les ruines du passé. » nous rappelle Félix Chiron dans son mémoire *Le réemploi dans la construction*. La revalorisation des matériaux a toujours accompagné l'Humain et ses chantiers de construction.

Même si nous pouvons remonter jusqu'aux premières civilisations - monument mégalithique de Stonehenge⁸² - pour illustrer les pratiques de revalorisation, l'époque antique reste un exemple concret de la structuration et de l'importance des ces méthodes. Durant la Rome antique, de nombreux édifices publics voient le jour en plein cœur des villes - suivant le même modèle d'urbanisation que Rome - et sont construits sur d'anciens sites dont les ruines alimentent ces futures constructions. Les vestiges passés sont remaniés ou démolis et sont des sources d'approvisionnement assez importantes. Parfois, des éléments sont conservés tels quels et introduits dans les nouveaux ouvrages. A cette époque, où les déplacements se faisaient au moyen d'énergies animales ou humaines et étaient plus ou moins fastidieux, tout ce qui se trouvait à proximité des chantiers de construction était évalué et préservé. C'est notamment l'archéologie de la construction, qui étudie « l'organisation, la production et la gestion d'un chantier de construction⁸³ », qui permet aux historiens et archéologues d'attester des pratiques de valorisation cyclique des matériaux de construction de l'époque antique. Ces mêmes monuments, constitutifs de la vie publique des civilisations grecque et romaine, étaient préservés et restaurés dans le but de faire perdurer ce patrimoine au travers des âges. Ainsi, l'empereur Théodose II va jusqu'à imposer la revalorisation d'éléments appartenant aux édifices historiques dans son *Code de décisions impériales*. Le livre XV du *Code Théodosien*, entré en vigueur le 1er janvier 439, énonce les règles à suivre concernant l'entretien des monuments publics des cités de l'Empire romain et requiert « qu'un maximum de composants soient démontés avec soin afin d'être réemployés plus tard⁸⁴ ».

Le maintien de la matière au travers du temps devient donc un devoir et une règle à suivre. Les archéologues de la construction et les historiens ont pu attester que de nombreux matériaux de construction de l'époque romaine, comme l'acier, la pierre et le marbre, ne datent pas de celle-ci mais sont rapportés de temples grecques.

Ces pratiques se développent jusqu'au Moyen-Âge avec la construction abondante d'églises, de cathédrales et de châteaux dont les matériaux sont soit issus de carrières locales, soit issus d'anciens édifices à proximité. De nombreux éléments sont empruntés aux édifices antiques toujours présents que ce soient les remparts, les villas, les habitations ou les bâtiments publics. Ces méthodes de revalorisation sont motivées par des raisons économiques et fonctionnelles. Cela permet à la fois d'approvisionner rapidement les chantiers, de rencontrer moins de difficultés de transport des matériaux et d'utiliser moins de main d'œuvre et d'énergie pour la création de nouveaux matériaux. Les pratiques du réemploi s'ordonnent et deviennent systématiques. Le marché est très organisé et une multitude d'artisans y participent. Ce sont aussi des pratiques bénéfiques dans le contexte de guerre pour faire face à la fois au besoin urgent de fortification des villes et aux démolitions très importantes notamment durant la Guerre de Cent Ans (1337-1453). Ces principes de revalorisation et ces flux confèrent aux matériaux anciens une valeur marchande et les intègrent aux biens de consommation :

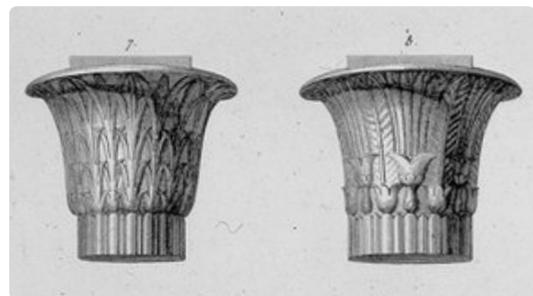


Figure 34 : Divers chapiteaux de colonnes égyptiennes. (1803). Denon, D.

Aux matériaux anciens s'ajoutent, des livraisons de matériaux neufs. Néanmoins, il faudrait envisager les possibles modifications et perturbations engendrées par les événements militaires sur l'exploitation des ressources et sur les réseaux d'approvisionnement, notamment en ce qui concerne les transports de matériaux par voie d'eau. Dans ce sens, il est probable que la pratique du réemploi ait pu servir une politique consulaire de gestion et de préservation des ressources naturelles, à un moment où les chantiers de défense nécessitent un apport régulier en matériaux mais où l'approvisionnement peut s'avérer dangereux.⁸⁵

82. Monument mégalithique, érigé entre 2800 et 1100 av. J.-C., qui pourrait avoir été édifié à partir d'éléments antérieurs déjà travaillés par l'Humain.

83. Boucard, J. (2019). *La question du réemploi dans la construction des monuments publics romains*. Éditions de la Sorbonne.

84. Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. PPUR. p.16.

85. Sabathier, C. (2017). *La récupération et le réemploi des matériaux dans les villes du sud-ouest de la France pendant la guerre de Cent Ans*.



Figure 35 : Deux chapiteaux de la Cathédrale de Pise. Celui de droite date du 12^e siècle (réemploi), celui de gauche date du 11^e siècle (copié).
Source : Donato, M.M. (2013). La cattedrale di Pisa: storie e domande intorno a un monumento (quasi) millenario. Opera Nomina Historiae.

Les édifices architecturaux importants de cette époque médiévale sont également construits à partir d'éléments revalorisés. Comme la Cathédrale Notre-Dame-de-l'Assomption de Pise dans laquelle se trouve le fameux Duomo, patrimoine de l'architecture romane du 11^e siècle. Les éléments architecturaux de seconde main dont les ornements, colonnes et corniches proviennent d'édifices plus anciens ramenés de pays lointains. Ils sont signes de puissance et de terrains conquis et sont utilisés dans une visée hégémonique. Cet octroi confère aux édifices une valeur symbolique certaine.

Durant toute l'époque moderne et jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, la revalorisation des matériaux par le réemploi et le recyclage est une réalité notoire et une procédure manifeste. Étaient concernés autant les bâtiments publics que les habitations et ces pratiques vertueuses étaient réalisées aussi bien par des grands constructeurs que par des petits artisans. Les ressources étaient très faciles d'accès et le marché ouvert à tous. Dès que des déconstructions ou des démolitions avaient lieu, les matériaux faisaient l'objet de ventes publiques et officielles. Des entreprises spécialisées dans la destruction des bâtiments et la vente de matériaux récupérés sont créées. Le périmètre de réutilisation reste réduit et les bénéfices économiques sont importants. Les autorités des villes structurent les opérations, les entrepreneurs et les acquéreurs se succèdent sur les places publiques lors des ventes et les matériaux comme la brique, les tuiles, les moellons retrouvent une seconde utilité. Les « ventes pour démolition » se développent permettant aux entrepreneurs de faire d'importants bénéfices entre le coût d'achat et de démolition d'un bien et la totalité des gains liés à la revente des matériaux récupérés. Celui qui promet la meilleure marge

bénéficiaire est désigné comme acquéreur et se voit imposé un délai de démolition et de déblaiement. Achille Picart, célèbre déconstructeur et revendeur de matériaux à Paris est le seul à pouvoir maintenir le délai de six mois imposé pour évacuer les matériaux qui gisent depuis de nombreuses années dans les décombres du Palais des Tuileries. Il arrive donc à racheter l'édifice en ruine pour 33 500 francs et va « activer ses nombreux réseaux pour écouler en flux quasi continu des lots de pierre, comme autant de petites pièces du grand puzzle qu'était le Palais des Tuileries⁸⁶ ».

L'industrialisation des modes de production et de construction du XX^e siècle bouscule le réemploi et le recyclage. La pression foncière et la mécanisation de la démolition imposent une vitesse d'exécution pressante qui relègue ces pratiques à de simples opérations chronophages et contre-productives. Les matériaux deviennent industrialisés et sont produits en chaîne. Leurs qualités mécaniques deviennent alors leur seule valeur, ce qui ne suffit plus pour pouvoir les réemployer :

La terre, qui demeure selon certains l'un des matériaux de construction les plus utilisés au monde, illustre parfaitement cette évolution. A l'état de matière première brute, c'est un tas d'argile, en vrac, à utiliser tel quel en pisé ou en torchis. Transformée en matériau, ce peut être une brique de terre cuite, à maçonner. Devenue un produit, par exemple une brique Monomur, elle s'assemble à l'aide d'un mortier colle spécifique et d'une roulette spéciale. Enfin, présentée comme une solution, ce serait un panneau de briquettes collées sur un support isolant rigide pour l'isolation thermique par l'extérieur d'une façade.⁸⁷

86. Rotor. (2018). *ibid.* p.24.

87. *ibid.* p.20.

B. IMPACT DE LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE SUR LA STANDARDISATION DES MATÉRIEAUX DE CONSTRUCTION

L'être humain a depuis toujours affirmé ses capacités de développement dans le but de rendre son environnement plus stable pour pouvoir y prospérer. Les évolutions qu'il a engendrées ont toujours eu pour effet d'améliorer l'habitat et l'architecture dans lequel il évolue. Il s'est toujours attaché, dans la mesure du possible, aux pratiques et savoir-faire locaux qu'il transmettait, aux matériaux naturels et de proximité ainsi qu'au réemploi d'éléments plus anciens pour bâtir. L'entrée dans le XIXe avec la révolution industrielle marque le passage à une nouvelle ère, marquée par une mutation nette de nos manières de penser et de concevoir. Ce qu'avait développé l'Humain pendant des millénaires, comme la maîtrise des matières premières pour fabriquer des matériaux de construction, a été balayé par une mécanisation intense de nos gestes et une automatisation de nos pensées :

Cette modernité échangea l'espace contre le temps, la patience contre la nouveauté, le solide contre le fluide, l'accrétion contre la dispersion, la frugalité contre le luxe. L'accès brutal à une source gigantesque d'énergie, en apparence illimitée, transforma radicalement le monde. La force humaine et animale se trouva remplacée par la force des machines ; l'intelligence et l'habileté, augmentées par les machines ; l'écorce terrestre aspirée par les machines.⁸⁸



Figure 36 : Quartier résidentiel. Inconnu.

Dès lors, le vernaculaire s'est effrité, laissant place à l'uniformité. Lui qui prônait « l'économie de la ressource, la parcimonie des gestes, l'autonomie du collectif, la frugalité, la modestie⁸⁹ », s'est vu remplacé par une standardisation des matériaux de construction, une perte des savoir-faire et une dépendance aux matériaux pré-fabriqués. Les matériaux de construction glissent de l'ordre du vivant à la matière inerte. La diversité historique et géographique des architectures est effacée par l'utilisation de matériaux qui sont de plus en plus éloignés de leurs matières premières locales à force de mutations et d'évolutions :

Le savoir fut reconfiguré en deux siècles, reléguant dorénavant dans les oubliettes des « manières de faire » une science pratique et attentive au concret, mais produisant peu de hiérarchie sociale, au seul profit de la science abstraite, celle qui sépare plan et chantier, projet et exécution, intellectuels et manuels, et qui fait de l'habitant un élément de programme.⁹⁰

Cette évolution au cours du temps exprime une volonté de multifonctionnalité grandissante. Dès l'avènement des énergies fossiles comme le gaz, le pétrole et le charbon, de nouveaux matériaux apparaissent. Les matériaux d'antan sont transformés, à l'image du plâtre issu du gypse, connu depuis l'époque néolithique (environ 9 000 ans avant J.-C.) qui devient la plaque de plâtre calibrée, usinée, uniformisée. Ces matériaux anciens sont aussi communément remplacés comme le ciment artificiel qui au début du XIX^e siècle s'est substitué à la chaux, matériau utilisé dès 10 000 avant J.-C. en Mésopotamie et dont les qualités sont reconnues à travers le monde et les époques. Cette industrialisation de la fabrication du ciment permet l'essor du béton dont plusieurs brevets sont déposés entre 1867 et 1891 par Joseph Monier qui est le premier à incorporer dans ce mélange - ciment, sable, graviers, eau - des ferrallages. « En deux décennies, la résistance des mortiers et des bétons décuple alors que leur coût est divisé par deux, grâce notamment à une exploitation rationnelle de la main-d'œuvre.⁹¹ » constate l'ingénieur André Guillerme. L'industrialisation des goudrons, bitumes et asphalte - ressources naturelles utilisées dès la Préhistoire - s'intensifie et de nouvelles formules sont développées pour les produire artificiellement. L'utilisation des métaux - zinc, plomb, cuivre, acier et aluminium - est démocratisée dans la construction. La structure métallique s'impose et popularise l'architecture de fer au détriment du bois. Ces nouveaux matériaux qui assurent solidité se développent rapidement et imposent de nouvelles méthodes de travail et de nouveaux outils de fabrication. La matière est travaillée de l'intérieur modifiant la structure même des matériaux qui sont analysés, décomposés, modélisés et développés en laboratoire

88. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.24.

89. *ibid.* p.25.

90. *ibid.* p.24.

91. Guillerme, A. (1995). *Bâtir la ville. Révolutions industrielles dans les matériaux de construction. France-Grande-Bretagne (1760-1840)*. p.717.

afin d'augmenter leurs performances au point que « la mainmise des sciences appliquées sur le bâti pour rénover la grande ville se situe entre 1825 et 1835, quand la construction assure à elle seule le quart de la valeur ajoutée industrielle française⁹² ».

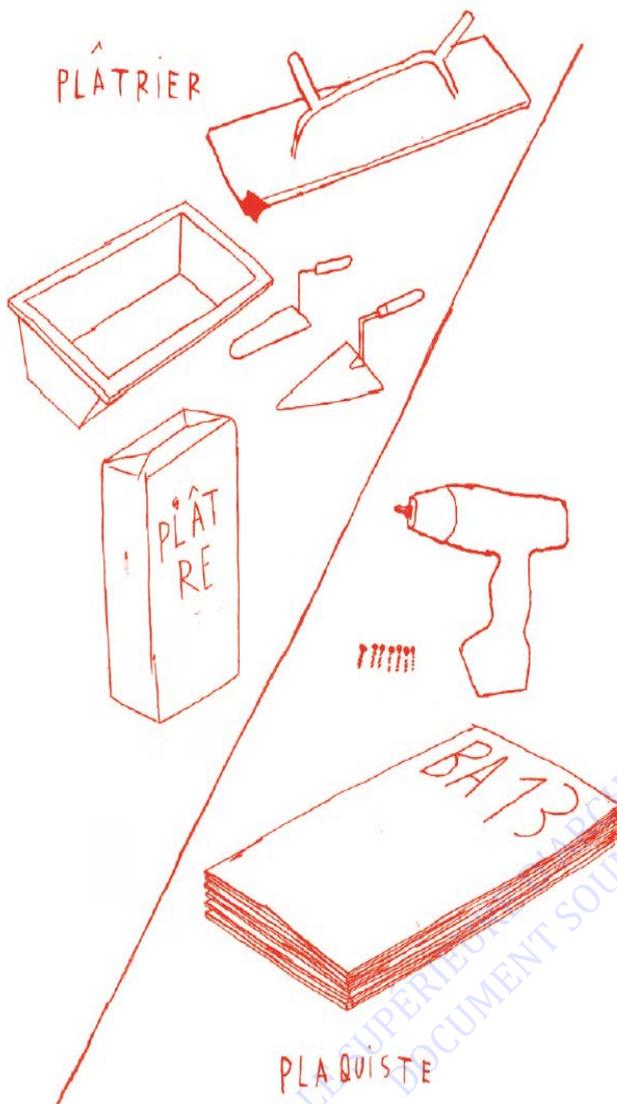


Figure 37: Illustration pour l'exposition *Matière Grise*. (2014). Bonnefrite.

La concrétisation de ces nouvelles manœuvres et possibilités a engendré une forte inflation des matières premières et a décuplé le nombre de matériaux disponibles. Le marché de ces matériaux est abondant, plaçant les professionnels de la construction devant l'embaras du choix et entraînant une situation très compétitive entre les matériaux. Les exigences de plus en plus accrues des cahiers des charges - sûreté, environnement, santé - enrichissent le panel de matériaux disponibles et de leurs dérivés à partir de matières premières - brique de parement, brique réfractaire, brique creuse, brique pleine, brique

alvéolaire. L'avènement des polymères rend les possibilités innombrables et accroît la multifonctionnalité des matériaux :

L'évolution historique traduit une évolution non seulement dans les matériaux disponibles, mais aussi dans la relation de l'homme aux matériaux, passant successivement du « matériau de rencontre » au « matériau optimisé », puis à la « compétition entre matériaux optimisés », et enfin à la « construction du matériau sur mesure ». [...] Aujourd'hui, nous sommes confrontés à ce que l'on a pu appeler l'hyperchoix des matériaux. Le nombre de matériaux disponibles pour l'ingénieur est d'environ 100 000.⁹³

Cet hyperchoix de matériaux standardisés et préfabriqués permet de construire des bâtiments à haute valeur ajoutée technique car leurs performances permettent de développer des structures plus complexes et plus résistantes, des isolants plus performants ainsi que des techniques d'assemblage qui allient ingénierie et architecture. La structure interne des matériaux est modifiée pour développer de nombreuses propriétés, ce qui a généré une augmentation du nombre de matériaux. Même si les matériaux contemporains sont capables de très bien réagir avec leurs milieux et sont choisis en fonction de leurs capacités, ils ne sont réduits qu'à leur valeur fonctionnelle et leur simple utilité. Bien qu'affichant des garanties et des performances, ces matériaux produits en masse dans des chaînes automatiques sont aseptisés et dépourvus de valeurs historiques, artisanales et mnémoniques. Ces matériaux de synthèse considérés inaltérables, cherchent alors à imiter ces valeurs que la matière a toujours transmises au travers des siècles. Ils ne racontent finalement plus le temps qui passe, le travail de l'Humain, la géologie, la poésie et ne dialoguent plus avec la lumière, le vent, l'eau, la nature. « La matière est devenue invisible, seule demeure une idée de la matière⁹⁴ » esquissent les architectes Julien Chopin et Nicola Delon. Ces matériaux donnent l'illusion et simulent les aspérités, le cachet, les marques d'outils ou de mains, les veines et formes naturelles - marbre, pierre, bois - dans l'idée de conférer une potentielle idée de beauté à un matériau inerte et uniforme :

C'est ainsi que l'on produit aujourd'hui des dalles en grès cérame absolument homogènes, sur lesquelles sont peintes les veines propres aux roches métamorphiques ou cristallines d'origine géologique ; que l'on colle sur nos murs en béton des plaques de fausse pierre ou des plaquettes en forme de briques simulant le travail des anciens maçons ; que l'on reproduit sur des moules en élastomère les veines du bois gonflé par l'eau ; que l'on produit des tôles de métaux pré-oxydés.⁹⁵

92. *ibid.* p.716.

93. Brechet, Y. (2013). *La Science des matériaux. Du matériau de rencontre au matériau sur mesure*. Leçon inaugurale du Collège de France. Fayard.

94. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *ibid.* p.20.

95. *ibid.* p.30.

Ces matériaux, présents sur la plupart des ouvrages, dont la praticité et l'utilité sont les seules motivations de leur utilisation, sont voués à n'avoir qu'une vie. Leur potentiel de revalorisation est mis en cause, en ce sens que la revalorisation des matériaux de construction permet d'instituer les qualités intrinsèques au travers du temps. La valeur de ces matériaux, rendue unique par la spécialisation imposée par les industries pose problème, « le propre de l'industrie étant de produire une qualité au détriment des autres⁹⁶ ». Ces matériaux devenus assez complexes et dont les qualités mécaniques prévalent sur les autres sont souvent assemblés de manière finie, leur conception n'anticipant pas l'attribut cyclique. Cela impose une gestion linéaire sans possibilité de déconstruire pour revaloriser par la suite. Une fois abîmés, ils sont voués à être considérés comme des déchets :

La spécialisation des produits industriels va [...] à l'encontre de toute polyvalence d'usage dans la construction et, par conséquent, de toute adaptation possible à une autre fonction. Au point que le réemploi des produits industriels est souvent affecté de cet esprit de détournement, voire de subversion, qui le maintient nécessairement dans les marges de la production.⁹⁷

C. INTENSIFICATION DE LA PRODUCTION DE DÉCHETS INERTES

La situation globale sur laquelle nous alerte le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat⁹⁸, est une véritable dégradation de nos écosystèmes et de la biodiversité, bouleversant les ressources naturelles et leurs capacités de régénération. Une des principales causes du dérèglement climatique engendré par l'Humain et accéléré depuis la révolution industrielle du XIX^e siècle, est la production non maîtrisée et exponentielle des déchets. Ces substances, matières ou objets en fin de vie, considérés comme déchets car n'ayant plus d'utilisation précise, s'accumulent considérablement et sont responsables de la pollution des océans, des nappes phréatiques, des sols, des rivières, de l'air, même si leur gestion dans les pays développés - polluante également - semble être maîtrisée. « L'évolution du rapport à la matière fait apparaître le sentiment d'une crise au double visage : d'un côté, l'épuisement des ressources naturelles, de l'autre, l'accumulation des déchets⁹⁹ », à l'échelle planétaire

cela représente 92 milliards de tonnes de ressources extraites tandis que le volume de déchets est estimé à 2 milliards de tonnes - volume qui devrait augmenter de 70 % d'ici 2050¹⁰⁰. En France, 343 millions de tonnes de déchets¹⁰¹ ont été produites en 2018, soit une augmentation de 6,4 % par rapport à 2016¹⁰². Cette évolution de la quantité de déchets en France est principalement liée au secteur de la construction dont 70 % de l'ensemble des déchets sont imputables aux entreprises des Bâtiments et Travaux Publics, qui ont produit en 2018 pas moins de 240 millions de tonnes de déchets (constructions et démolitions). 81 % proviennent des travaux publics et 19 % du bâtiment¹⁰³. Le secteur de la construction a sa part de responsabilité quant à la production massive de déchets et des différents types de pollution qui en découlent. Il est notamment l'un des facteurs principaux du passage à l'ère de l'Anthropocène. De l'extraction jusqu'à la mise en benne, les matériaux de construction causent des dégradations irréversibles sur l'environnement, leur utilisation étant étroitement liée à l'accroissement de la population qui engendre une forte demande de logements et par conséquent un important renouvellement urbain.

Le caractère pondéreux et volumineux des matériaux de construction est l'un des principaux freins à la diminution des émissions polluantes du secteur du bâtiment. Des quantités très importantes de matériaux sont acheminées sur les chantiers au moment de la construction, par voies routières ou fluviales, (un camion toupie standard de 32 tonnes a une capacité de livraison de 7m³ de béton, servant à construire une dalle de 45m²). Les chantiers de construction produisant des déchets en quantité - emballages, éléments cassés ou non conformes, déblais - de nombreux camions repartent donc remplis vers des centres de tri. Ces va-et-vient permanents imputés à l'étape de construction provoquent de nombreuses pollutions. Par la suite, quand l'exploitation du bâtiment est terminée, ces matériaux mis en œuvre deviennent alors des déchets qui à leur tour sont évacués par voies routières ou fluviales (un camion benne de 32 tonnes peut éliminer 22m³ de déchets). Ainsi, 45 millions de tonnes de déchets sont donc produites et évacuées des chantiers du secteur du bâtiment. Ces déchets sont catégorisés pour une meilleure gestion. Cette classification caractérise les déchets dangereux au vu de leur composition comme les substances inflammables, irritantes, nocives, toxiques et cancérigènes (1 millions de tonnes), les déchets non dangereux comme le métal, le bois, les plastiques (11 millions de tonnes) et les

96. *ibid.* p.31.

97. *ibid.*

98. Rapports du GIEC disponible sur <https://www.ipcc.ch/reports/>.

99. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.37.

100. AFP. (2018). Le volume des déchets pourrait augmenter de 70 % dans le monde d'ici 2050. *Géo magazine*. <https://www.geo.fr/environnement/le-volume-des-dechets-pourrait-augmenter-de-70-dans-le-monde-dici-2050> (consulté le 19 mars 2021).

101. Déchets minéraux (secteur de la construction), déchets dangereux, déchets non minéraux non dangereux (produits par tous les secteurs d'activité), déchets ménagers.

102. Ministère de la transition écologique. (2021). *Bilan 2018 de la production de déchets en France*.

103. ADEME. (2020). *Déchets, chiffres-clés. L'essentiel 2020*.

déchets inertes qui sont principalement des matières minérales comme la pierre, la brique, le béton, le sable (33 millions de tonnes)¹⁰⁴.

Les déchets inertes - majeure partie des déchets - sont produits essentiellement par les démolitions et sont d'après la définition de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), « des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction physique ou chimique et ne détériorent pas d'autres matières en contact de manière préjudiciable à l'environnement ou à la santé humaine ». Ces éléments, de matières minérales pour la plupart, ne font plus l'objet de revalorisation tel qu'avant le XIX^e siècle et ne sont plus réintroduits dans les constructions, puisqu'ils sont généralement sous forme de gravats. Du fait de l'inaptitude de ces déchets à se décomposer et de leur faible valeur économique, leur accumulation est inévitable. Les dommages collatéraux de cette surproduction et de cette accumulation de déchets inertes ne sont pas négligeables (cf. figure 39, p.61) :

*Pas assez de ressources et bien trop de déchets : le monde apparaît comme une mine infinie et une décharge sans fond. Cette double crise, de la naissance de la matière à la mort des matériaux, doit alerter les acteurs du secteur sur la durée de vie que l'on accorde à ce qui constitue pourtant la substance des constructions et de l'architecture.*¹⁰⁵



Figure 38 : Gravats en mélange dans une décharge. Inconnu.

D'une part, l'extraction de matières premières en carrières provoque la formation de fosses, d'autre part, l'accumulation de déchets entraîne la création de collines. Le potentiel de ressources se vide tandis que les espaces viables s'encombrent. La mise en décharge était la principale méthode de gestion

des déchets durant le XX^e siècle et l'est encore dans de nombreux pays. Elle repose sur le principe de concentration et de rassemblement des déchets sans qu'ils soient maintenus en circulation. Si la mise en décharge des déchets classiques (plastique, aluminium, huile, etc.) peut avoir de forts impacts sur l'environnement (éparpillement des déchets, libération de polluants, émissions de gaz de décomposition, etc.), les déchets inertes de chantier ne sont pas nocifs du fait de leur caractère minéral. Mais cette solution par dépôt ou enfouissement reflète le gaspillage des ressources, l'absorption de matériaux anthropiques par les écosystèmes naturels et la dévalorisation de zones géographiques. Les conditions de ces dépôts sont notamment déterminées par l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014¹⁰⁶ relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations de stockage leur étant réservées. Les législations obligent donc désormais à respecter une hiérarchie des modes de traitement en encourageant leur réutilisation ou leur recyclage autant que possible avant leur élimination par dépôt ou enfouissement.

Hormis les chantiers de construction ou de démolition, les carrières d'extraction sont aussi des lieux de fortes accumulations de déchets inertes. Les déchets de carrières sont des éléments extraits mais non conformes à la demande du client ou de l'exploitant donc considérés comme rebuts. L'architecte Sébastien Tabourin l'explique très clairement :

Par exemple, dans une carrière de granite en Bretagne, nous nous sommes rendus compte qu'entre l'extraction de la matière et sa transformation in situ, il y avait 95 % de perte de matière. Lors de ces deux processus, une très grande quantité de matière était mise de côté. Comme

104. <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment> (consulté le 05 février 2022).

105. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *ibid.* p.39.

106. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000029893828/> (consulté le 28 mars 2022).

*cette matière alimente le plus souvent des commandes publiques, dès qu'il y a une tâche sur un bloc le maître d'ouvrage n'en veut pas. Il y a donc des blocs entiers mis de côté et catégorisés comme déchets. Il y a finalement une source énorme de matière disponible dans les carrières. Il y en a énormément qui, comme ça, créent des tonnes de déchets qui ne serviront jamais alors que le granite est une matière noble. Cette accumulation peut être une source de matière à moindre coût.*¹⁰⁷

Ces pratiques de mise au rebut ont lieu dans des carrières de granite, mais également de craie, de pierre, de calcaire, de granulats. Ces éléments - de nature variée en fonction de la carrière - ont les mêmes caractéristiques que ceux introduits sur les marchés et ne s'altèrent pas avec le temps. Ces masses stockées - très consommatrices d'espaces - peuvent être considérées au même titre que les villes comme des assemblages d'éléments dormants et vivants à fort potentiel de valorisation.

Les déchets du secteur de la construction, « souvent considérés comme étant consubstantiels à la ville : leur production, suite logique de la consommation, semble inéluctable¹⁰⁸ », représentent un véritable enjeu de la ville durable et résiliente. En Île-de-France, la quantité des matériaux de construction mis en décharge (17,2 millions de tonnes) est équivalente à la quantité d'extraction locale (17 millions de tonnes)¹⁰⁹, l'enjeu que représente les méthodes de valorisation est donc rapidement mesuré. La nécessité de développer des techniques territoriales de revalorisation se fait vivement ressentir. Des alternatives à l'amoncellement et à l'enfouissement sont possibles et existent afin de réinventer le circuit de la matière et la fabrication de la ville, en créant de nombreuses opportunités, saisissables, à la fois, par les politiques publiques et les bâtisseurs de la ville mais aussi par l'ensemble de la population :

*Ce mode de fonctionnement des villes a un impact environnemental important tant en « amont » de la ville, suite à l'importation massive de ressources prélevées en dehors des territoires urbains, que dans la ville et en « aval », suite aux différents rejets qui engendrent des pollutions de l'air, des eaux et des sols. Pour ces territoires, la transition d'une économie très gourmande en ressources et majoritairement linéaire (extraire-fabriquer-consommer-jeter) vers une économie plus sobre et plus circulaire (réduire-réutiliser-recycler) constitue un enjeu majeur.*¹¹⁰

107. Entretien réalisé par l'auteure le 04 juin 2021. Cf. annexes n°10, p.162.

108. *ibid.* p.41.

109. Barles, S. (2014). *L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières.*

110. Bruxelles environnement. (2020). *Métabolisme urbain, bilan des flux de matières et d'énergie.* <https://environnement.brussels>.

FIG 39. BUNKER DE STE-MARGUERITE SUR MER, NORMANDIE, 2019. PIERRE METZINGER





ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS
DOCUMENT SOUMIS À DROIT DE PROPRIÉTÉ
UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

02. CONTEXTUALISATION DES PROCESSUS DE REVALORISATION

La notion de renouvellement urbain est indissociable de la résilience et de la durabilité d'une ville. En effet, cette évolution du système urbain se met en place en réponse aux changements de tous types que connaît la ville. Cette transformation topographique, physique et matérielle permet un renouvellement et l'invention de nouvelles typologies et méthodes de fonctionnement. La ville évolue sur elle-même laissant la porte ouverte aux expérimentations et projets circulaires afin de renouveler la ville sans dépendre de nombreuses énergies et ressources tierces et de pallier l'obsolescence programmatique des bâtiments.

A. DIFFÉRENCIATION ENTRE ACTE DE DÉMOLIR ET ACTE DE DÉCONSTRUIRE

Intervenir sur le bâti est un processus qui permet de transformer la ville dans le but de traiter les problèmes sociaux, économiques, urbanistiques et architecturaux de certains quartiers ou espaces. Cette forme d'évolution de la ville qu'est le renouvellement urbain permet aussi de contenir l'étalement urbain en densifiant le déjà présent. Le renouvellement urbain favorise une approche globale des quartiers en s'appuyant sur des stratégies urbaines, spatiales, sociales et politiques. Les anciens quartiers, les zones industrielles, les logements vacants et les bâtiments industriels en sont souvent l'objet. Dans certains cas, le renouvellement d'îlots ou de quartiers et parfois de villes entières s'est fait, soit pour faire évoluer les matériaux utilisés (la pierre privilégiée au bois pour limiter les risques d'incendie), soit pour densifier (construction d'immeubles à la place de maisons), soit après des guerres ou des catastrophes naturelles lorsqu'il est nécessaire de reconstruire. Ce phénomène permet également d'améliorer les trames, la gestion des réseaux, l'augmentation de la végétation, la lutte face à l'insalubrité, de favoriser la mixité sociale et de réguler la forme urbaine. Il est encadré par des méthodologies efficaces, notamment depuis la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbain du 13 décembre 2000, qui assure une meilleure cohérence entre politiques urbaines et territoriales dans la perspective du développement durable. Ce procédé de régénération de la ville sur elle-même provoque constamment de nombreuses démolitions dont les techniques se sont banalisées. Jusqu'au XIX^e siècle, la démolition n'était pas de rigueur puisque les éléments étaient démontés pour être changés sans avoir besoin de tout mettre en ruines, mais les conséquents travaux de la restructuration de Paris notamment, entrepris sous le Second Empire, imposent l'application de techniques structurées et ordonnées pour démolir en quantité :

Les projets d'aménagement entrepris sous Napoléon III et coordonnés par le baron Haussmann jusqu'en 1870 nécessitent d'abondantes démolitions. Les chiffres parlent d'eux-mêmes : 27 500 maisons démolies, 102 000 habitations reconstruites, 600km de routes pavées, 14 000 travailleurs, 100 000 arbres plantés, 350 000 personnes délogées et relogées. Selon certains, il s'agit du plus vaste projet de rénovation urbaine jamais réalisé.¹¹¹

Cette disposition à faire table-rase est à l'origine d'un volume très important de déchets et génère des flux qui deviennent difficilement maîtrisables et sont très polluants. La démolition, complètement normalisée depuis plusieurs décennies,

est une activité à part entière du secteur du Bâtiment et des Travaux Publics. Elle est structurée avec ses propres méthodes et acteurs de terrain et apparaît dans certains cas comme une pratique plus rentable que la restauration ou la réhabilitation. Si de nombreux éléments patrimoniaux sont protégés contre la démolition, elle est aussi une manière d'oublier certaines traces du passé - notre rapport occidental à la mémoire étant assez matériel : architecture coloniale, bâtiments symboles de pouvoirs destructeurs, prisons, palais, architecture de guerre, etc. « La démolition est très étroitement liée à la question de la mémoire, de l'identité collective et de la légitimité¹¹² » nous rappelle le professeur de sciences sociales Vincent Veschambre. La transformation matérielle des villes dans une logique de restauration concerne très tôt - dès les années 1970 - les zones d'habitat social et les grands ensembles. Face à l'absence d'entretien de certains bailleurs privés, à l'effet de ségrégation grandissant, à la perte de valeur foncière et à la dévalorisation économique, la démolition s'impose comme principal moyen du projet urbain. La circulaire du 26 juillet 2000 relative aux décisions de financement pour démolition de logements locatifs sociaux confirme cette pratique pour faire état d'environ 10 000 logements détruits au début des années 2000¹¹³. La démolition est également un révélateur d'informations des modes constructifs et de l'histoire d'un édifice. Les techniques de démolition doivent être adaptées aux bâtiments démolis. Parfois des éléments anciens apparaissent, qui peuvent être des matériaux dangereux que les démolisseurs ne soupçonnaient pas comme l'amiante ou le plomb, des éléments enfouis, comme des fondations ou encore des vestiges historiques.

Les techniques de démolition sont nombreuses et de plus en plus élaborées (boule, grignotage, dynamite, vérinage, force humaine, engins). Elles produisent principalement des déchets inertes sous forme de gravats, puisqu'elles ont été pensées pour détruire les matériaux de construction. Ces pratiques évoluent tout de même face aux contraintes des déchets à gérer, qui sont produits en masse au cœur des villes. La collecte séparative se développe dans les années 1990 et le nombre de déchetteries augmente. Des diagnostics sont mis en place avant démolition car la prise en compte des matériaux dangereux est primordiale. La loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 impose le tri des gravats pour récupération en les intégrant dans des circuits courts de valorisation. Même si la gestion de ces déchets en masse s'est structurée, la principale problématique de la démolition tient du fait qu'il est compliqué d'introduire des éléments détruits, mélangés et mixtes dans des boucles de revalorisation et des circuits courts :

Dans les années 1970, Minoru Yamasaki signe « l'arrêt de mort du modernisme » aux Etats-Unis, avec la démolition

111. Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. PPUR. p.23.

112. Veschambre, V. (2005). *Le recyclage urbain, entre démolition et patrimonialisation : enjeux d'appropriation symbolique de l'espace*.

113. Mongeard, L., Veschambre, V. (2015). *Éléments pour une histoire de la déconstruction : évolutions en matière de démolition de l'habitat social*.



Figure 41 : Chantier de démolition. Chicago, Illinois. (2006). Paul Goyette.

*de logements sociaux. La démolition devient un coût pour les propriétaires et une source de déchets. L'évacuation des matériaux se fait désormais le plus souvent par l'enfouissement. Les démolisseurs sont chargés de nettoyer les chantiers dans un délai très court car la valeur de la parcelle est supérieure à la valeur du bâtiment et à celle des matériaux. Le revenu dépasse les bénéfices de la revalorisation des matériaux. Les matériaux cessent de circuler de façon brutale et sont envoyés dans des décharges ou enfouis sous terre.*¹¹⁴

La déconstruction, en tant que « démontage sélectif d'installations techniques ou de certains éléments d'une construction, afin de valoriser les déchets et de réduire les mises à la décharge » semble alors être une solution adéquate qui vise à récupérer tout ce qui peut l'être sur un ouvrage en vu du réemploi, du recyclage ou de la réutilisation. Le démantèlement permet la récupération d'éléments entiers, non modifiés et non détruits.

Cette pratique émerge et devient de plus en plus courante. L'ADEME produit en 2003 un guide basé sur dix opérations pilotes : *Déconstruire les bâtiments, un nouveau métier au service du développement durable dans le but de fournir des recommandations et des méthodologies.* Elle nécessite des techniques particulièrement pointues de désassemblage et de dépose, le plus souvent à la main par des artisans qualifiés. La déconstruction passe d'abord par un diagnostic et une évaluation précise du bâtiment en vue d'estimer la valeur du gisement et de déterminer ce qui va pouvoir être revalorisé. La mise en place de cette pratique prend corps avec la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, qui avait fixé comme objectif 70 % de valorisation des déchets pour 2020. Les éléments de finition et de second œuvre (moquette, parement, robinetterie, carrelage, etc.) qui ne représentent pas de défis techniques importants pour être facilement récupérés, sont ceux qui ont le plus gros potentiel de valorisation et permettent de garder en circulation la valeur - économique,

114. Inconnu. (2020). Le réemploi, une histoire de siècles. *Articonnex*. <https://magazine.articonnex.com/1021-le-reemploi-une-histoire-de-siecles.html> (consulté le 01 mai 2022).

historique, technique - d'un matériau. La déconstruction se fait par étapes : démontage, emballage, transport, nettoyage, préparation, analyse, conditionnement, stockage. Pour que l'opération soit rentable pour les maîtrises d'ouvrage, le coût total de cette pratique ne doit pas dépasser le prix de revente du matériau. De plus en plus de guides méthodologiques voient le jour afin de guider à la fois les maîtrises d'ouvrage mais aussi les artisans aux déposes sélectives. La déconstruction est un vivier de nouveaux métiers, de la déconstruction à la remise en état en passant par le diagnostic et la vente de l'élément revalorisé, cette nouvelle pratique est influente et canalise un nombre d'acteurs de terrain assez conséquent :

La « déconstruction » émerge pour décrire des chantiers particulièrement techniques, « pointus » et correspond ainsi à un anoblissement de la démolition, en mettant à la fois en évidence la maîtrise technique nécessaire et la continuité d'un processus créatif (et non plus destructif), de la construction à la re-construction, en passant par la dé-construction.¹¹⁵

Même s'il existe des manières vertueuses d'envisager le renouvellement urbain, notre société globalisée impose à la ville, source d'éternelles reconstructions, un rythme d'évolution frénétique au profit de la démolition dont le coût et la rapidité défient les méthodes concurrentes dans une société qui encourage encore la culture de l'instantané.

B. DÉFINITIONS DES STRATÉGIES DE TRAITEMENT DE LA MATIÈRE

La revalorisation des matériaux de construction - ayant fait ses preuves de l'Antiquité jusqu'à l'avènement des pratiques industrielles du XIX^e siècle - est de nouveau considérée comme un moyen efficace pour faire face à l'épuisement des ressources, à la sur-production de déchets, ainsi qu'à la standardisation des matériaux et à la dépendance au préfabriqué. Depuis plusieurs décennies, les processus de traitement de la matière sont nombreux et concernent l'ensemble des déchets produits par l'Humain (déchet commun ménager, déchet industriel banal, déchet dangereux, déchet inerte, etc.). La loi n°75-633 du 15 juillet 1975, première loi relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux, établit pour la première fois l'existence juridique de la notion de déchet : « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon ».

Les déchets liés aux activités du bâtiment et des travaux publics sont quant à eux encadrés par la directive relative aux déchets du 19 novembre 2008, qui fait suite au Grenelle de l'Environnement¹¹⁶ et qui constitue le texte de référence de la politique de gestion des déchets au sein de l'Union européenne. Cette même directive ainsi que l'article L. 541-1 du code de l'environnement fixent une hiérarchie des modes de traitement de ces déchets : prévention - réutilisation - réemploi - recyclage - incinération - mise en décharge. Chaque déchet parcourt cette classification et s'arrête à l'étape de traitement qui lui correspond le mieux, le but étant de se séparer le plus possible des méthodes de gestion linéaires non viables pour l'environnement, que sont l'incinération et la mise en décharge. L'obligation de trier les déchets sur chantier, dit tri des « sept flux¹¹⁷ », par le décret n°2021-950 par le biais de bennes spécifiques permet de diminuer l'ampleur du tri ultérieur, son coût et celui de leurs traitements. Les déchets sont ensuite collectés par des prestataires privés ou le service public en fonction de leurs volumes et sont acheminés vers des déchetteries publiques ou professionnelles là aussi en fonction de leurs volumes. Suivant leurs types et leurs capacités de valorisation, ils rejoignent différentes filières.

La méthode de l'incinération permet le traitement thermique des déchets dont le recyclage est impossible (ordre de la hiérarchie). Elle permet par exemple de traiter les Déchets Industriels Banals¹¹⁸ en provenance des chantiers et qui ne sont pas recyclables. Même si la valorisation énergétique de la chaleur dégagée par la combustion est un levier important de la transition énergétique, elle n'en reste pas moins une méthode controversée et polluante. De plus, cette stratégie ne concerne pas la majeure partie des déchets du bâtiment et des travaux publics dits inertes, qui ne peuvent pas être incinérés. La méthode de la mise en décharge reste la seule issue lorsque les autres étapes de la hiérarchie ne peuvent pas être appliquées. Les catégories de décharge diffèrent selon la nature des déchets de chantier qui y sont admis : classe 1 pour le stockage des déchets qui présentent un caractère dangereux pour l'Humain ou l'environnement (amiante notamment), classe 2 pour le stockage des déchets ultimes qui ne peuvent être valorisés, ni par recyclage, ni par incinération avec valorisation énergétique (peintures ou solvants par exemple) et classe 3 pour le stockage des déchets inertes, gravats et remblais triés qui ne peuvent pas être intégrés aux boucles de valorisation. Ces décharges de troisième classe sont nommées Installations de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) et régies par l'article L. 541-30-1 du code de l'environnement et l'arrêté du 12 décembre 2014. 26 millions de tonnes de déchets inertes par an¹¹⁹ y sont éliminées par dépôt ou enfouissement. Ces pratiques de mise

115. Mongeard, L., Veschambre, V. (2015). *ibid.*

116. Ensemble de rencontres politiques organisées en France en 2007, visant à prendre des décisions à long terme en matière d'environnement.

117. 7 flux : papier/carton, métal, plastique, verre, bois, fractions minérales et plâtre.

118. Ensemble des déchets en mélange non inertes et non dangereux produits par les activités habituelles d'un professionnel.

119. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports (2017).

en décharge visent à être limitées, notamment par le biais de pressions financières, comme en Belgique où le prix de mise en décharge a doublé, passant de 35 euros à 60 euros la tonne (dérives et décharges illégales en sont aussi la résultante). La loi de la transition énergétique pour la croissance verte a fixé pour objectif de réduire de 50 % les déchets admis en installations de stockage d'ici 2025.

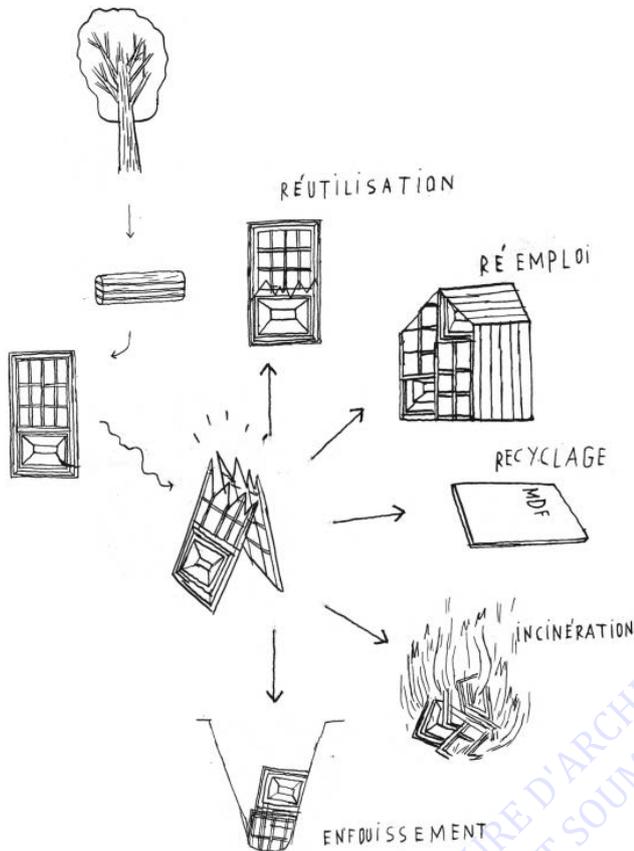


Figure 42 : Illustration pour l'exposition Matière Grise. (2014). Bonnefrite.

Afin que les différentes pratiques de traitement de la matière mènent à la valorisation, la notion de déchet doit évoluer. Le cycle de revalorisation permet de transformer le statut du déchet en ressource et « tend précisément à court-circuiter le passage d'un matériau par la case déchet¹²⁰ ». Les déchets des uns deviennent alors les ressources des autres. Le meilleur déchet est donc celui que l'on ne produit pas et celui qui est reconsidéré avant même d'être devenu un déchet, « sur le plan juridique, les éléments qui sont démontés soigneusement en vue d'être réutilisés directement ou après une courte période d'entreposage tendent plutôt à être considérés comme des produits¹²¹ ».

Les autres stratégies de revalorisation des déchets du bâtiment, qui participent à la création d'un nouveau modèle de gestion basé sur la circularité, sont variées. Leurs définitions sont très spécifiques (cf. Glossaire p.13) et sont dans le langage courant souvent confondues. L'architecte Jean-Marc Huygen dans son ouvrage *La poubelle et l'architecte*, les précise pour éviter toute confusion : « Je différencie trois actes de récupération distincts : la réutilisation, qui consiste à se resservir de l'objet dans son usage premier ; le réemploi, d'un objet ou de parties d'objet, pour un autre usage ; le recyclage, qui réintroduit les matières de l'objet dans un nouveau cycle ». Une grande quantité de déchets, transformable en ressource, est donc possiblement applicable dans de futurs projets. « La réutilisation conserve la fonction, le réemploi conserve la forme, le recyclage conserve la matière¹²² », le choix stratégique est rendu décisif en fonction des matériaux, des projets et des décisionnaires. Ces stratégies sont notamment possibles grâce au développement de techniques de déconstruction qui altèrent le moins possible les matériaux en place. De manière générale, la réutilisation, le réemploi et le recyclage sont applicables à l'ensemble des déchets du bâtiment tant qu'ils ne sont pas considérés comme ultimes. Cela concerne à la fois des éléments de second œuvre mais aussi les éléments structurels et les déchets inertes sous forme de gravats. Alors que 56 % de l'impact carbone d'un bâtiment sont produits par les matériaux durant sa durée de vie complète¹²³, ceux-ci peuvent faire l'objet d'opérations vertueuses une fois l'exploitation d'un bâtiment finie. Ces opérations produisent des matières premières secondaires qui peuvent être utilisées en substitution totale aux matières premières naturelles ou manufacturées, précise Cesare Maria Casati dans la revue d'architecture *ARCA international* : « Je ne pense pas que nous puissions continuer à "ajouter" avant d'avoir d'abord réutilisé et récupéré tout ce que nous avons écarté et abandonné avec légèreté¹²⁴ ». Par exemple, en région Pays-de-la-Loire, ce sont près de 5,6 millions de tonnes de déchets inertes qui sont réutilisées, réemployées et recyclées, soit une contribution de 15 % du besoin annuel en matériaux de construction¹²⁵.

Des dispositifs connexes aux méthodes de valorisation sont aussi mis en place afin d'agir sur l'ensemble du cycle de vie des produits. C'est le cas du dispositif de la Responsabilité Élargie du Producteur (REP) basé sur le principe « pollueur-payeur¹²⁶ ». Le principe de la REP apparaît avec l'article L. 541-10 du code de l'environnement codifié en 1975 : « Il peut être fait obligation aux producteurs, importateurs et distributeurs de ces produits ou des éléments et matériaux entrant dans leur fabrication de

120. Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. PPUR. p.65.

121. Rotor. (2018). *ibid.*

122. Choppin, J., Delon, N., & Heures, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.83.

123. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

124. Choppin, J., Delon, N., & Heures, E. (2014). *ibid.* p.73.

125. CERC. (2015). *Économie circulaire et construction en Pays de la Loire. Analyse des flux de matériaux*.

126. Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

pourvoir ou de contribuer à l'élimination des déchets qui en proviennent¹²⁷ ». En d'autres termes, chaque entité à l'origine de la mise sur le marché de certains produits et matériaux devient responsable de l'ensemble du cycle de vie, de la fabrication à la gestion de la fin de vie. Le but est de réduire la production de déchets et d'augmenter leur valorisation en prenant conscience des coûts induits par la gestion des déchets. Le dispositif de la REP développe deux principes structurants nécessaires à son application. L'éco-conception qui est une « approche préventive qui prend en compte les problèmes d'environnement dès la conception d'un bien tout en conservant ses qualités d'usage¹²⁸ » et l'éco-contribution qui permet aux « producteurs d'ajouter au prix de vente de leurs produits une contribution financière, calculée en fonction de l'effort à fournir pour atteindre les enjeux fixés, afin de compenser les dépenses liées aux frais logistiques de collecte et de traitement de la fin de vie d'un élément¹²⁹ ».

Depuis le décret n° 2021-1941 du 31 décembre 2021, cette Responsabilité Élargie du Producteur est appliquée aux produits et matériaux de construction. Les personnes physiques ou morales qui mettent sur le marché des produits ou matériaux de construction destinés à la filière du bâtiment sont tenues de contribuer à la reprise et au traitement sans frais des déchets qui en sont issus, lorsqu'ils sont collectés séparément. Cela va permettre l'évolution vertueuse de plusieurs aspects : renforcer le maillage sur tout le territoire des points de collecte, soutenir les collectivités locales qui prennent en charge les déchets du bâtiment apportés par les particuliers et restreindre la problématique des dépôts sauvages, grâce à un principe de reprise gratuite des déchets financé par les éco-organismes (sociétés de droit privé investies par les pouvoirs publics de missions d'intérêt général). Pour le moment, ceux de la filière REP Produits et Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment (PMCB) sont en structuration (Valobat, Ecominero, Eco-mobilier et Valdelia) sont actuellement en création et regroupent de nombreuses entreprises).

C. OBSERVATIONS CONTEXTUELLES DES MODÈLES DE RÉUTILISATION ET DE RÉEMPLOI

Les modes de valorisation des déchets du bâtiment et des travaux publics sont des outils de transition vers une architecture moins énergivore, moins « matériovore¹³⁰ » et moins polluante, et ne doivent plus être simplement considérés comme l'apanage d'acteurs et de chantiers précurseurs mais comme des pratiques diffuses, acceptées, structurées et pérennes. Aujourd'hui, le taux estimé de valorisation des déchets de chantier du bâtiment est aux alentours de 67 %, donc relativement proche de l'objectif réglementaire fixé à 70 % par l'article L. 541-1 du code de l'environnement pour l'horizon 2020. Ce taux de valorisation varie suivant l'activité : 60 à 80 % pour la démolition, 10 à 30 % pour la réhabilitation, 40 à 60 % pour la construction neuve. Ce taux varie également en fonction du type de déchets : 60 à 70 % pour les déchets inertes, 30 à 50 % pour les déchets non dangereux non inertes¹³¹. Cette évaluation numérale peut paraître élevée au vu des différents points abordés précédemment qui ne dressaient pas nécessairement de constat encourageant lié au traitement des déchets des activités du bâtiment mais elle reflète la réalité d'un système à sens unique : la majorité des déchets inertes valorisés rejoint le remblayage de carrières (40 % du taux global) ou les techniques routières des travaux publics (sous-couches, remblais, enrobés). La valorisation des inertes pour un retour dans la construction est encore très faible dans un contexte de renouvellement urbain où l'autosuffisance urbaine semble être l'approche la plus durable pour une ville résiliente. Ces démarches volontaires passent par deux composantes inhérentes à leur développement : la prévention en amont et la gestion en aval.

Aujourd'hui, il est primordial d'intégrer la valorisation dans tous les processus de conception, de construction et de démolition/déconstruction afin que les circuits de revalorisation soient les plus optimisés et intégrés possibles, en « consommant plus de matière grise pour consommer moins de matières premières¹³² ». Cet engagement doit être porté par l'ensemble des acteurs de la construction, avec l'idée que le temps est une véritable composante des matériaux. Avec « la matière devenant le point de départ qui conditionne la création architecturale¹³³ », la valorisation impose une anticipation à tous les niveaux de conception d'un matériau, d'une architecture ou d'un projet. L'approvisionnement en matériaux est par nature la première composante de tout projet de construction, lorsque cette étape

127. <https://www.legifrance.gouv.fr> (consulté le 17 mars 2022).

128. Ministère de la transition écologique (2019). <https://ecologie.gouv.fr/leco-conception-des-produits>.

129. Article L541-10-2 du code de l'environnement.

130. Choppin, J., Delon, N., & Heureux, E. (2014). *ibid.* p.345.

131. Ministère de la transition écologique. 2020. <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment> (consulté le 14 mars 2022).

132. Exposition Matières grises au Pavillon de l'Arsenal, Paris. 26/092014 au 25/012015. Encore Heureux architectes, Julien Choppin & Nicola Delon.

133. Choppin, J., Delon, N., & Heureux, E. (2014). *ibid.* p.87.

prend corps avec les stratégies cycliques de traitement des déchets, la structuration de son système doit « développer une stratégie d'inscription territoriale, d'acheminement des entrants et des sortants et de gestion optimisée des stocks afin de répondre à la demande constructive¹³⁴ ».



Figure 43 : Façade réemploi du Siège du Conseil européen, Bruxelles. (2016).
Architecte : Philippe Samyn.

Le principe de réutilisation, premier degré de réorientation des déchets, permet à un produit considéré comme déchet de retrouver son statut de produit afin d'être remis sur le marché par une étape de préparation. Cela peut se faire en détournant son usage initial. Le déchet subit des opérations de contrôle, nettoyage et de réparation de manière à être préparé pour sa réutilisation. Ce sont les seules opérations de traitement que le déchet va connaître afin de retrouver une valeur usuelle et économique. La réparation est donc devenue une priorité au maintien des produits et matériaux sur le marché en différant leur obsolescence. Cette activité a donné naissance à une

multitude de nouveaux métiers comme les réparateurs agréés ainsi qu'à des lieux comme les ressourceries. Ces structures gèrent la récupération, la valorisation et la revente de biens sur un territoire donné.

Si cette méthode s'applique assez bien aux déchets du second œuvre¹³⁵ comme les éléments électriques, les éléments de plomberie, de chauffe et de ventilation, les menuiseries intérieures, les escaliers, le mobilier et les revêtements, la réutilisation est néanmoins un modèle limité concernant la gestion des déchets inertes du bâtiment. La majeure partie de ces déchets proviennent du gros œuvre¹³⁶ et sont soit produits sous forme de gravats, soit sous leur forme initiale suite à une déconstruction. Dans les deux cas, la réparation pour remise en état initial n'est pas possible pour des éléments démolis et mixtes ainsi que pour des éléments structurels déconstruits. Une porte peut être réutilisée en table par exemple, ou un chauffage peut être réparé pour resservir, le parpaing d'un mur déconstruit peut être transformé en jardinière mais il ne peut pas être réutilisé en tant que tel comme élément de structure, sa vie antérieure ne lui permettant plus de garantir une résistance mécanique et une efficacité structurelle pour la construction.

Avec le principe de réemploi, second degré de la hiérarchie de valorisation, le statut de produit est conservé et la production de déchet est évitée. Si la réutilisation permet de détourner l'usage initial d'un matériau et de le faire changer de catégorie d'usage, le réemploi lui, conserve les matériaux en tant que tels. Pour ce faire, il est nécessaire de récupérer les matériaux au sein même de l'édifice avant que celui-ci soit démolé pour récupérer les éléments sans qu'ils soient séparés de leurs valeurs. L'architecte Jean-Marc Huygen considère que « le réemploi permet une économie et une mise en perspective historique et sociale, donc un supplément de sens et une relation entre les générations ». La méthode du réemploi implique donc de passer par la déconstruction sélective afin de récupérer le plus d'éléments intacts possible, la qualité intrinsèque initiale des matériaux doit être conservée avec conformité afin de continuer à offrir les mêmes performances lors d'une seconde vie. Afin de savoir quel élément est potentiellement réemployable, il est nécessaire d'établir un diagnostic ressources des composants de l'édifice. Ceux retenus sont ensuite déposés, déplacés, nettoyés, contrôlés, conditionnés et stockés pour leur réemploi. Deux modalités opérationnelles sont possibles : le réemploi *in situ* pour un réemploi sur le même projet ou le futur projet en lieu et place et le réemploi *ex situ* pour un réemploi sur un autre chantier - qui doit être proche pour que l'opération soit rentable et vertueuse. Cette méthode permet la mise en place d'un marché parallèle de matériaux, la création de nouveaux métiers à chaque étape de la chaîne, l'anticipation par tous les

134. Choppin, J., Delon, N., & Heures, E. (2014). *ibid.* p.199.

135. Ensemble des éléments ne participant pas à la structure porteuse d'un ouvrage. Vise à rendre habitable et aménageable un édifice.

136. Ensemble des éléments de construction d'un édifice qui lui assure la reprise de tous les efforts subis. Tout ce qui concourt à la stabilité.

corps de métier des matériaux utilisés afin d'augmenter la part d'éléments réemployés dans les projets, la structuration précise de méthodes de dépose et de déconstruction et l'approvisionnement local en réseaux des matériaux¹³⁷.

Le réemploi est une méthode dont les éléments de second œuvre peuvent bénéficier et de nombreux projets le prouvent déjà. Un des plus emblématiques est le projet du Siège du Conseil de l'Union européenne à Bruxelles pensé et construit par l'architecte Philippe Samyn dont le réemploi de 3 000 châssis de fenêtres collectés dans chacun des états membres renvoie au symbole de diversité et permet aussi d'exposer un modèle de construction durable. Même si les éléments réemployés ne proviennent pas seulement de sources locales, ce projet reste néanmoins une prouesse assez parlante des possibilités du réemploi de la conception du projet à sa mise en œuvre¹³⁸.

Concernant les matériaux inertes, dont la plupart sont issus du gros œuvre, la stratégie du réemploi rencontre plus de limites. Même s'il est possible dès la conception d'un projet de vouloir réemployer des matériaux inertes en provenance d'autres chantiers et lors des diagnostics ressources d'interpréter que des éléments inertes sont « déposables » pour le réemploi, la mise en pratique reste très limitée par rapport aux éléments de second œuvre. L'exemple de la brique est assez parlant. Si nous partons du principe que réemployer une brique vaut l'équivalent seulement de 2 % d'énergie qu'il n'en faut pour en fabriquer une, cette méthode semble être un gain sur de nombreux points. Il existe néanmoins un certain nombre de règles à respecter pour que la brique soit l'objet du réemploi. La brique ne doit jamais être inférieure au demi de sa taille originelle et doit avoir au moins une de ses deux grandes faces dans un bon état. La brique doit être pleine, façonnée à la main et doit être nettoyée de tout mortier substantiel. Elle ne doit pas être poreuse, fissurée et ne doit pas provenir d'étables, de puits ou de fondations, car le contact permanent avec l'ammoniac et l'eau peut créer du salpêtre. Le nettoyage permet de valider leur qualité (150 briques/heure/employé) et même si l'innocuité de la brique permet une longue conservation possible avant le réemploi, la logique de flux entre l'offre et la demande doit être cohérente pour permettre aux projets impliquant du réemploi d'être approvisionnés à hauteur des besoins et sans délais. De plus, il n'est possible de réemployer que celles conçues avant le XIX^e siècle puisqu'après le ciment a remplacé la chaux et les ligatures entre briques sont compliquées à enlever sans démontage non-destructif, ce qui réduit le champ des possibles.

Certains projets montrent néanmoins qu'il est possible de réemployer la brique et la tuile suivant certaines dispositions.

C'est notamment le cas du musée d'histoire de la ville de Ningbo en Chine, conçu par l'architecte chinois Wang Shu et prix Pritzker en 2012. Pour dégager la parcelle en vue d'accueillir ce musée, ce ne sont pas moins de trente villages traditionnels qui ont été démolis. Cette destruction massive est courante en Chine, mais ne s'inscrit pas dans la manière de faire de Wang Shu. C'est pourquoi, il a décidé de réemployer les gravats dans son processus de projet dont la plupart étaient des briques et des tuiles de terre cuite (cf. figure 44, p.71). Le but a été de lier les anciens matériaux au projet afin de garder la mémoire du lieu et l'inscrire dans la société d'aujourd'hui. Certains murs et certaines toitures sont composées de tuiles et de briques, empilées manuellement et mises en œuvre suivant la technique du « wa pan¹³⁹ », créant ainsi une mosaïque de matérialités. Ces éléments sont placés à l'extérieur des murs porteurs et font office de parement de façades. Le monticule hybride paraît érodé par le temps, tant les objets réemployés sont vieux et portent les stigmates du passé (certains dataient d'il y a plus de 1 500 ans). Leurs couleurs et empilements donnent au bâtiment un caractère monolithique. Pour ce faire Wang Shu collabore avec des artisans locaux. Le réemploi *in situ* a une valeur très importante et son impact historique a marqué les visiteurs et habitants des anciens villages détruits. Ils ont retrouvé la proximité avec les briques qu'ils avaient connues et qui leur ont évoqué leur histoire. Le fait d'intégrer cela à un bâtiment public, qui plus est, à un musée d'histoire est la manière la plus forte pour Wang Shu de donner du sens à son architecture.

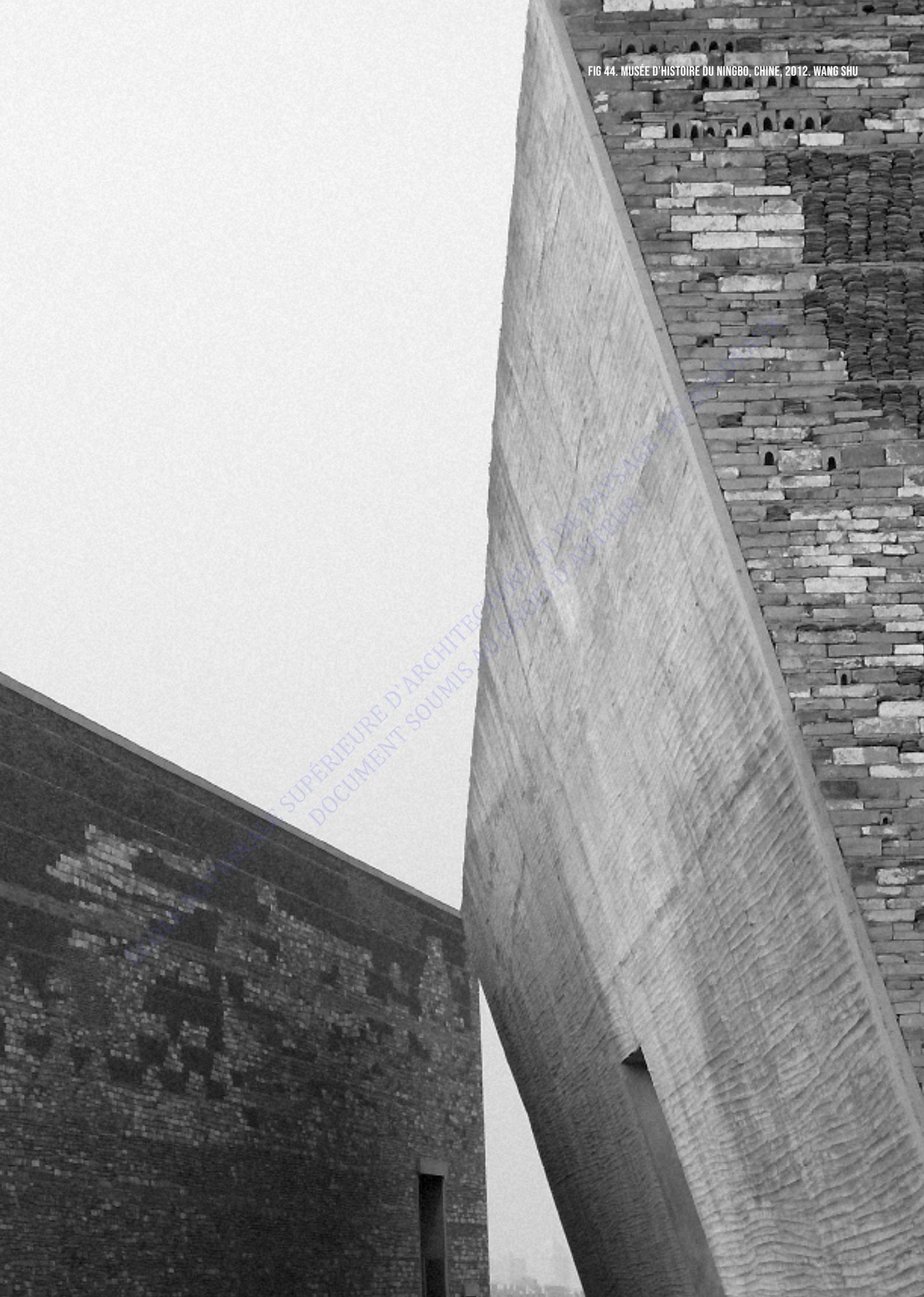
Les matériaux inertes présents à la fois dans le gros œuvre (béton, brique, parpaing, pierre, etc.) et le second œuvre (parement minéral, carrelage, cloison, etc.) ont donc plusieurs solutions de traitement possibles avant un changement d'état de la matière par le recyclage. Le réemploi des matériaux inertes permet leur valorisation avant qu'ils ne soient considérés comme déchets et réduits en gravats par l'étape de démolition. Mais au même titre que la réutilisation, ils ne peuvent être réintroduits tels quels dans les techniques constructives et structurelles d'un projet. La déconstruction et la dépose n'ont pas de sens pour la réutilisation, les matériaux inertes étant considérés comme déchets, ils sont détruits et transformés en gravats. Leurs principales valorisations sont le remblais *in situ* ou sur d'autres chantiers, le remblaiement de carrières et l'utilisation en sous-couches routières. S'ils sont traités avant d'être considérés comme des déchets, ils seront inclus dans de nouveaux projets sous forme de parement de façade par exemple. Aucune solution de traitement ne permet d'inclure des matériaux inertes ou des déchets inertes dans de nouveaux édifices sous forme structurelle sans changement d'état de matière permis par le recyclage.

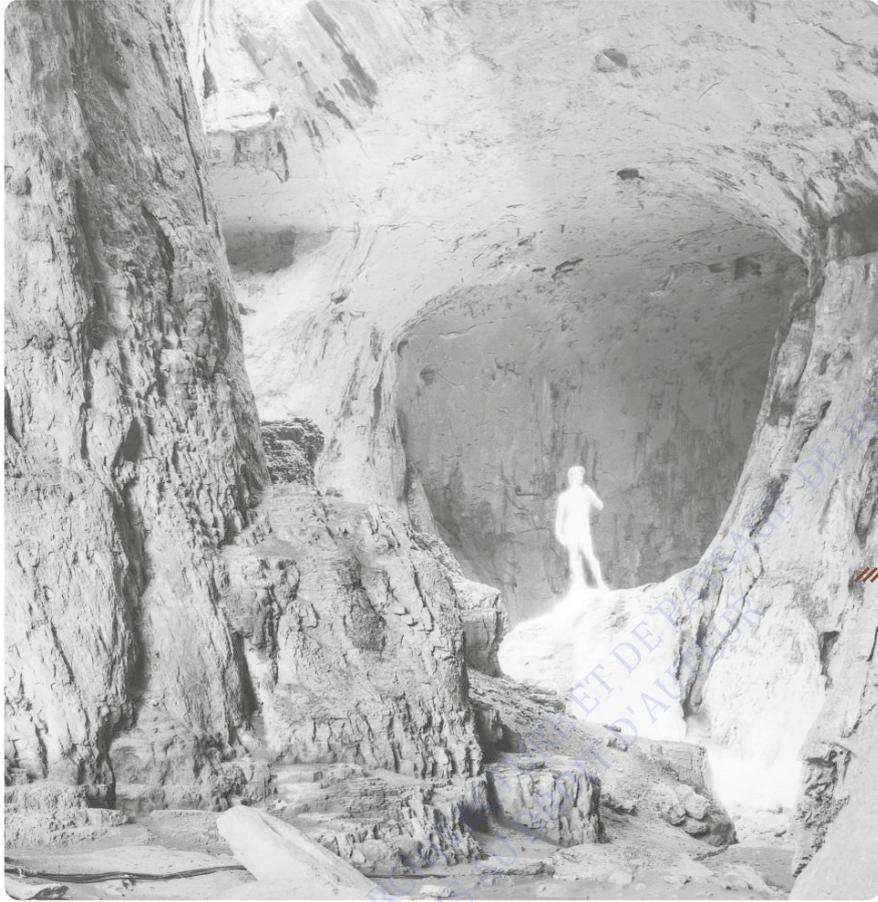
137. Pour en savoir plus sur les pratiques du réemploi, deux ouvrages fondamentaux : Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal / Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. PPUR.

138. Pour 75 autres projets de réemploi ambitieux : Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal.

139. Technique développée sur le littoral chinois pour faire face aux destructions provoquées par les typhons.

FIG 44. MUSÉE D'HISTOIRE DU NINGBO, CHINE, 2012. WANG SHU





ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ART ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS EN CANDIDATURE À LA CLASSE NATIONALE D'ART ET DE PAYSAGE

03. CADRES DE DÉVELOPPEMENT DE PRATIQUES EN RÉ-ÉMERGENCE

L'architecte, dans ce processus complexe, a une grande part de responsabilité. C'est à lui d'intégrer le réemploi dans son processus de projet et de soumettre l'idée à la maîtrise d'ouvrage, qui elle, la plupart du temps, ignore cette méthode. La systématisation du réemploi doit devenir nécessaire, sans être bloquée par certaines injonctions économiques, car il en va du devenir de nos ressources. L'architecte doit aussi ruser et employer diverses méthodes pour que son bâtiment consomme le moins d'énergie possible tout en utilisant des matériaux anciens, qui ne sont ni innovants, ni performants énergétiquement. Mais pour cela, il faut que les consciences évoluent et que dès l'apprentissage de l'architecture, des techniques réversibles soient inculquées pour permettre leurs applications généralisées.

A. ÉVOLUTIONS DES MÉTHODES OPÉRATIONNELLES DU RÉEMPLOI

Si les filières de la réutilisation et du recyclage se structurent rapidement pour l'ensemble des déchets (les espaces de réparation de vélos sont de plus en plus nombreux et le recyclage du verre par exemple est aujourd'hui une filière très organisée), celle du réemploi, qui ne considère à aucun moment une substance ou un objet comme un déchet, peine à devenir une pratique professionnelle généralisée et structurée. Cette pratique, qui se concentre principalement sur les matériaux de construction et qui nécessite peu d'intrants conséquents comme l'énergie, les moyens humains ou financiers, se positionne comme une solution alternative permettant d'optimiser le bilan carbone d'un projet et de mettre en œuvre durablement des matériaux de construction. Selon le collectif Bellastock, très engagé dans la recherche et le développement sur le terrain des pratiques de réemploi des matériaux de construction, cette méthode de valorisation est un « maillon entre la réutilisation et le recyclage¹⁴⁰ » et reste plus intéressante car les deux autres démarches engagent des énergies connexes assez importantes, jusqu'à devenir « l'action qui engendrera le moins de dépenses d'énergie au regard d'un maximum de possibilités d'usages réinventés¹⁴¹ ».

Mais cette pratique vertueuse au service d'une société plus durable - environnement, économie, social et culturel - reste singulière, pâtit de nombreux préjugés et est très peu encadrée. « En France et en Europe, le réemploi n'a pas (encore) de définition officielle précise. Au-delà de la méconnaissance collective du sujet, c'est un vide juridique important qui freine toutes les initiatives économiques en la matière¹⁴² » précise Carl Enckell, avocat spécialisé en droit de l'environnement. Plusieurs causes à cela : les freins liés à l'assurabilité des matériaux, le manque de définition juridique précise, peu de soutien de la part des politiques publiques, le maillage territorial des gisements trop étendu, la difficulté à acclimater le grand public, les labels quasiment inexistantes, les normes et les réglementations très fermées, la difficulté de validation des matériaux de réemploi, etc. « Si le gouvernement débloquent des fonds publics et encourageait des investissements privés pour les matériaux de réemploi, une vraie filière pourrait émerger [...] comme une TVA réduite sur l'achat de ces matériaux¹⁴³ » relate l'architecte Dominique Gauzin-Müller.

En France, peu de lois/textes réglementent la pratique du réemploi afin de lui permettre de se développer facilement pour le bien commun, « accepter de nouvelles contraintes pour économiser de la matière, réduire les déchets et réaliser un projet qui a du sens constitue l'enjeu principal de cette gouvernance constructive¹⁴⁴ ». Parfois, les critères de validation imposés par les maîtrises d'ouvrage ou par les réglementations de conformité aux exigences de matériaux contraignent son champ d'application à de simples expérimentations de petites échelles sans réelle contrainte technique. La question du réemploi n'est pas seulement une question d'éléments de construction et de leurs possibilités, c'est aussi une organisation aux rapports économiques et contractuels importants où les acteurs ont chacun leurs responsabilités et leurs rôles. Les pratiques du réemploi sont actuellement contrastées et peinent à concurrencer les filières de matériaux de construction neufs, sectorisées, hyper productives et dont les lobbies sont puissants :

Les enjeux du réemploi des matériaux de construction sont méconnus car il n'y a pas de groupement professionnel puissant qui s'y intéresse. Seuls les précaires de tous pays, depuis toujours, le pratiquent tant bien que mal, parfois à grande échelles, mais par obligation faute de mieux.¹⁴⁵

L'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) s'est attachée à définir et à identifier les freins et les leviers au réemploi des produits et matériaux de construction dans une étude parue en 2016¹⁴⁶, dans un contexte où les actions sont tout de même encouragées par le Programme National de Prévention des Déchets 2014-2020 et la loi de transition énergétique pour la croissance verte, qui fixent les déchets du bâtiment et des travaux publics au rang de priorité. L'ADEME a conclu que le secteur du bâtiment devait fournir un effort conséquent afin de renforcer la pratique du réemploi. L'encadrement des pratiques doit être pensé pour rassurer l'ensemble des acteurs engagés : maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage, déconstructeurs, entreprises et artisans, notamment en développant des référentiels et des guides au service de la performance et de la constance des qualités d'un matériau de réemploi¹⁴⁷. Une fois que le cadre est adapté, l'offre doit être créée, les acteurs mis en relation et la mise à disposition des matériaux facilitée afin de permettre « le développement progressif et sécurisé du réemploi dans les marchés publics et privés¹⁴⁸ ».

140. Collectif Bellastock. Drapeau, L. (2017). *Réemploi: comment le réemploi se développe-t-il au delà des architectures manifestes ?*

141. *ibid.*

142. Choppin, J., Delon, N., & Heureux, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.48.

143. *ibid.* p.120.

144. *ibid.* p.259.

145. *ibid.* p.171.

146. Synthèse : <https://www.rdcenvironment.be/wp-content/uploads/2017/11/2573-ADEME-identification-freins-reemploi-btp-201604-synthese.pdf> (consulté le 26 avril 2022).

147. RDC Environment, éco BTP, I Care & Consult. (2016). *Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction*. p.12.

148. *ibid.*

Les défis pour le déploiement de cadres génériques et spécifiques pour le réemploi sont organisationnels, logistiques, techniques et culturels. Les propositions de développement doivent suivre trois axes impliquant une certaine chronologie : activer ; soutenir et encourager ; réguler et réglementer¹⁴⁹. La gestion des déchets et la pratique du réemploi sont impliquées dans la réduction de l'impact de l'Humain sur son environnement pour un futur durable et méritent à ce titre d'être considérées comme incitateurs d'une meilleure gestion des territoires et du renouvellement urbain. Les actions proposées par le collectif bruxellois Rotor, initiateur du développement du réemploi en Belgique et véritable protagoniste de son expansion, permettent « une voie possible pour le développement de filières de réemploi matures, professionnelles et bien établies [...] dans une logique de renforcement de dynamiques pré-existantes¹⁵⁰ ».

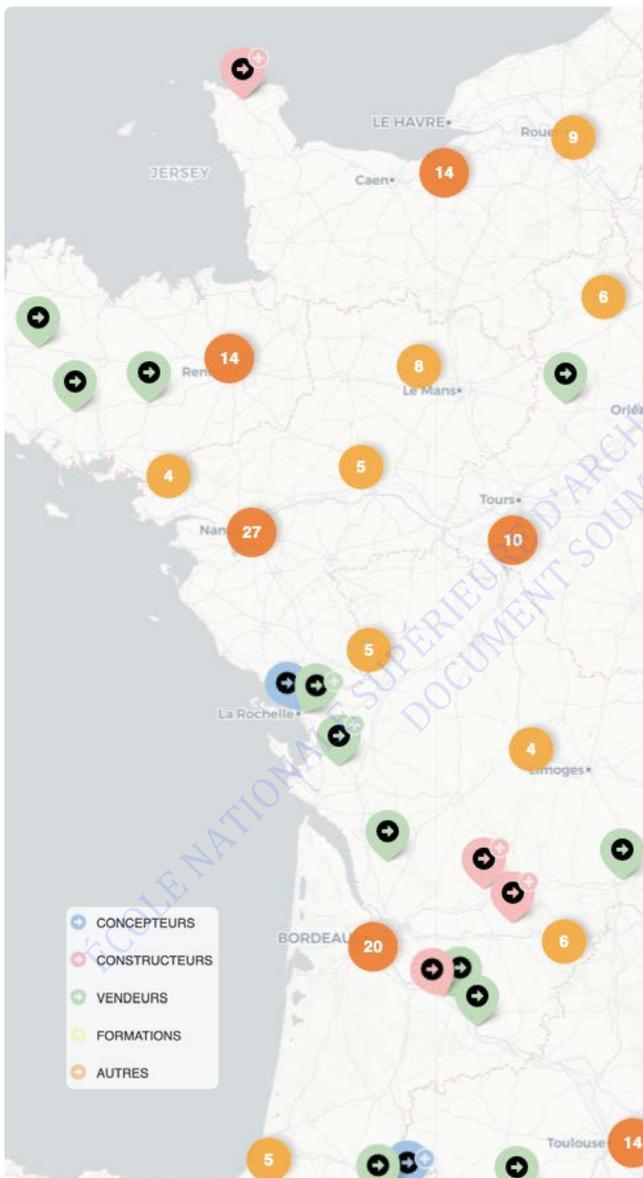


Figure 46 : Extrait de la carte des acteurs du réemploi. <http://materiauxreemploi.com/>.

Le premier axe de développement¹⁵¹ permet de rendre visible et d'activer le réseau des acteurs du réemploi. Cela passe d'abord par un inventaire rigoureux retranscrit sous forme d'annuaire des prestataires de services (assistants maîtrise d'ouvrage, architectes, artisans, fournisseurs, associations, revendeurs de matériaux, etc.) capables d'intervenir sur des projets de réemploi. Cela permettrait d'avoir une vision globale en temps réel de tous ceux qui peuvent s'investir sur les multiples étapes d'un projet et de créer des connexions et relations durables entre chacun. Cela permettrait également d'aiguiller ceux qui veulent s'engager dans la voie du réemploi vers tels ou tels types d'acteurs en fonction des objectifs de leur projet. Cet outil peut être consulté par tous (acteurs du réemploi, novices, politiques, grand public) pour mettre en valeur la multitude de personnes engagées. De la même manière, il serait important de recenser les projets impliquant du réemploi afin d'exposer et de présenter les différentes méthodologies mises en œuvre par chacun. Cette visibilité donnerait du poids à ceux qui sont allés jusqu'au bout et encouragerait les autres à faire de même. Le collectif Rotor propose d'engager la responsabilité des pouvoirs publics à développer ce type de plateformes évolutives et démonstratives afin d'encourager et de structurer la pratique du réemploi à l'échelle territoriale. Le but est de fédérer les acteurs afin de créer une filière stable et constituer un véritable organisme ou une fédération qui défendrait les intérêts du réemploi à tous les niveaux (caractère transversal du réemploi).

Lorsque les pouvoirs publics ne s'engagent pas assez rapidement ou assez tôt, ce sont généralement les entités privées, les personnes morales ou publiques qui s'attachent à faire avancer le sujet sans attendre le soutien d'une mairie ou d'une collectivité. C'est le cas de l'architecte Morgan Moinet qui a très tôt voulu participer à l'expansion du réemploi en créant un outil de veille via la plateforme Facebook et ensuite avec la création du site internet <http://materiauxreemploi.com>. En parallèle de son activité de consulting en réemploi à la suite de son diplôme, développer ce site internet a permis de partager de nombreuses informations concernant les acteurs et les projets de réemploi. Une cartographie et plusieurs annuaires sont accessibles sur le site, mais également des articles, conférences et bibliographies.

Étant donné le caractère local et très singulier de chaque projet et pratique de réemploi, les acteurs appliquent des procédures spécifiques aux bâtiments, matériaux, objectifs et territoires sur lesquels ils opèrent. Ces divergences de pratiques conditionnent le réemploi dans des démarches au cas par cas, limitant son caractère collectif et partagé. La création de formulaires types et explicites permettrait d'exposer les procédures existantes et serviraient, au même titre qu'une cartographie des acteurs

149. Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. PPUR. p.192.

150. Rotor. (2018). *ibid.* p.193.

151. Pour en savoir plus sur les actions du collectif Rotor pour le développement du réemploi : Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. PPUR. Chapitre 10. p.191.

ou d'un annuaire, à prendre pour exemple ce qui a déjà été élaboré, testé et accepté. C'est par exemple le cas du centre de formations Noria et compagnie, qui après avoir créé une formation « Technicien Valoriste des Ressources du Bâtiment », a élaboré un guide méthodologique pour la réalisation d'un chantier de dépose sélective à partir d'un chantier réel afin de partager les méthodologies mises en œuvre.

Une des principales problématiques à la généralisation du réemploi des matériaux de construction tient de la difficulté à évaluer les caractéristiques d'un élément et à assurer l'usage pour lequel il sera destiné. Garantir les qualités des matériaux de réemploi aux maîtrises d'ouvrage et aux assurances reste une limite. Afin d'améliorer la capacité de garantie des matériaux, une première étape consisterait à classer les éléments par types, formes, caractéristiques ou matières. Le collectif Rotor donne pour cela la possibilité aux bureaux d'étude et aux centres techniques d'encadrer ce genre de protocoles. C'est le cas notamment de la société de conseils et d'ingénierie en réemploi R-use, co-développée par l'ingénieur Aymeric Meunier, qui a pour volonté d'être toujours plus ambitieuse sur le taux de valorisation des éléments de construction par le biais d'une ingénierie du réemploi collaborative avec des bureaux de contrôle et d'études techniques :

On fait des tests sur des matériaux avec des centres techniques et des laboratoires. On crée tout un raisonnement scientifique et des justifications techniques et réglementaires pour prouver aux bureaux de contrôle et aux assurances que notre protocole marche. Pour moi, la justification technique constitue une des bases de l'application du réemploi.¹⁵²

Le second axe de développement mentionné par le collectif Rotor est de soutenir et d'encourager les pratiques du réemploi par le biais de cadres adaptables et de valorisation des engagements. Cela passe en partie par les pouvoirs publics et administratifs mais aussi par les organismes de financement, les assurances et les banques. Si ces entités soutiennent directement, de manière explicite et formulée, les acteurs de terrain et la création d'entreprises liées au réemploi, alors le marché public favorisera les pratiques. La législation des marchés publics ne privilégie pas nettement les opérateurs du réemploi et les cahiers des charges restent évasifs sans fixer d'objectif ou de critère à respecter. Il est nécessaire de définir des cadres afin de développer des actions unidirectionnelles même si le réemploi reste adaptable et est par essence émancipé des directives injonctives propres au secteur du neuf. En 1990, l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) est créée pour participer à la mise en œuvre des politiques publiques en matière d'énergie et de protection de l'environnement qui se multiplient. En 2000, la partie législative de ces politiques publiques sont rassemblées en un code de l'environnement.

Afin d'encourager ces pratiques de valorisation des matériaux, des labels et primes peuvent avantager les projets et actions vertueuses et valoriser le réemploi dès la conception de ses principes jusqu'à leurs mises en œuvre. C'est le cas notamment en Région de Bruxelles-Capitale, où des primes à la construction sont engagées dès les appels à projet et versées à ceux dont les projets développent les principes de l'économie circulaire. Le Trophée Bâtiments Circulaires, créé en France par le Booster du réemploi, est aussi un exemple de promotion et de diffusion du réemploi. La mise en avant de projets exemplaires est bénéfique pour la circularité, l'innovation et la reproductibilité des projets de réemploi.

Le dernier axe de développement d'actions concrètes en faveur du réemploi concerne la régulation et la réglementation des initiatives portées par l'ensemble du secteur du réemploi. Imposer ou rendre obligatoire certaines procédures par le biais de normes, de réglementations, de cadres ou même de lois permettrait la structuration du marché public. C'est déjà le cas concernant le tri des déchets de chantier par exemple. Un diagnostic ressources serait judicieux à effectuer avant chaque démolition afin d'amplifier les flux de récupération et de valorisation de matériaux, pas seulement pour le réemploi mais aussi pour la réutilisation ou le recyclage. Rendre obligatoire ces inventaires provoquerait de fait un cycle constant de valorisation de la ville sur elle-même dans le contexte actuel de renouvellement urbain. Cela servirait également les collectivités publiques à enrichir leurs données pour la structuration des projets urbains. La ville de Seattle aux États-Unis a notamment rendu obligatoire un audit préalable pour chaque permis de démolition déposé en mairie. Afin de faire face au nombre de démolitions toujours plus importantes qui endiguent les possibilités de réemploi, favoriser le démantèlement des édifices serait un moyen efficace pour augmenter les objectifs de récupération des matériaux. D'autant plus que le nombre d'acteurs capables de le faire est grandissant, encouragés par les actions précédemment décrites. Une fois ces édifices déconstruits, un niveau minimal d'intégration d'éléments en provenance de l'économie circulaire serait envisagé pour les projets futurs. Chaque partie d'un édifice pourrait donc être composée d'un nombre minimum d'éléments revalorisés aussi bien dans les fondations (déchets inertes valorisés en granulats) que dans des éléments de second œuvre. Cela favoriserait le développement constant des filières et une demande continue. L'offre et la demande étant indissociables, l'influence de l'un structurerait le marché de l'autre.

Ce résumé non exhaustif des pistes et plans d'actions proposés par le collectif Rotor afin de favoriser et consolider les filières du réemploi permet de contextualiser les freins et limites que rencontrent aujourd'hui les acteurs et leurs propositions. Ce support relaye et introduit les nombreuses directions que

152. Entretien réalisé par l'auteure le 10 mai 2021. Cf. annexes n°9, p.154.

peut prendre l'ensemble des décideurs et exécutants pour l'évolution des méthodes opérationnelles face au manque de cadre juridique et de soutien financier que rencontrent les acteurs des filières locales et vertueuses. Il s'agit bien ici de revenir à des pratiques qui finalement étaient fréquentes et communes durant des siècles.

B. MUTATION DES OBJECTIFS DES MAÎTRISES D'OUVRAGES

L'engagement pour un secteur du bâtiment plus vertueux et la démocratisation de la valorisation des matériaux et déchets de construction doit être porté par l'ensemble des acteurs du bâtiment, du maître d'ouvrage au constructeur en passant par le concepteur. Chacun à sa part de responsabilité vis-à-vis de l'impact carbone d'un bâtiment et des taux de matériaux de seconde vie qui le composent. Du fait du manque d'aide et de structuration des pratiques, s'engager dans un projet de réemploi ou incluant du réemploi est long et fastidieux, ceux qui s'y engagent doivent redoubler d'efforts, « choisir de réemployer, c'est accepter de sortir des sentiers battus pour s'aventurer sur un terrain moins connu¹⁵³ ».

Le maître d'ouvrage est la personne morale ou physique, de droit privé ou de droit public, pour laquelle est réalisé l'ouvrage souhaité, c'est donc le commanditaire d'un projet et de ses travaux qui confie leurs réalisations au maître d'œuvre. Toute personne peut être maître d'ouvrage : un particulier, un professionnel, une collectivité territoriale, l'État, une entreprise,



Figure 47 : Visite de chantier d'un maître d'ouvrage au Moyen Âge. Inconnu.

une association à but non lucratif. Il a donc un rôle essentiel dans la chaîne d'acteurs qui réalisent un projet, puisqu'il est à la source. C'est lui qui exprime les besoins et les objectifs du projet, fixe son calendrier et les délais à tenir, décide du budget alloué et qui le finance en conséquence.

Cette position confère au maître d'ouvrage une multitude de moyens. Il peut donc imposer ou non le recours au réemploi pour les matériaux de son projet ou pour le traitement des déchets que celui-ci va générer, voire les deux. Les maîtres d'ouvrages viennent de secteurs très différents, il est donc primordial d'affirmer l'importance des méthodes de valorisation des matériaux et déchets auprès du grand public afin que chaque personne qui commande un projet ait en tête ces possibilités, même un maître d'ouvrage privé pour le compte de sa maison par exemple. De plus, la maîtrise d'ouvrage est, au regard de la loi, responsable des déchets de chantier ou de démolition produits sur le chantier commandité. Les entreprises et entrepreneurs de travaux, en sont eux, les intermédiaires jusqu'à leur élimination ou valorisation. Les deux parties sont tenues d'assurer la gestion des déchets. La responsabilité du maître d'ouvrage est engagée si les processus ne sont pas respectés¹⁵⁴.

Intégrer les pratiques de valorisation sous forme d'exigences ordonnées par la maîtrise d'ouvrage, passe par plusieurs procédés. Cela peut d'abord se faire dès l'appel d'offre qui fixe les conditions à respecter et permet aux architectes qui souhaitent y répondre d'adapter leurs pratiques en fonction, « construire en réemployant ne peut se faire qu'en modifiant le rapport entre concepteur et constructeur, confiance et souplesse mentale étant les piliers d'une collaboration d'un nouveau genre¹⁵⁵ ». Intégrer les exigences de valorisation aux appels d'offres publics permettrait de les mettre en place à grande échelle et de connecter une multitude d'acteurs capables de les réaliser. Les intégrer également au marché privé - sous la forme d'obligation lors d'un dépôt de permis de construire par exemple - supporterait l'économie circulaire et l'emploi de matériaux de seconde vie parmi la population.

Le réemploi pourrait donc émerger de son statut expérimental pour devenir une pratique courante et structurée aux revendications importantes même pour les plus petits chantiers. Le programme européen Interreg North-West Europe a publié un guide¹⁵⁶ qui énonce des propositions opérationnelles et s'appuie sur des exemples concrets pour la mise en œuvre du réemploi de matériaux dans les marchés publics afin de rendre systématique la valorisation cyclique des matériaux de construction. Cet outil permet d'aider les maîtrises d'ouvrage à formuler des objectifs et à s'impliquer jusqu'à leurs mises

153. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.118

154. Pour en savoir plus : DEMOCLES. (2014). *Rapport d'analyse d'une étude sur la responsabilité de la maîtrise d'ouvrage en matière de déchets*.

155. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *ibid.* p.259.

156. Disponible ici : https://www.nweurope.eu/media/16915/wpt3_d_2_2_strategies-de-prescription_20220209.pdf.

en œuvre. Cela passe par « identifier les matériaux pertinents pour son projet », « formuler une performance chiffrée dans son objectif réemploi » ou encore « rédiger les spécifications techniques des matériaux de réemploi¹⁵⁷ ».

Un autre moyen d'intégrer en amont les pratiques de valorisation aux processus de projet serait d'imposer un audit préalable spécifique au réemploi avant une démolition ou une rénovation importante. Un audit réemploi ou un diagnostic ressources permet d'évaluer la quantité et la qualité des matériaux pouvant rejoindre des boucles de valorisation. Sans un diagnostic ressources, les matériaux ou déchets ne peuvent rejoindre des filières de traitement et de revalorisation adaptées. En marge d'un projet, cela peut mener le maître d'œuvre à intégrer des éléments déconstruits *in situ* dans le nouveau projet et le maître d'ouvrage à atteindre un pourcentage élevé de valorisation. Cela peut également servir à relever les risques liés aux matériaux dangereux comme l'amiante qui implique une gestion particulière. Cet audit est à la charge de la maîtrise d'ouvrage. Estimer un potentiel permet, avant même d'avoir entamé un projet, de définir les orientations que celui-ci pourra prendre :

*Le diagnostic déchets doit être préférentiellement fait avant la consultation des entreprises de travaux pour qu'il puisse être intégré dans le DCE et le CCTP. S'il n'est pas réalisé en amont de la consultation, cela aura pour conséquence pour le maître d'ouvrage de ne pas connaître les quantités et la nature des déchets que générera son chantier et donc leur potentiel de valorisation.*¹⁵⁸

Dans le cadre de la loi AGECE, anti-gaspillage pour une économie circulaire, les maîtrises d'ouvrage se voient imposées par le décret n°2021-872 du 30 juin 2021, de réaliser un diagnostic portant sur la gestion des produits, matériaux et des déchets issus des bâtiments (démolition ou rénovation significative). Sont concernés les bâtiments dont la surface cumulée de plancher est supérieure à 1 000 m² et ceux ayant contenu des substances dangereuses. Ce diagnostic doit être réalisé avant le dépôt des demandes d'autorisation d'urbanisme (permis de construire, de démolir ou d'aménager), ce qui va conditionner l'acceptation des devis ou la passation des marchés de démolition et de rénovation.

Une fois les prestataires identifiés et choisis pour la réalisation d'un projet, les maîtrises d'ouvrage ont aussi comme possibilité d'insérer dans les cahiers des charges des clauses spécifiques au réemploi. Ces documents contractuels permettent aux maîtrises d'ouvrage de formuler explicitement toutes leurs

attentes lors de la réalisation d'un projet. Si les maîtrises d'œuvre ne s'y tiennent pas, elles peuvent avoir des pénalités. L'article L. 2111-1 du code de la commande publique dispose que « la nature et l'étendue des besoins à satisfaire sont déterminées avec précision avant le lancement de la consultation en prenant en compte des objectifs de développement durable dans leurs dimensions économique, sociale et environnementale¹⁵⁹ ». Le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) peut également fixer des dispositions techniques en matière de réemploi afin que les maîtres d'œuvre adaptent les faisabilités, les contraintes techniques et sécuritaires, les réglementations environnementales ou encore les notices techniques aux objectifs de réemploi fixés par les maîtrises d'ouvrage. L'objectif du CCTP est de décrire précisément les tâches et les règles à suivre pour le Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) afin de savoir si les entrepreneurs et artisans doivent adapter leurs procédés et se fournir en conséquence ou s'il faut avoir recours à des entreprises déjà spécialisées dans les pratiques circulaires.

La définition des lots et le découpage en phases d'exécution permet d'identifier et de partager les tâches à réaliser pour l'édification d'un bâtiment suivant ses aspects techniques et contractuels. Les travaux se regroupant par spécialités techniques, le nombre de lots correspond au nombre de corps de métier et de leurs spécialités, chaque entreprise ayant ses limites de prestations. Cette disposition en allotissement favorise l'accès aux chantiers des petites entreprises qui ne peuvent concurrencer les entreprises générales lors de marchés tous corps d'état. L'avantage de l'allotissement permet de définir des marchés pour chaque lot. Les méthodes de valorisation des matériaux et des déchets peuvent donc s'appliquer à certains lots sans être imposées à d'autres, ce qui laisse la possibilité aux entreprises qui ont les connaissances et l'expérience d'entreprendre et aux autres de modifier leurs pratiques progressivement. Ainsi, le principe général du lot réemploi permet de déployer une ou plusieurs entreprises à la recherche et à la fourniture de matériaux de réemploi dans le but de concrétiser la préservation des ressources et permettre une diminution des coûts pour la gestion des déchets des autres postes du chantier¹⁶⁰.

Ainsi, de nombreux maîtres d'ouvrage se montrent déjà volontaires à modifier et faire évoluer leurs procédures. Les bénéfiques sont nombreux, entre autres : la conservation de la valeur patrimoniale d'un bâtiment, les économies financières liées à la conservation des éléments en place comme la structure, la valorisation de leur image puisqu'ils démontrent être responsables, la réduction de l'impact carbone du projet, la mise en valeur de l'aspect esthétique des matériaux anciens et

157. Interreg North-West Europe, Bellastock, Rotor. (2019). *Intégrer le réemploi dans les projets de grande échelle et les marchés publics*. Stratégies de prescriptions. Reuse toolkit.

158. DEMOCLES. (2018). *Recyclum*. Guide d'accompagnement de la Maîtrise d'ouvrage et de la Maîtrise d'œuvre.

159. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000037703452/ (consulté le 26 avril 2022).

160. CIFFUL. (2013). *Guide pratique sur le réemploi/réutilisation des matériaux de construction*. Région Bruxelles-Capitale.

la possibilité de faire revivre des matériaux qui aujourd'hui ne sont plus produits¹⁶¹. Pour ce faire, elles sont accompagnées et formées. C'est notamment le cas de la plateforme collaborative Démocles lancée en 2014 qui réunit de nombreux représentants des maîtrises d'ouvrage aux filières de valorisation et dont la mission principale est l'accompagnement au changement afin d'améliorer les pratiques en matière de prévention et de gestion des déchets.

Démocles a démarré en 2020 un appel à projet nommé « 50 maîtres d'ouvrage exemplaires » qui vise à accompagner les maîtrises d'ouvrage dans l'évolution de leurs pratiques¹⁶². Ce sont au total 47 maîtres d'ouvrage (promoteurs, bailleurs, collectivités, établissements publics fonciers, aménageurs) qui ont répondu à l'appel et se sont engagés à l'issue d'un recrutement qui a privilégié une bonne représentation des acteurs du territoire. Ils sont soutenus par deux bureaux d'étude spécialisés en gestion des déchets et bénéficient de temps de parole, d'échange et de partage avec l'ensemble du réseau d'acteurs engagés à toutes les étapes des méthodes de valorisation des matériaux et déchets et de l'économie circulaire sur le territoire national.

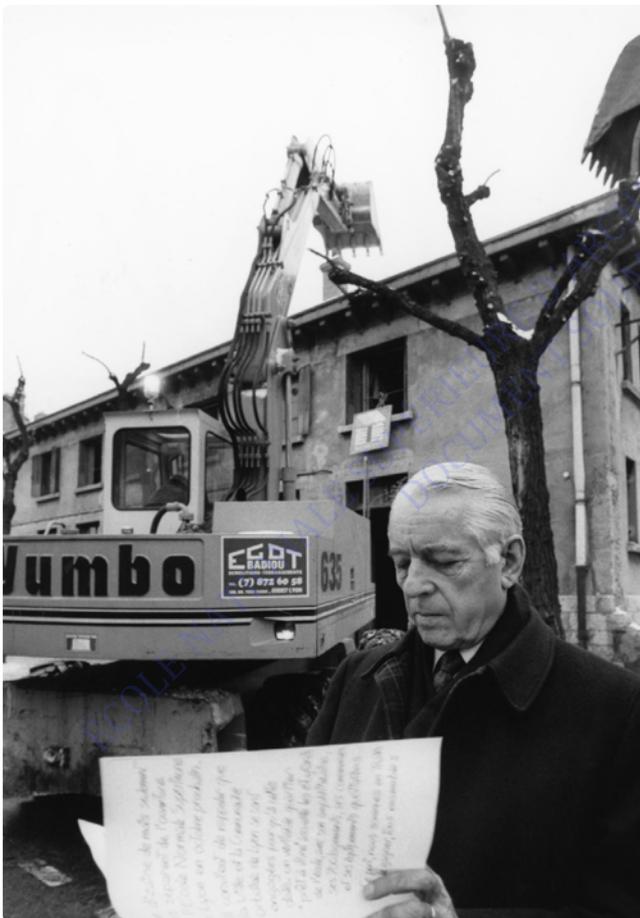


Figure 48 : Photographie d'une démolition en Rhône-Alpes. Inconnu. Gravillon, P. *L'ancienne poste Tony-Garnier sous le pic des démolisseurs*. (1987).

Cet accompagnement des maîtrises d'ouvrage a donné lieu à la naissance de nouveaux métiers spécialisés dans le réemploi et l'économie circulaire, notamment : l'assistance à la maîtrise d'ouvrage réemploi (AMO). Le rôle de l'assistant n'est pas légalement encadré mais est défini par une convention librement consentie par la maîtrise d'ouvrage. Il aide donc le commanditaire d'un projet à définir ses objectifs, organiser et piloter le projet. Il peut également faciliter le lien entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre. L'assistant peut soutenir la maîtrise d'ouvrage dès l'identification d'un foncier jusqu'à la livraison du projet. Il doit maîtriser une multitude de connaissances à la fois techniques et budgétaires mais aussi fonctionnelles et opérationnelles. La spécialisation de ce métier aux pratiques du réemploi et de l'économie circulaire incite un peu plus les maîtrises d'ouvrage à s'y intéresser et à les mettre à exécution dans leurs projets. Ces assistants donnent confiance aux maîtrises d'ouvrage qui ne se sont jamais essayées à introduire du réemploi dans un projet, ils les forment et les mettent en relation avec les acteurs de la filière.

C'est notamment le cas des bureaux d'études REMIX et R-use qui œuvrent au développement des pratiques de réemploi des matériaux de construction par l'accompagnement des maîtrises d'ouvrage. De plus en plus, les maîtrises d'ouvrage sont volontaires et souhaitent s'investir mais ne savent pas le faire. Morgan Moinet architecte co-fondateur de REMIX l'a observé :

*Même si le plus souvent c'est à nous d'aller chercher les commandes publiques, les maîtrises d'ouvrage expriment leurs besoins d'être accompagnées par des assistants qualifiés. Nous pourrions penser que nous avons besoin de les convaincre, mais paradoxalement ceux qui ont besoin d'un service comme le notre, sont déjà convaincus de la portée positive de l'économie circulaire mais ne savent pas le faire en autonomie. Ils ont envie de faire du réemploi mais ils ont des doutes, des questionnements et ont peur de s'engager. Ils savent que c'est bien mais ont besoin d'être aidés.*¹⁶³

Cette observation est suivie de près par celle du co-fondateur de R-use, Aymeric Meunier qui relate : « Il y a beaucoup de gens qui souhaitent s'investir et qui touchent à toutes les étapes d'un projet. Il y a beaucoup de bonne volonté. », même s'il déplore toujours la difficulté à convaincre l'ensemble des protagonistes d'un projet - « des freins psychologiques sont encore très présents¹⁶⁴ » - et que de nombreuses démonstrations coûteuses en temps et en énergie sont nécessaires pour prouver que c'est possible. Il préconise d'interpeller les industriels qui ont des marges de manœuvre très puissantes pour modifier à la source les matériaux valorisés :

161. <https://www.bazed.fr/maitres-douvrage-benefices> (consulté le 21 septembre 2021).

162. <https://www.democles.org/actualite/20-nouveaux-laureats-pour-lappel-a-projet-50-maitres-douvrage-exemplaires/> (consulté le 17 décembre 2021).

163. Entretien réalisé par l'auteure le 01 octobre 2021. Cf. annexes n°11, p.168.

164. Entretien réalisé par l'auteure le 10 mai 2021. Cf. annexes n°9, p.154.

*Qui doit payer cette innovation et cette expérimentation ? Quand on parle de prototypes, qui doit prendre les risques ? Est-ce que c'est l'industriel ? Si on a envie de faire un prototype de terrazzo avec de la tuile revalorisée, qui prend le risque ? Il y a un moment donné où le changement d'échelle est complexe entre l'expérimentation et l'échelle industrielle. Si tu veux favoriser le réemploi sur des projets importants avec des taux assez hauts, il peut être judicieux de solliciter directement l'industriel pour que la valeur ajoutée prenne vraiment une nouvelle dimension.*¹⁶⁵

L'importance de ces structures de conseil est majeure car elles permettent de structurer des filières à partir de matériaux disponibles en identifiant leurs débouchés et en coordonnant le réemploi.

C. IMPORTANCE DU RÔLE LOCAL DES ACTEURS DE TERRAIN

Les facteurs qui entravent les pratiques de revalorisation des matériaux de construction sont nombreux. La responsabilité des décideurs politiques est engagée à la fois pour légiférer les pratiques de valorisation, les encadrer et encourager à y avoir recours. Mais aussi pour attribuer des soutiens financiers et des subventions à tous ceux qui souhaitent s'engager. Cela passe également par des labellisations et l'organisation de concours ou d'appels d'offres publics tournés vers le réemploi afin de professionnaliser cette filière. Si les instances publiques se placent favorablement et encouragent ces pratiques de valorisation, elles doivent leur donner la possibilité de concurrencer le marché des matériaux neufs et les intégrer à l'ensemble des projets publics. La structuration des filières de la réutilisation, du réemploi et du recyclage se construit également à l'aide d'acteurs locaux, aux métiers très différents, qui s'activent à rendre viables et pérennes ces méthodes de valorisation. Ces pratiques, qui tendent à s'officialiser, font partie d'un mouvement en marche depuis une dizaine d'années en France et en Europe. Au départ expérimentales et à contre-courants, elles aspirent aujourd'hui à se généraliser avec les maîtrises d'ouvrage qui s'aventurent, de plus en plus, à les mettre en œuvre. Ces maîtrises d'ouvrage ne sont qu'un maillon de la grande chaîne des métiers qui ont le pouvoir de modifier notre logique constructive linéaire :

Au-delà de toutes ces phases préliminaires de repérage des matériaux de construction, le processus de conception est également bouleversé. En effet, après des études préliminaires du projet, il s'agit de le faire évoluer en fonction des

*matériaux réemployables en passant nécessairement par des prototypages de mise en œuvre et des expertises de systèmes constructifs. La pratique de l'architecte doit alors s'adapter à cette nouvelle méthode qui peut paraître plus contraignante. En fait, c'est essentiellement un changement d'habitudes pour une pratique qui ne repose plus sur des catalogues et des approvisionnements constants.*¹⁶⁶

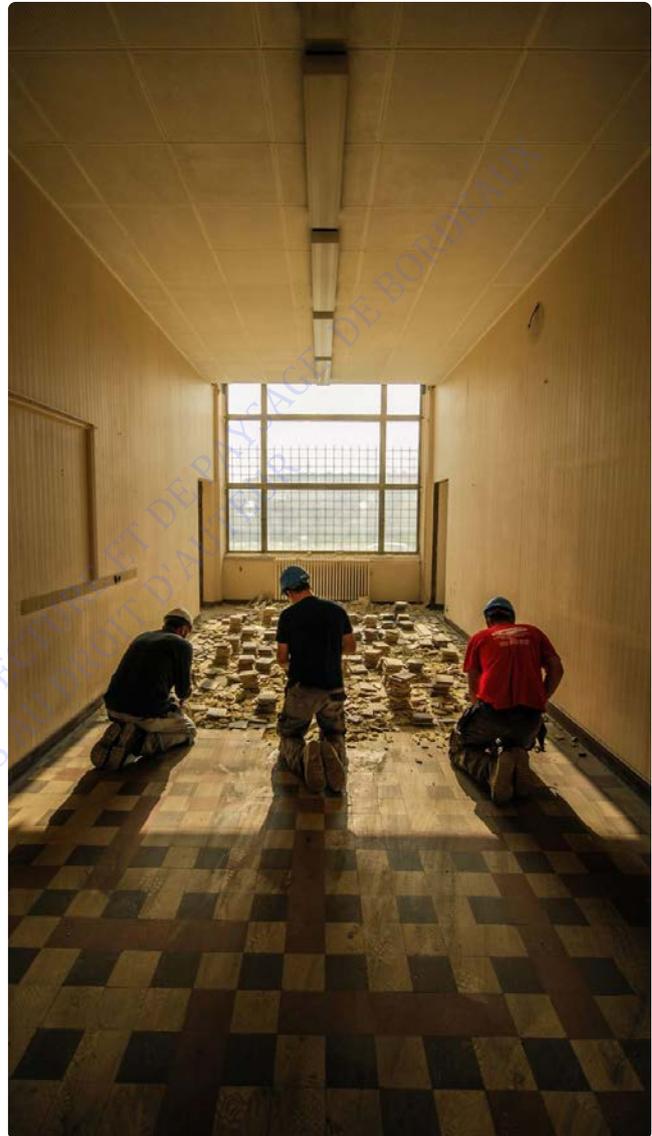


Figure 49 : Déconstructeurs en train de déposer des carreaux de carrelage.
<https://www.cycle-up.fr/>.

Tout d'abord, les pratiques de valorisation sont créatrices d'emplois. Selon l'Observatoire régional des déchets d'Île-de-France, en fonction de la méthode de valorisation de 10 000 tonnes de déchets¹⁶⁷, un nombre différent d'emplois est nécessaire : 1 emploi pour les incinérer, 3 emplois pour les enfouir, 31 emplois pour les recycler et 850 emplois pour les réemployer¹⁶⁸. Il est nécessaire de préciser qu'en plein contexte capitaliste

165. *ibid.*

166. *ibid.*

167. Nature des déchets non précisée.

168. <https://www.laressourcieriedelile.com/blog/le-saviez-vous-le-reemploi-peut-creer-de-l-emploi> (consulté le 14 mars 2022).

favorisant la délocalisation de la main d'œuvre, ces emplois ne peuvent l'être puisqu'ils dépendent des gisements locaux de matériaux et de matières et qu'il n'y aurait aucun sens à faire traverser les frontières à une tonne de déchet pour être valorisée à moindre coût ailleurs. Plus les filières de valorisation des matériaux de construction seront ordonnées, plus l'accès à ces pratiques sera facilité. Cette mine d'emplois qui se développe petit à petit permet également de concurrencer l'utilisation des matériaux de construction neufs, par exemple pour la valorisation de 10 000 briques par jour, le réemploi crée 228 emplois alors que leur usinage n'en nécessiterait que 13¹⁶⁹. Chaque étape de la valorisation nécessite la création de postes, cela va du nettoyage jusqu'à la mise en palettes de la brique en vue de son réemploi. Nul doute que ces métiers vont peu à peu s'intégrer au marché existant et en modifier le fonctionnement d'une manière durable. Il est certain que le développement d'emplois locaux même peu qualifiés permet une dynamique économique de la chaîne entière :

*Une réalisation en réemploi porte en elle-même deux aspects. Très souvent, il s'agit d'un bricolage solitaire ou individuel : dans son coin, on fait, à partir de ce que l'on a à sa disposition, lentement et sans contingence productiviste mais avec le souci du détail. Le second aspect, dans la phase actuelle toujours pré-rationnelle mais consciente, c'est la participation au bien commun : dans un souci de l'avenir, on milite pour la réduction des déchets.*¹⁷⁰

Au-delà des démolisseurs, des architectes, des fournisseurs ou producteurs de matériaux qui voient leurs métiers évoluer, les pratiques de valorisation en font naître d'autres très spécialisés, comme les diagnostiqueurs, les valoristes, les magasiniers, les collecteurs, les trieurs, etc. Autant de métiers qui se développent depuis peu et pour lesquels des formations existent. Le diagnostiqueur est celui qui définit le potentiel de ressources d'un édifice par le biais d'évaluations caractéristiques et quantitatives. Il aide le maître d'ouvrage à définir des taux de valorisation des matériaux en place et le guide vers la déconstruction autant que possible. Le valoriste, lui, étudie les possibilités de valorisation une fois les matériaux déposés et acheminés en centres de tri. Il propose au maître d'ouvrage différentes secondes vies pour ses matériaux et différentes manières de les réintroduire dans son projet. Il traite également les déchets arrivés en centres de tri et les dirige vers des filières vertueuses en essayant de les détourner des centres d'enfouissement et de stockage. De nombreuses associations comme Emmaüs ou La Ressourcerie participent à la structuration de ces nouveaux métiers en proposant des contrats à des personnes sans emploi, peu qualifiées ou rencontrant des difficultés, ce qui facilite leur insertion sociale et professionnelle.

Avec le réemploi et la réutilisation, les métiers de l'artisanat sont également valorisés et certains savoir-faire redécouverts. Les artisans réparent et transforment des outils ou matériaux voués à la benne. De nombreux métiers du bois requalifient des matériaux de construction en vue de leur réutilisation, comme les ébénistes ou les charpentiers. Le réseau des Chambres de Métiers et de l'Artisanat de Nouvelle-Aquitaine avec le soutien de l'ADEME et du Conseil Régional Nouvelle-Aquitaine a notamment lancé une marque nommée Répar'acteurs afin de constituer un réseau d'artisans engagés dans les actions de réparation et l'économie circulaire.

Afin de développer le fonctionnement en réseaux des systèmes de valorisation, le maillage territorial est très important. Cela permet d'avoir facilement accès aux gisements de matériaux et d'engager les acteurs locaux à les valoriser. Ces réseaux activent chaque étape de la boucle, de celui qui va récupérer le matériau jusqu'à celui qui va le réutiliser. Le transport, qui est l'une des étapes qui dépense le plus d'énergie, doit être optimisé. Développer le maillage des points de reprise des matériaux permet d'offrir des solutions de proximité à ceux qui génèrent des déchets mais aussi de renforcer la traçabilité des matériaux à valoriser ou des déchets. Plus le transport sera long et plus l'impact carbone sera important. Autant de points positifs favorisant une chaîne de proximité. La collecte des matériaux ou des déchets est la première étape qui permet de les retirer de leurs anciens gisements afin de rejoindre des circuits de valorisation, elle est donc primordiale.

La collecte se fait dans un cercle restreint par des entreprises privées spécialisées qui viennent sur les chantiers récupérer les matériaux ou par remise volontaire lorsque ce sont les particuliers, les artisans ou les entrepreneurs qui déposent leurs éléments en déchetteries publiques (4 600 sur le territoire français dont 3 500 acceptant les professionnels). Les centres de tri sont également des lieux de dépose des déchets issus des chantiers qui peuvent pour certains en valoriser une partie. Sur le territoire français, ce sont 560 plateformes de regroupement et de tri des déchets non dangereux du BTP, dont quelques dizaines sont automatisées afin d'effectuer un tri plus précis et donc une meilleure valorisation. Concernant les déchets inertes, ce sont 1 500 installations sur le territoire qui les regroupent, les trient et les recyclent¹⁷¹. Du fait de sa trop grande superficie qui obligerait des transports trop polluants, la France ne peut structurer la filière du réemploi à l'échelle nationale. Le maillage doit donc être régional. Mais certaines régions sont encore en déficit d'installations et de plateformes. C'est le cas notamment de l'Île-de-France qui a du mal à ajuster son nombre de points de collecte en fonction de la quantité de chantiers, de déchets générés et d'entreprises engagées.

169. Bellastock. (2016). *Architecture et réemploi, nouveau territoire d'économie circulaire*. p.21.

170. Choppin, J., Delon, N., & Heuroux, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.159.

171. ADEME. (2021). *Etude de préfiguration de la filière REP Produits et Matériaux de construction du secteur du Bâtiment*. p.12.

Il faut dire que ce type d'installation doit avoir une superficie conséquente et génère quelques désagréments de voisinage, ce qui ne facilite pas leur situation au cœur des villes. Certaines régions comme le Centre-Val-de-Loire ou la Bourgogne-Franche-Comté comptent moins de 12 déchetteries professionnelles sur leur territoire¹⁷², ce qui est peu efficace. Loïc Berthou-Guyader, responsable développement de Lafarge Aggneo en Bretagne et Pays de la Loire souligne que le maillage territorial doit être étudié suivant chaque région et rééquilibré en conséquence :

*Pour être valorisé, on est toujours des boucles d'économie circulaires qui doivent être extrêmement courtes. On travaille sur des matériaux pondéreux qu'il serait trop coûteux de transporter sur plus de 30 km.*¹⁷³

D'autres activités de la boucle de valorisation doivent nécessairement être réparties avec homogénéité sur les territoires régionaux ou départementaux. C'est le cas des ressourceries et des plateformes de revente de matériaux (cf. figure 51, p.82). Une partie se fait maintenant sur internet via des plateformes de marketplace comme Backacia ou Cycle Up qui proposent l'achat et la vente de composants de réemploi. Ces plateformes facilitent également la mise en réseau des acteurs de terrain. Même s'il est facile depuis ces plateformes d'avoir accès à des matériaux en provenance d'autres régions françaises, cela serait contre-productif de faire voyager les matériaux. Elles s'appliquent donc à trouver des repreneurs locaux qui peuvent venir chercher les produits directement sur les chantiers ou les zones de stockage dédiées. Les ressourceries implantées sur le territoire sont, quant à elles, réunies en Réseau National des Ressourceries et Recycleries. Elles permettent d'agir pour l'environnement et de sensibiliser le grand public, de développer une économie solidaire et locale et de coopérer en transparence¹⁷⁴. Elles prennent en charge les déchets et produits du grand public et ceux du secteur du bâtiment. Des enseignes de vente en direct sont également établies sur le territoire français. D'autres revendeurs professionnels spécialisés en matériaux de construction de réemploi sont présents sur le marché, sous forme d'associations ou d'acteurs privés. Afin d'amortir les coûts de déconstruction et de nettoyage, ils peuvent en fonction de la demande se concentrer sur des matériaux à forte valeur ajoutée comme le granit ou le marbre. Le site internet <http://materiauxreemploi.com> permet via une cartographie de les recenser sur le territoire français afin que ceux qui veulent acheter s'orientent vers des structures à proximité. Ces initiatives restent assez peu développées en France - même si cela tend à s'améliorer - tandis qu'en Belgique avec l'implication de l'agence Rotor, via le développement de Rotor Deconstruction

et de la plateforme internet Opalis (annuaire, documentation technique, revente, recensement des réalisations), ces initiatives visent à ce qu'il soit aussi simple de se procurer des matériaux de seconde main que des matériaux neufs, et ce, pour les particuliers comme les professionnels du bâtiment :

*Afin de faciliter l'accès à ces gisements de matières premières secondaires de proximité, se sont mis en place des réseaux de revendeurs de matériaux de réemploi. Toujours dans un périmètre local, ces acteurs se constituent en intermédiaires entre les chantiers et les constructeurs, permettant ainsi la gestion de la collecte et du stockage de ces matériaux pour les valoriser et offrir un plus grand choix pour la construction.*¹⁷⁵

Le développement de ces filières tient aussi dans leurs cohérences économiques. Ce volet a toute son importance dans la structuration des filières de valorisation. Selon Fanny Vidal, l'aspect écologique lié au réemploi n'est pas la première motivation des clients. Souvent, ceux qui souhaitent s'investir à la mise en place d'éléments réemployés sont intéressés par leur qualité, leur rareté et leur esthétisme qui parfois concurrencent celles des matériaux neufs¹⁷⁶. Néanmoins, la mise en place d'éléments réemployés nécessite une certaine main d'œuvre quant à la déconstruction, au transport, au nettoyage et au conditionnement. L'accumulation de ces postes peut s'avérer coûteuse et modère l'avantage économique à l'instant « T » du projet de réemploi. Cette limite peut freiner les maîtrises d'ouvrage à s'orienter vers des matériaux issus de cette filière. Mais ces acteurs ont tendance à défendre une économie globale face à une économie instantanée. La chaîne créée par la mise en place du réemploi est finalement plus valorisante que celle des matériaux neufs (empreinte carbone diminuée, coûts de transport et de traitement des déchets amputés, création d'emplois, etc.). Afin que la pratique du réemploi soit rentable pour tous, celle-ci doit avoir une logique structurée et optimisée. Même si l'offre doit répondre directement à la demande, chaque logique tient en l'unicité du projet concerné et l'adaptabilité est l'atout majeur. C'est en cela, que les architectes ont leurs responsabilités et que les acteurs du réemploi sont stimulés.

172. *ibid.* p.11.

173. Entretien réalisé par l'auteure le 20 octobre 2021. Cf. annexes n°13, p.178.

174. <https://ressourceries.info> (consulté le 14 avril 2021).

175. Chiron, F. (2017). *Le réemploi dans la construction, une perspective pour une architecture soucieuse de l'environnement* (Mémoire de master en architecture, Nantes).

176. Vidal, F. (2014). *Le réemploi des matériaux de construction en France : l'enseignement des groupes Rotor et Superuse-Studio* (Mémoire de master en architecture, Toulouse).

FIG 51. WALCOT RECLAMATION, ENTREPRISE DE RÉCUPÉRATION DE MATÉRIAUX, ROYAUME-UNIS, 1970. INCONNU



PARTIE III



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

LA RÉVERSIBILITÉ DE LA MATIÈRE OU COMMENT TRANSFORMER LES GRAVATS POUR CONCEVOIR DE NOUVELLES MATÉRIALITÉS QUALITATIVES

Quand vous pensez à la brique, vous lui demandez : "Que veux-tu brique ?" Et la brique répond : "J'aime l'arc." Et si tu dis à la brique : "Écoute, les arches sont chères, et je peux utiliser un linteau en béton sur une baie. Que penses-tu de cela, brique ?" Et la brique dit : "J'aime l'arc." Et c'est important, voyez-vous, que vous honoriez le matériau que vous utilisez [...] Vous ne pouvez le faire que si vous honorez la brique et que vous la glorifiez plutôt que ne pas lui rendre ce qui lui est dû.

Louis I. Khan (1985). *Even a brick wants to be something, Between silence and light*. Shambhala. p.40.

FIG 52. GRAVATS EN MÉLANGE, 2021. ELOÏSE VAN STEENKISTE



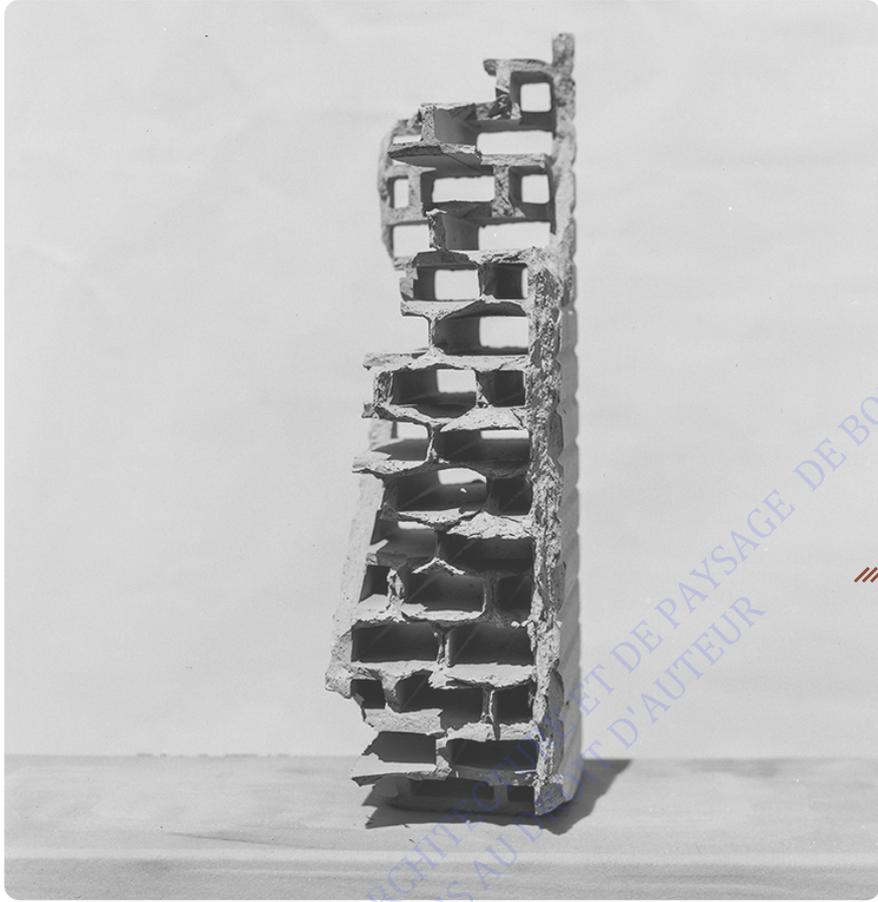
Les deux pratiques vertueuses du traitement des déchets que sont la réutilisation et le réemploi mènent aux constats suivants : il semble impossible aujourd'hui de réintroduire des éléments déconstruits dans les filières de la réutilisation et du réemploi pour la construction d'éléments structurels. A l'exemple de la brique, de la pierre ou du parpaing, ces éléments, même s'ils sont valorisés, ne pourront redevenir structurels. Le second constat que nous pouvons tirer de ces deux premiers chapitres concerne la difficulté à endiguer le phénomène destructif de la démolition. A l'horizon 2050, nous serons 9,8 milliards d'humains sur la planète, cela va donc mener à l'indéniable nécessité de construire et de démolir dans un contexte où les villes seront déjà surpeuplées. Mais nous savons que tout changement prend du temps. Faire évoluer un secteur comme celui de la construction demande une énergie sans précédent et une temporalité certainement plus étendue que ce que nous souhaiterions, mais qui est pourtant nécessaire à la structuration de cette incontournable évolution.

Le troisième chapitre de ce mémoire permet de sortir du cadre analytique et transversal des sujets abordés précédemment pour se concentrer exclusivement sur la thématique du recyclage des gravats (cf. figure 52, p.86). Il vise à proposer, en réaction aux trois constats précédents, différentes intentions et possibilités. Une longue période de remaniement est inévitable avant que le réemploi des matériaux de construction supplante la création de déchets. Que pouvons-nous faire d'ici là ? Si nous savons qu'il existe des alternatives à la démolition, celle-ci restera néanmoins une technique toujours utilisée. Aussi, quels moyens mettre en place pour la rendre plus vertueuse vis-à-vis des déchets produits ? L'une des solutions passe par le recyclage de ces déchets inertes.

Ce troisième chapitre revient donc sur la surproduction des déchets inertes que sont les gravats et sur un des modes de traitement possible, le recyclage - rapidement évoqué. Nous savons qu'en fonction du type de déchet, le recyclage est privilégié. Mais celui-ci nécessite un changement d'état de la matière par l'implication d'énergies et d'activités annexes. Il est donc considéré dans la hiérarchie de traitements des déchets comme le dernier mode de valorisation vertueux et possible après la réutilisation et le réemploi. Mais dans un contexte où nous pouvons désormais comprendre la ville comme une carrière à ciel ouvert permettant son renouvellement, que faire de ces gravats que nous produisons afin qu'ils rejoignent à nouveau les techniques de construction ? Tels quels, ils ne servent principalement qu'aux techniques de sous-couches routières et au remblaiement de carrières. Ne serait-il pas intéressant de pratiquer une boucle quasiment *in situ* de la réversibilité de la matière - et de l'architecture ? Pouvons-nous inventer de nouvelles matérialités structurelles à partir de ce que nous possédons déjà ? Sommes-nous cantonnés à ne pouvoir

utiliser que des matériaux de construction neufs et usinés pour construire les ossatures architecturales et urbaines ?

Pour élaborer ce troisième chapitre, j'ai cherché à apporter des réponses concrètes et vécues aux problématiques que je soulève. Pour cela, j'ai effectué quelques expérimentations personnelles qui restent limitées à mes observations mais qui peuvent être, dans une logique de temps long, confrontées techniquement dans des laboratoires de matériaux. Je me suis appuyée, pour l'élaboration de ce troisième chapitre, sur plusieurs cas d'étude qui retranscrivent sur le terrain certains procédés professionnels et réglementés afin d'apporter des éléments de réponse. Il me reste à m'impliquer dans des projets professionnels ou de recherche spécifiques, afin de sortir de ce cadre analytique et de prendre part aux projets sur le terrain.



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

01. TRAITEMENTS OPÉRATIONNELS DES GRAVATS

Aujourd'hui, les gravats représentent la majeure partie des déchets produits par le secteur du bâtiment. Ces déblais, sont la résultante de la destruction que l'Humain inflige à ce qu'il a construit précédemment. La matière est utilisée pour ce qu'elle est formellement, puis détruite. De matériaux à gravats, il n'y a qu'un pas : celui de la démolition. Il n'en faut pas plus à l'Homme pour générer une quantité très importante de gravats dont la valorisation principale se limite pour l'instant aux ouvrages de voiries publiques. Peut être que les gravats nous réservent d'autres possibilités, moins formelles, qui invitent à leur réinterprétation.

A. DÉFINITIONS DES MODES DE VALORISATION

Aujourd'hui, ce sont 33 millions de tonnes de déchets inertes¹⁷⁷ qui sont évacuées chaque année des chantiers de construction et de démolition du secteur du bâtiment. La majeure partie de ces déchets sont de nature minérale. Actuellement, environ 75 % de ces déchets inertes sont valorisés. Ils rejoignent trois filières vertueuses et assez structurées : le réemploi *in situ* ou sur d'autres chantiers comme éléments de remblais ou de terrassement¹⁷⁸, la fabrication de granulats par recyclage¹⁷⁹ pour les sous couches routières et la valorisation en remblaiement de carrières. Ces modes de valorisation sont en partie légiférés par le code de l'environnement (Prévention et gestion des déchets, articles L541-1 à L541-50)¹⁸⁰. Le reste de ces déchets inertes non valorisables est stocké définitivement dans des installations prévues à cet effet tandis qu'une faible partie rejoint une filière de recyclage pour un retour dans la construction de bâtiments sous formes de matériaux :

Les enjeux forts pour améliorer ces filières de traitement sont : le tri à la source des déchets pour les orienter vers la filière la plus adaptée. Depuis le 1er mars 2012, les maîtres d'ouvrages ont pour obligation de réaliser un diagnostic portant sur les déchets issus des travaux de démolition, pour les bâtiments ayant une surface de plancher supérieure à 1000 m² ou ayant hébergé une ou plusieurs substances dangereuses ; le développement du maillage territorial des installations de collecte, de tri et de préparation au plus près des chantiers générateurs de déchets et de ceux susceptibles de les valoriser.¹⁸¹

Les professionnels du bâtiment ont l'obligation de s'assurer de l'évacuation des gravats du chantier et de leur traitement. L'évacuation se fait par camions bennes par des entreprises spécialisées qui les acheminent en déchetteries puis sur des centres de tri. L'étape du tri est relativement importante puisque c'est elle qui va permettre le taux de valorisation le plus élevé. Plus les déchets inertes seront triés finement, plus leur

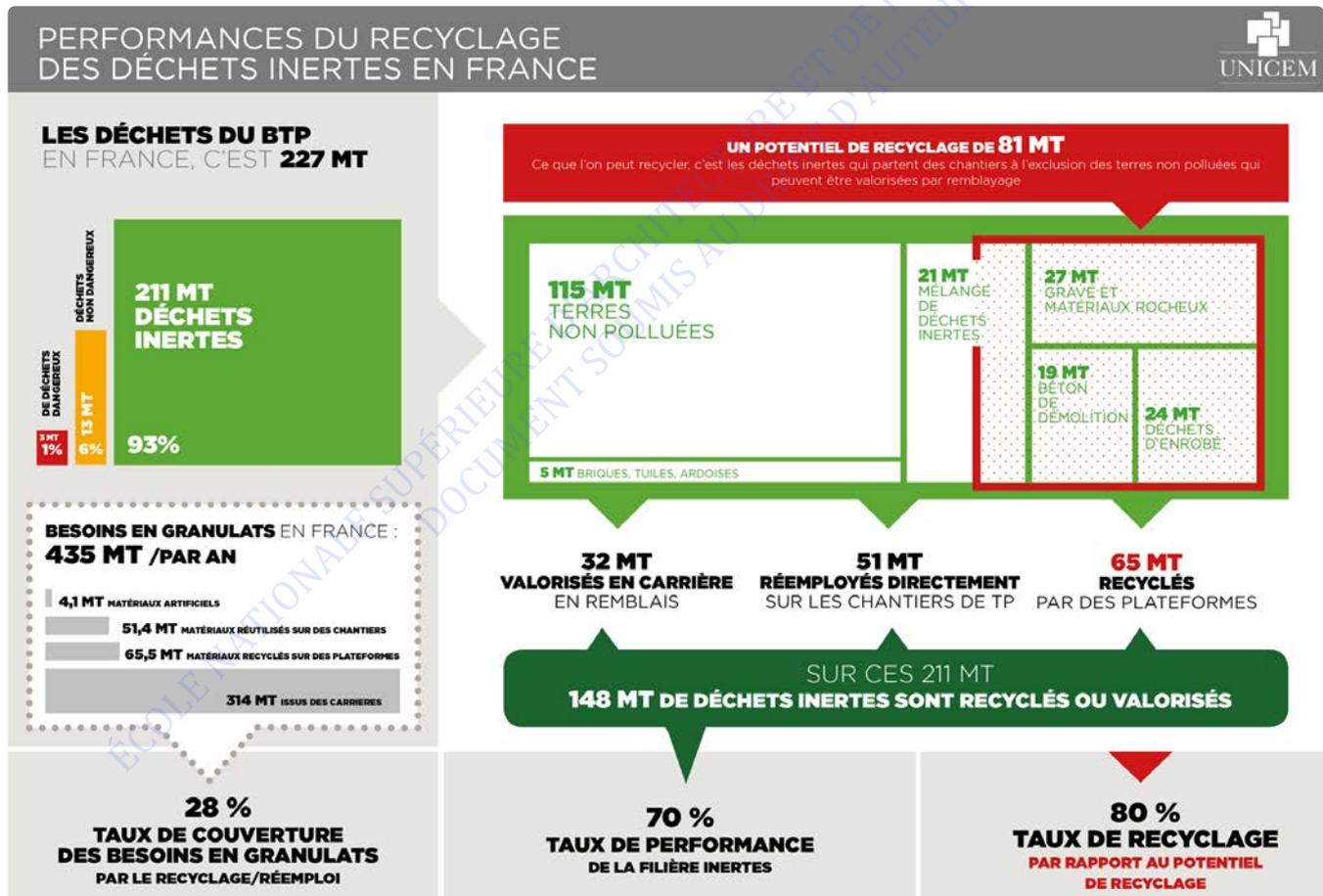


Figure 54 : Performances du recyclage des déchets inertes en France. Enquête annuelle. (2017). UNICEM.

177. Ce chiffre est relatif au secteur du bâtiment et non à celui des travaux publics.

178. Si cette méthode de valorisation est choisie, les gravats produits par la démolition précédant la construction ne sont pas considérés comme déchets. Ils sont valorisés directement sans être traités en déchet et sans passer par les traitements qui vont avec. Nous pouvons donc parler de réemploi.

179. Bien que la matière ne subisse pas de modification intrinsèque, cette méthode de valorisation est appelée recyclage.

180. <https://www.legifrance.gouv.fr/codes> (consulté le 14 mars 2022).

181. <https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment-et-des-travaux-publics> (consulté le 09 mai 2022).

valorisation sera possible. Il en va à la fois de la responsabilité des maîtrises d'ouvrage qui doivent piloter le tri sur chantier, mais aussi des collectivités locales et territoriales et des entreprises qui doivent favoriser l'implantation de sites de tri. Or, la majeure partie des déchets inertes est envoyée sur les centres de tri en tant que mélange car peu de tri est effectué directement sur les chantiers (seulement 10 % le sont d'après l'Institut français de l'environnement). Les centres de tri absorbent la majeure partie de l'activité de tri ce qui leur demande plus d'activité et d'énergie. Le tri commence par la séparation grossière des éléments pour éliminer certains métaux comme des éléments de ferrailage des bétons (avec des électro-aimants) et des plastiques (par souffleurs d'air) qui peuvent se retrouver mélangés aux inertes. Une fois le tri effectué, les déchets sous forme de gravats sont isolés pour être valorisés. L'autre partie des déchets non valorisables sera envoyée en Installations de Stockages pour une Durée Indéterminée (ISDI). Ensuite, les gravats font l'objet d'étapes préliminaires de valorisation : concassage, criblage et tri sur une trémie pour séparer les éléments encore trop volumineux qui repassent en concassage. Ils sont ensuite séparés par nature afin de rejoindre les filières de valorisation qui leur correspondent le mieux.

Le maillage territorial de ces installations de tri et de stockage est un enjeu majeur pour augmenter durablement le taux de valorisation des déchets inertes. Sur le territoire français, ce sont 1 500 installations de regroupement et tri des déchets inertes, 900 carrières qui les acceptent en réaménagement

et remblaiement et 600 installations de stockages (ISDI) qui peuvent trier et recycler les inertes en amont¹⁸². L'ADEME en collaboration avec les Cellules Économiques Régionales de la Construction préconisent le maillage optimal d'une installation recevant les inertes par rayon de 10 kilomètres. Ils évaluent donc le besoin à 2 025 sites sur l'ensemble du territoire et concluent que le nombre actuel d'installations est suffisant mais que leur répartition sur le territoire est encore trop fragmenté. Ils préconisent une meilleure répartition, notamment aux alentours des bassins de construction comme les métropoles et les grandes villes¹⁸³. Le coût du transport associé à ces étapes de tri et de valorisation est un autre enjeu permettant d'augmenter le taux de valorisation des inertes. Pour que les gravats valorisés soient compétitifs avec les granulats neufs utilisés en remblais ou en construction, il est nécessaire que les installations de tri et de valorisation soient relativement proches des chantiers de production des déchets inertes et de ceux qui vont consommer les gravats valorisés par la suite. La valorisation des gravats tient d'une logique de proximité concernant les facteurs économiques et environnementaux. La Fédération Française du Bâtiment propose une carte interactive¹⁸⁴ qui recense toutes les installations de regroupement, de tri et de stockage de l'ensemble des déchets du bâtiment afin que les entreprises s'orientent vers les installations les plus proches.

Le traitement des déchets inertes peut également se faire via des groupes mobiles de concassage-criblage. Ce n'est plus la matière qui se déplace jusqu'à l'installation de traitement

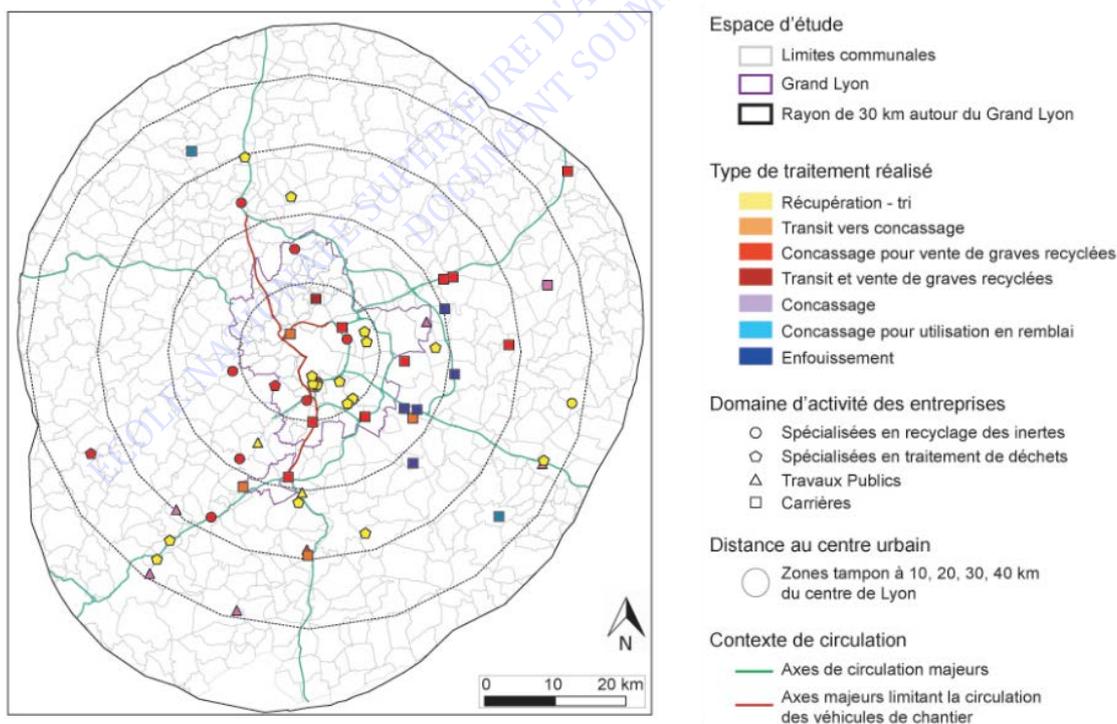


Figure 55 : Installations de traitement des déchets inertes de démolition de l'agglomération lyonnaise. (2013). Mongeard, L.

182. ADEME. (2021). Etude de préfiguration de la filière REP Produits et Matériaux de construction du secteur du Bâtiment. p.13.

183. *ibid.*

184. <https://www.dechets-chantier.ffbatiment.fr/> (consulté le 28 décembre 2021).

mais c'est l'installation de traitement qui se déplace jusqu'au gisement. Ces unités peuvent être gérées par des démolisseurs, des entreprises de travaux publics, des transporteurs ou encore des artisans. L'investissement dans ce genre d'outils n'est pas très conséquent et de nombreuses entreprises commencent à en acquérir. Cela permet de diminuer l'empreinte carbone des trajets routiers ou fluviaux liés aux transports des déchets.

La réutilisation des déchets inertes comme éléments de remblais de carrières est une voie de valorisation de plus en plus encouragée et développée. Juridiquement cette pratique de remblaiement est encadrée par l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif à l'exploitation des carrières, qui stipule que le remblayage « doit être géré de manière à assurer la stabilité physique des terrains remblayés, et ne doit pas nuire à la qualité du sol ainsi qu'à la qualité et au bon écoulement des eaux ». Il définit également que l'exploitation de la carrière doit « tenir à jour un plan topographique permettant de localiser les zones de remblais¹⁸⁵ ». L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques a également constitué un guide¹⁸⁶ qui suggère les bonnes pratiques à suivre afin de réintroduire les inertes dans les carrières et diminuer les risques liés à cette pratique. Ce guide, qui s'appuie sur les réglementations en vigueur, se destine essentiellement à la gestion des carrières à ciel ouvert. L'essentiel des opérations de remblayage se fait lors de la remise en état et de la sécurisation d'une carrière après l'impact de son exploitation afin de recréer un environnement favorable à l'évolution de la biodiversité - faune et flore. Ces opérations consistent à stabiliser certaines zones par l'ajout de matière.

Afin que le remblayage soit le plus optimisé et sécurisé possible, plusieurs prérequis sont nécessaires. Seuls les inertes déjà triés peuvent rejoindre les carrières et ils ne doivent présenter aucun risque pour l'environnement. La nature des matériaux doit être contrôlée avant l'opération de remblais. L'exploitant de la carrière doit fournir une étude géotechnique et les plans d'exploitation. L'autorisation de remblaiement est déterminée par arrêté préfectoral et chaque zone de remblai doit être

localisée sur une carte. Les techniques de remblais doivent être adaptées aux différentes zones concernées et sont liées à la géographie du site : fosse, gradin, banquette, etc. Les gravats inertes acheminés sur site sont d'abord poussés dans la fosse (opération de gerbage), pour être ensuite tassés (opération de compactage). Une fois la côte maximum atteinte, le terrain est aplani pour lui donner une surface régulière (opération qui consiste à régaler un terrain). Ensuite l'ensemble peut être végétalisé. Une fois l'opération finie, l'écoulement des eaux doit être contrôlé. La stabilité du remblai doit être analysée à court et long terme, même une fois que la végétation y est présente (celle-ci va participer, par son système racinaire, à stabiliser le remblai).

La valorisation des déchets inertes vers le secteur des travaux publics pour les techniques routières est une pratique courante et très structurée. Loïc Berthou-Guyader, responsable développement de Lafarge Aggneo en Bretagne et Pays de la Loire le précise ainsi :

On a déjà démontré en France qu'on savait parfaitement valoriser l'ensemble des gravats en sous-couches routières. L'ensemble des granulats de sous-couches routières proviennent d'éléments recyclés. Il y a énormément d'acteurs de proximité qui participent à cela et Lafarge également. L'efficacité de la revalorisation est extrêmement forte sur le marché français car beaucoup de gens s'y sont mis. Les artisans terrassiers par exemple valorisent de la sorte la plupart des déchets qu'ils génèrent. Les métiers du bâtiment au sens large valorisent cette ressource.¹⁸⁷

Le Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) a notamment publié des guides régionaux de valorisation des matériaux alternatifs en technique routière visant à favoriser le recyclage des inertes en indiquant dans quelles conditions ils peuvent l'être. Les gravats issus des démolitions et constructions du secteur du bâtiment rejoignent en partie, pour être valorisés,

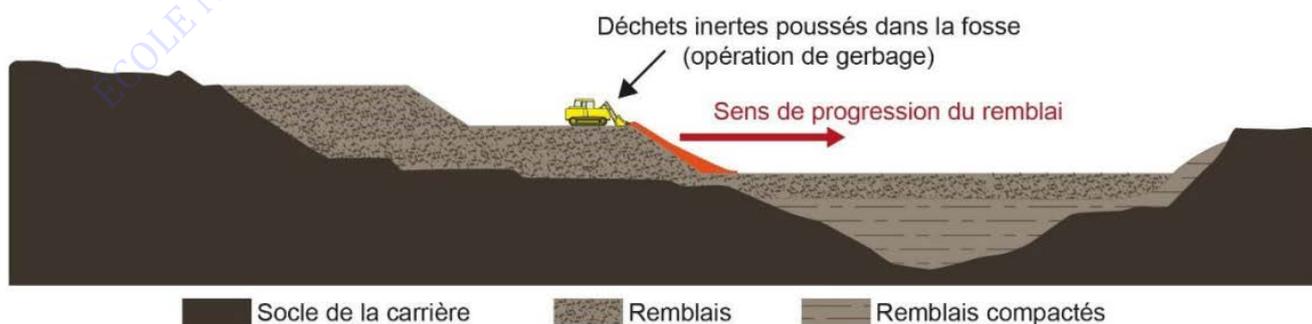


Figure 56 : Opérations de gerbage et compactage des remblais. CEREMA.

185. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000347845/> (consulté le 17 janvier 2022).

186. Consultable ici : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris-201162-2342192_Guide%20Remblayage%20v1.pdf.

187. Entretien réalisé par l'auteure le 20 octobre 2021. Cf. annexes n°13, p.178.

COUPE TYPE DE CHAUSSÉE

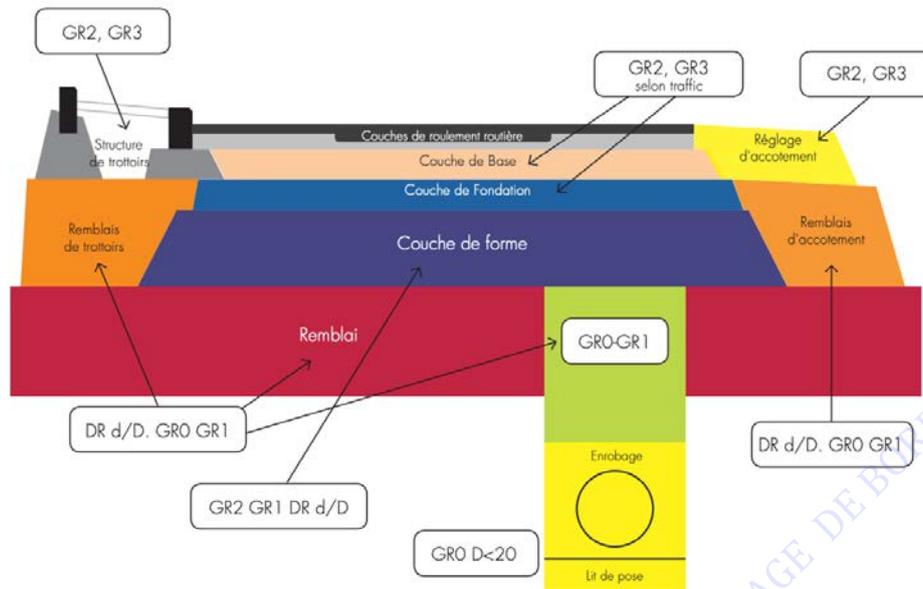


Figure 57 : Classification des gravats recyclés suivant leur recyclage en sous-couches routières. Plusieurs possibilités pour le remblai et les couches routières. CEREMA.

le secteur des travaux publics. L'entreprise Novabuild en collaboration avec l'ADEME, la Fédération des Travaux Publics et la région Pays de la Loire a pris l'initiative de réunir une multitude de professionnels autour des pratiques de recyclage à destination des techniques routières afin d'élaborer un guide¹⁸⁸ sur l'utilisation en techniques routières des gravats recyclés. La singularité de la région Pays de la Loire tient dans l'importante quantité de gisements de graves naturelles qui n'a pas favorisé le développement de la filière de recyclage. Le but de ce guide est d'accompagner les maîtrises d'ouvrage et les entreprises régionales à favoriser ce mode de valorisation, en présentant à la fois les cadres et réglementations en place, les règles techniques existantes et les spécificités de cette méthode de recyclage. Les déchets inertes qui intègrent cette filière peuvent également provenir des travaux publics, notamment des déconstructions de routes :

Une certaine pratique du réemploi est déjà généralisée dans les travaux de voirie pour les remblais notamment. Cette flexibilité est permise par l'emploi de grandes quantités de matières inertes et nettement moins contrainte techniquement. Ainsi des portes sont ouvertes qui permettent d'utiliser ces matériaux issus de la démolition, ou même des excavations « préconstruction » qui se rapprochent souvent plus de « l'enfouissement utile » que d'une réelle préoccupation face aux questionnements environnementaux ou sociaux fréquemment évoqués.¹⁸⁹

Certaines procédures d'acceptation des gravats sont mis en place avant tout recyclage. Ils ne doivent pas contenir d'amiante, ni de goudron et ne doivent pas provenir de sites contaminés. Ils doivent avoir été trié préalablement. Sont acceptés les gravats de béton, briques non réfractaires, tuiles et céramiques, graves et granulats, pavés et pierres. Les gravats sont ensuite triés suivant l'utilité qu'ils pourront avoir dans les différentes couches routières (remblai, couche de forme, couche de fondation, couche drainante, voirie douce et couche de chaussée). Leur mise en oeuvre dépendra également du type de voie et du type de sol sur lequel sera construite la future voie. Les informations sur les différents gravats utilisés et sur leur situation géographique sont réunies et serviront au suivi de l'ouvrage.

Le recyclage des gravats à destination des techniques routières est une pratique relativement structurée et s'applique très bien à l'ensemble des constructions routières. De nombreux guides et méthodologies ont été créés pour guider ceux qui souhaitent mettre en place cette méthode de valorisation. Cela se fait de manière très locale et centralisée, « les prix des graves à destination des techniques routières sont tellement faibles que ça ne laisse pas de place à un grand transport¹⁹⁰ » souligne Loïc Berthou-Guyader. Cette méthode ne crée aucun déchet ou surplus annexe lors de la création de voies et semble devenir très intéressante pour les industriels qui s'y investissent de plus en plus (Loïc Berthou-Guyader, Lafarge Aggneo). Cette pratique oriente néanmoins les gravats vers un usage déclassé.

188. Consultable ici : https://www.idrim.com/ressources/publications/1/7347-NOVABUILD_Manuel_graves_recyclees-2.pdf.

189. Chiron, F. Le réemploi dans la construction, une perspective pour une architecture soucieuse de l'environnement, Mémoire de master en architecture, sous la direction de Bettina HORSCH, Université de Nantes.

190. Entretien réalisé par l'auteure le 20 octobre 2021. Cf. annexes n°13, p.178.

B. TRANSFORMATION PAR LE RECYCLAGE

Dans la hiérarchie de traitement des déchets fixée par l'article L. 541-1 du code de l'environnement, le recyclage est un procédé de traitement pour les déchets qui ne peuvent être orientés vers les filières de réutilisation ou de réemploi et qui les détournent du recours à l'incinération ou à l'enfouissement. Le processus du recyclage se différencie de la réutilisation et du réemploi dans le sens où il provoque sur la matière un changement d'état, une transformation. Ce procédé appliqué à la matière d'autres composants et d'autres substances pour en créer une nouvelle. Le produit initial est façonné afin d'en devenir un autre, il entre donc, par ce biais, dans un second cycle de matière. Les déchets sont retraités en substances, matières ou produits destinés à leurs fonctions initiales ou à d'autres fins.

Le recyclage est une pratique utilisée dès l'âge de bronze avec la refonte des métaux afin de construire de nouveaux outils ou objets. Durant le XIX^e siècle, les chiffonniers récupèrent les vieux chiffons et cartons pour la fabrication de la pâte à papier. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les piles sont recyclées afin de récupérer les métaux qu'elles contiennent. Dans les années 1970, déjà de nombreux scientifiques alertent sur le réchauffement climatique et voient, en cette pratique, une façon de contrer l'entassement des déchets. C'est notamment grâce aux techniques industrielles que le recyclage va se développer puisque les différentes étapes peuvent fonctionner en chaînes et de manière automatisée. Aujourd'hui, le recyclage est devenu un enjeu de la préservation de l'environnement, notamment concernant le traitement des déchets ménagers. Il a donc deux fonctions environnementales importantes : la réduction conséquente du volume de déchets inertes et la préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée en substitut de celle normalement extraite de l'environnement.

Sur le territoire français, le recyclage est une activité économique importante et très structurée. Les entreprises de ce secteur génèrent des matières à fortes valeurs ajoutées, qui dans certains cas peuvent être recyclées de manière presque infinie. C'est une activité créatrice d'emplois, liés à la collecte, au tri, au nettoyage et aux autres étapes comme le broyage et la transformation ou encore le conditionnement. 40 % des postes sont alloués aux opérations de logistiques et 60 % aux opérations de transformation¹⁹¹. Ces sont des métiers valorisants, en ce sens qu'ils participent à un système économique vertueux. Cette filière connaît une croissance forte et les entreprises spécialisées ne cessent de se multiplier, dans une logique d'intérêt général.

Dans le secteur de la construction, le recyclage est une méthode de valorisation des déchets très appliquée. De nombreux



Figure 58 : Granulats de Déchets Industriels Banals fossilisés par Néolithe.
<https://neolithe.fr/>

matériaux rejoignent cette filière de traitement comme le bois transformé en panneaux, le verre transformé en fibre de verre, l'acier transformé en barres d'armature, le béton transformé en granulats ou encore le polystyrène expansé transformé en plastique. Ce qui est intéressant avec le recyclage de ces matériaux de construction, c'est que l'ensemble des nouvelles matières produites rejoint à nouveau la fabrication de matériaux et donc le secteur de la construction. Ainsi, cette boucle vertueuse permet le traitement des déchets générés par les chantiers mais également la réduction de l'impact écologique inhérent à la fabrication de nouveaux matériaux - lorsque l'acier est recyclé, la consommation d'électricité liée à sa fabrication diminue de 80 % par rapport à la fabrication d'un acier neuf. Le recyclage dans le secteur de la construction est une méthode de traitement soutenue et même imposée par les politiques gouvernementales. Elles encouragent l'utilisation de produits issus du recyclage, le maillage territorial des sites de transformation, la mise en place de plans de prévention et de gestion des déchets, la rédaction dans les cahiers des clauses techniques particulières (CCTP) de garanties relatives à la gestion des déchets et l'élaboration de guides pratiques et de formations professionnelles sur la pratique du recyclage.

Cette filière en mouvement est également le reflet de nombreuses évolutions. Sa pratique bénéficie de structures déjà industrialisées et n'est plus au stade d'expérimentation, ce qui permet d'introduire de nouvelles méthodes innovantes. C'est le cas de la start-up Néolithe, qui a inventé la transformation par fossilisation pour les déchets en mélange non inertes et non dangereux. Envisagée en complément du recyclage, la fossilisation traite les déchets non recyclables destinés à l'incinération et à l'enfouissement. La méthode de la fossilisation permet par transformation, la minéralisation des déchets en mélange. Ces mixtes proviennent des ordures ménagères ou des déchets industriels banals (DIB) produits sur les chantiers. Ce

191. <https://www.ecologic-france.com/ecologic/filiere-deee/les-emplois-de-la-filiere-deee.html> (consulté le 06 mai 2022).



Figure 59 : Granulats de Déchets Industriels Banals fossilisés par Néolithe. <https://neolithe.fr/>.

sont des éléments de bois, de plastique, d'isolants, de laine de verre, de textile ou encore de plâtre qui ne peuvent être traités par le recyclage et dont l'incinération et l'enfouissement sont très polluants. Le co-fondateur de Néolithe, Nicolas Cruaud précise :

Nous n'avons pas vocation à traiter le déchet avant qu'il soit trié. Le recyclage reste supérieur à la fossilisation. Ce sont tous les deux des principes de valorisation de la matière. Mais il reste préférable de faire du plastique à base de plastique, qu'un caillou à base de plastique. Nous souhaitons appliquer le principe de fossilisation seulement sur les déchets ultimes. Nous sommes concurrentiels avec l'enfouissement et l'incinération¹⁹².

Le principe de fossilisation se fait via l'ajout d'un liant bas-carbone - à hauteur de 20 % - à l'ensemble des déchets transformés en une fine poudre. C'est ce liant qui va donner sa structure minérale à la poudre de déchets. La fine poudre produite après broyage des déchets est composée de plastique à 15 %, de bois à 20 % et de matières minérales à 35 %. A la différence du plastique qui est une matière impénétrable par le liant, les matériaux poreux comme le bois vont réagir en totalité avec le liant et se figer dans la masse. L'intérêt de traiter les déchets en mélange tient dans le fait que les matériaux poreux, durant leur minéralisation, vont s'agglomérer avec ceux qui ne le sont pas. La valorisation des déchets en mélange évite une énième étape de tri quasiment impossible tant les déchets sont petits. Une fois le procédé appliqué aux déchets à l'aide d'un fossilisateur - nom de la machine qui permet la transformation -, la nouvelle matière minérale, nommée Anthropocite, est produite sous forme de granulats. Ces granulats ont les mêmes caractéristiques techniques et mécaniques que les granulats naturels originaires des carrières. Ils ont été certifiés par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et ils sont

exploitables pour les techniques de sous-couches routières et la formulation des bétons de construction. Néolithe est capable de fournir des granulats de tailles très variées pour la fabrication de l'ensemble des bétons. La fossilisation se fait sur un centre de tri, propriétaire de la machine et les granulats sont ensuite envoyés aux centrales à béton à proximité. Le périmètre de récupération des déchets se fait sur 50 km et la distribution aux industriels bétonniers sur 10 km. La boucle de valorisation reste donc très locale. Le principe ne peut néanmoins être appliqué *in situ* aux chantiers puisque logistiquement et économiquement cela n'est pas soutenable précise le co-fondateur de Néolithe :

Pour être fossilisés, les déchets doivent nécessairement être triés en amont dans des centres spécialisés [...] le tri sur le chantier ne sera pas capable d'en faire autant et nous souhaitons valoriser seulement les déchets ultimes [...] nous avons donc abandonné ce modèle que l'on cherchait à mettre en place au début [...] la tonne de DIB coûte 150 euros pour son enfouissement dans une décharge adaptée tandis que la tonne de déchets inertes coûte 10 euros pour la remblayer en carrière [...] si nous traitons les déchets inertes par la fossilisation, le procédé ne pourra être rentabilisé sur 10 euros la tonne, rien qu'avec le broyage des gravats tu auras dépensé toute ton enveloppe budgétaire.¹⁹³

L'intérêt de traiter les déchets ménagers et les DIB avec la technique de fossilisation tient dans le modèle économique. L'entreprise est donc payée pour récupérer les déchets. Celui qui génère les déchets a le choix entre payer 150 euros la tonne pour l'enfouir ou payer une somme moindre pour la fossilisation, ce qui ne pourrait être le cas pour les déchets inertes. Si l'ensemble des déchets DIB produits en France était fossilisé, l'impact carbone serait réduit de 5 %¹⁹⁴.

192. Entretien réalisé par l'auteure le 19 novembre 2021. Cf. annexes n°12, p.184.

193. *ibid.*

194. https://www.youtube.com/watch?v=ckb1zCb6cFg&t=204s&ab_channel=N%C3%A9olithe (consulté le 03 novembre 2021).

MARBRE D'ICI RECYCLAGE DES GRAVATS POUR L'ESPACE PUBLIC

Le recyclage est une pratique largement favorisée car les filières sont déjà structurées autour de grandes entreprises et de fédérations. Elle est également soutenue à l'échelle territoriale lorsque les matériaux naturels ne sont plus disponibles ou que les espaces de stockage sont encombrés. Mais son recours présente néanmoins quelques limites. En effet, le traitement de la matière par le recyclage dévalorise finalement celle-ci. Dans le cas où elle est réduite sous forme de poudre ou de petits éléments, elle va perdre ses différentes qualités techniques ou esthétiques « selon un phénomène qualifié d'entropie¹⁹⁵ ». Les qualités de la matière acquises avec le temps sont « perdues par le processus de transformation et les valeurs historiques et culturelles, détruites, ne seront plus perceptibles dans le nouveau matériau qui sera créé. La mémoire du premier objet disparaît : sa forme et l'information de son premier usage sont perdues pour les générations suivantes¹⁹⁶ ». A la différence, le recours au réemploi permet de garder la matière dans son premier cycle pour être éventuellement recyclé ultérieurement, ce qui permet une longévité accrue. De plus, l'arrivée en mélange sur les centres de tri peut fortement compliquer le recyclage, alors que les éléments valorisés par réemploi sont directement déconstruits. Le recyclage reste également moins intéressant que le réemploi ou la réutilisation du fait de la consommation d'énergie importante liée à son cycle de transformation. Pour être rentables, les centres de recyclage doivent traiter des quantités de matières très importantes. Certains centres polarisent les ressources de déchets, ce qui limite leur répartition égale sur le territoire et implique un transport conséquent.

Le recyclage peut, certes, présenter certaines limites à la fois écologiques et logistiques, mais tant que la réutilisation et le réemploi ne seront pas des normes adoptées par tous dans le secteur de la construction, le recyclage restera un moyen judicieux de valoriser les déchets produits en masse. Le but est d'inventer et de fabriquer, dès aujourd'hui, de nouvelles manières de recycler à l'image de Néolithé. Les gravats, ne peuvent tels quels, être réutilisés ou réemployés comme éléments structurels. Une fois considérés comme déchets, il est nécessaire d'innover et de créer de nouvelles manières de traiter ces gravats afin qu'ils puissent resservir à créer de nouveaux matériaux de construction. Le recyclage apparaît donc comme une solution créative et essentielle au renouvellement urbain.

Le projet suivant plaide pour un recyclage vertueux, durable et *in situ* des gravats par une transformation de la matière qui conserve ses valeurs. Le recyclage des gravats peut également se faire sous d'autres formes moins formelles que ce que prévoient les dispositifs de valorisation actuels. C'est notamment le cas des différents projets développés par l'artiste plasticien Stefan Shankland qui mène depuis 15 ans des études expérimentales sur les phénomènes de mutations urbaines. En 2007, il crée la démarche HQAC, un label de « Haute Qualité Artistique et Culturelle ». C'est un objet de réflexion conceptuel et un outil de travail pour accompagner artistiquement, culturellement et socialement les mutations urbaines en cours. A partir de 2008, il commence à récupérer les gravats, issus des démolitions de bâtiments à Ivry-sur-Seine, qui sont des traces matérielles de l'histoire de la ville à conserver et à valoriser. Il expérimente par la suite autour du recyclage des gravats et en détourne certains pour créer des gabions et constituer la façade de son atelier.

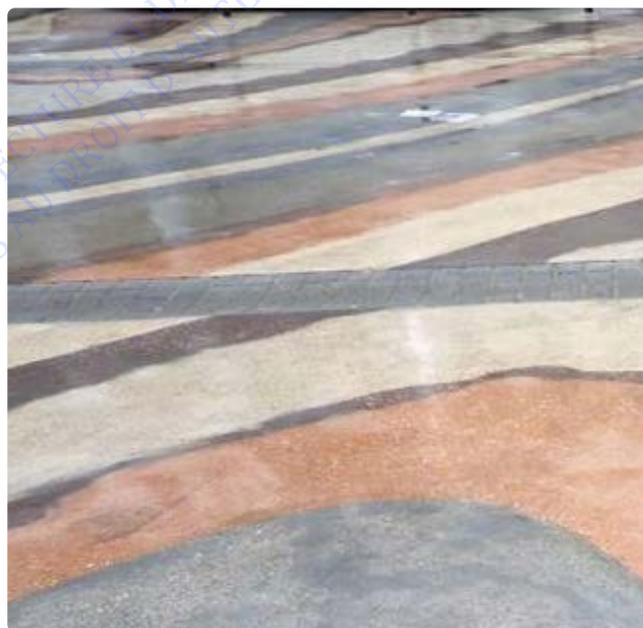


Figure 60 : Revêtement de sol *Marbre d'Ici*. Ivry-sur-Seine. (2015). Stefan Shankland.

En 2011, Stefan Shankland développe *Marbre d'Ici*, un protocole de transformation et de recyclage des déchets inertes issus de démolitions d'immeubles. Cette démarche artistique au service de la ville permet la création d'une nouvelle matière première locale à « haute valeur ajoutée, esthétique, écologique, patrimoniale et sociale¹⁹⁷ ». Mélangés à du ciment et à de l'eau et coulés en strates, les déchets inertes deviennent une véritable ressource matérielle à intégrer aux projets urbains et architecturaux. Le but de l'artiste est de créer une démarche de

195. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.39.

196. *ibid.* p.155.

197. <https://marbredici.org/la-demarche-marbre-dici/> (consulté le 17 mai 2022).

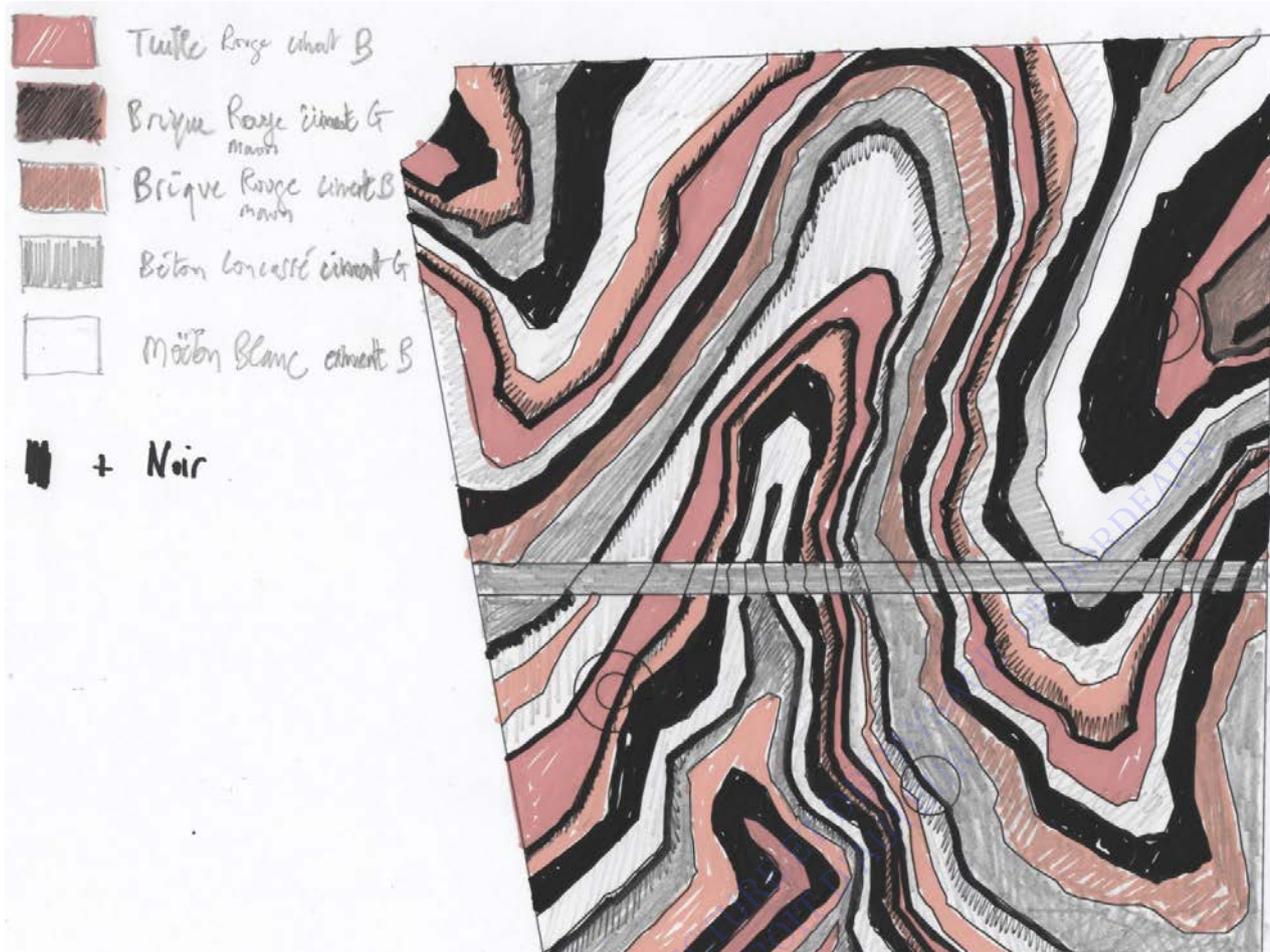


Figure 61 : Dessin préparatif de la répartition des mélanges en fonction de leurs couleurs et des formes souhaitées. *Marbre d'Ici*. (2012). Stefan Shankland.

recyclage générique dont les processus de mise en œuvre sont spécifiques au contexte et au site de création : « par un travail plastique, social et symbolique, *Marbre d'Ici* transforme les décombres de la ville en artefacts à haute valeur ajoutée¹⁹⁸ » écrit l'artiste. C'est pourquoi le protocole *Marbre d'Ici* englobe un certain nombre de projets¹⁹⁹ depuis 2011, tous de natures différentes et conçus pour des sites différents mais engageant les mêmes méthodologies.

Un des projets du protocole *Marbre d'Ici* se situe sur la place du Général de Gaulle à Ivry-sur-Seine, où un morceau d'espace public a été réalisé à partir du protocole et avec la matière *Marbre d'Ici*. Ce projet a pour but de présenter une voie de valorisation des gravats par recyclage en dehors des techniques routières mais pensée pour la réalisation d'espaces publics. Ce projet démontre qu'il est possible d'engager des moyens humains et financiers collaboratifs à la conception de nouvelles matières, pour la création d'espaces ou d'éléments à vocation publique. Cette démarche de transformation informelle transforme les ruines urbaines en un matériau noble, en une nouvelle possibilité de perdurer :

*Les démolitions, les chantiers de construction, l'aménagement des voiries ou la réalisation d'espaces publics ne sont plus seulement des contraintes et des nuisances mais constituent ainsi une ressource pour des projets artistiques et culturels.*²⁰⁰

L'artiste Stefan Shankland et les services d'urbanisme et culturels de la ville d'Ivry ont commencé à collaborer en 2012. Ensemble, ils ont imaginé le projet TRANS305²⁰¹, porté par la démarche HQAC qui est « une structure-support à l'échelle de la ZAC du Plateau à Ivry-sur-Seine, pour faire du chantier un atelier expérimental d'étude et de création ». C'est dans ce contexte que l'aménagement de la place Charles de Gaulle a lieu, pour la mairie de la ville et Grand Paris Aménagement. Des fouilles archéologiques sont menées sur la place avant le début de l'aménagement révélant à 4,5 mètres de profondeur, le lit de la Seine présent il y a 3 600 ans. Des comblements sont également effectués à 20 mètres de profondeur puisque d'anciennes carrières souterraines étaient exploitées à cet endroit. Des dessins préparatoires sont élaborés par l'artiste avant la réalisation du projet d'aménagement. Les

198. *ibid.*

199. L'ensemble des projets est consultable ici : <https://marbredici.org/wp-content/uploads/2021/08/CV-MARBRE-DICI-juin-2021-v2.pdf> (consulté le 17 mai 2022).

200. <http://trans305.org/> (consulté le 29 mai 2021).

201. *ibid.*

formes imaginées évoquent un territoire mouvant, qui rappelle l'écoulement de la Seine présente à cet endroit dans le passé ou un monde lointain encore dans un état plastique qui se cristallise sous la forme d'une croûte minérale par ce projet d'aménagement artistique²⁰². Cette fixation dans le temps de strates ondulées prend la forme d'une grande dalle de 260 m² constituée de la matière *Marbre d'Ici*.

Le début du processus *Marbre d'Ici* commence par la récupération sur plusieurs années de gravats issus de démolitions d'immeubles du quartier. 10 tonnes de briques, de tuiles, de parpaings, de pierres meulières et moellons calcaires seront utilisées pour ce projet. Les gravats sont ensuite triés par nature et par couleur, concassés et broyés puis tamisés pour produire des granulats, ou des poudres utilisées en pigment. Les granulats récupérés sont mélangés à un liant hydraulique comme le ciment et à de l'eau. L'ensemble est malaxé et coulé en strates. Une fois cette nouvelle matière coulée au sol, elle est aplanie et lissée manuellement. Le *Marbre d'Ici* est constitué de 50 % de matière recyclée. Trois bétonnières étaient disposées sur le chantier pour créer le mélange, afin de lui donner plusieurs couleurs dépendant du type de gravats utilisé.

La matière usée et détruite trouve alors un second sens. La possibilité de recyclage *in situ* redonne corps à des processus oubliés, où chaque projet dépendait de matières extraites localement ou prélevées sur d'autres projets à proximité. Le processus *Marbre d'Ici* permet la continuité de la matière dans le temps et valorise ses valeurs contextuelles, historiques et esthétiques. Chaque nouvelle matière *Marbre d'Ici* dépend donc de l'endroit où elle sera mise en œuvre puisque le processus tient à prendre en compte les gravats récupérés localement. Chaque projet est spécifique, « pensé pour un lieu particulier, une situation, des enjeux spécifiques, des usages et des publics différents²⁰³ ». Stefan Shankland souhaite développer par cette démarche des projets sur-mesure, locaux, circulaires et participatifs :

En valorisant le processus de production autant que le produit fini, le protocole Marbre d'Ici vise à impliquer les professionnels de la construction, les acteurs culturels et les habitants dans une action collective : la transformation des restes de la ville d'hier en un nouvel ouvrage à haute valeur ajoutée esthétique, patrimoniale et sociale pour demain. Le « 1% Marbre d'Ici » s'apparente au « 1% artistique » qui accompagne habituellement la construction d'un bâtiment public. Mais il dépasse le cadre traditionnel de la commande artistique en lien avec un immeuble, pour s'adresser à l'acte de construire en général : une nouvelle façon d'intégrer la création contemporaine dans l'aménagement des territoires.²⁰⁴

Afin de développer cette nouvelle matière première à partir de gravats recyclés, Stefan Shankland s'est tourné vers le Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB) et la Fédération de l'Industrie du Béton (FIB) qui ont collaboré à l'élaboration technique du *Marbre d'Ici*. Ils suivent régulièrement son processus de création afin d'optimiser sa formulation technique et sa mise en œuvre. Leur expertise a permis de développer un cadre d'appui technique sur la mise au point des différents bétons en fonction des gravats récoltés - propres à chaque site. Des essais ont été réalisés afin de définir globalement les taux d'incorporation de chaque élément du mélange pour apporter à cette nouvelle matière des performances techniques qui permettent sa mise en œuvre, sans négliger les volontés créatives de l'artiste. Les collaborateurs scientifiques et techniques ont donc développé une structure composite pour la mise en œuvre du *Marbre d'Ici*, notamment pour la réalisation de dalles de revêtement de sol pour le projet du château de Chamarande²⁰⁵. La structure se compose donc de deux couches de béton. La première est un béton de masse peu déformable coulé en sous couche, sur laquelle est placé un treillis en fibre de verre qui est ensuite recouvert d'une couche de béton de finition, beaucoup plus fluide. Cela permet à l'ensemble de la structure de ne pas se fissurer tout en gardant les lignes très souples de la matière de finition - couche visible. Cette matière, une fois mise en œuvre, peut donc résister aux poids appliqués et aux variations naturelles des matériaux.

Ce projet présente un processus concret de fabrication d'un béton recyclé à partir de gravats. L'intention artistique ne se détache pas de la dimension technique qui rend réalisable la mise en œuvre de cette nouvelle matière. *Marbre d'Ici* contextualise les processus de mutation que vivent actuellement les villes en favorisant le renouvellement sur elles-mêmes. Ce projet accompagne l'évolution urbaine tout en reconnectant la ville à ses héritages historiques et matériels. Le processus de recyclage des gravats *Marbre d'Ici* est toujours d'actualité et continue d'être adapté à chaque espace public dans lequel il prend forme. Ce projet transforme les gravats considérés comme déchets en de nouvelles ressources pour l'aménagement des villes (cf. figure 62, p.99). Exposé au cœur de celles-ci, le public est interpellé par le *Marbre d'Ici*. Il utilise et pratique cette nouvelle matière et prend par ce biais conscience des enjeux qui lui sont attribués. Au-delà de la fonction symbolique de cette transformation, les potentiels économiques et écologiques de cette nouvelle matière sont très importants. Ce processus de projet participe à la démocratisation du recyclage des gravats et par son caractère *in situ* à la diminution de l'impact carbone imputé aux transports des déchets.

202. <http://trans305.org/projets/marbre-dici-n5/> (consulté le 29 mai 2021).

203. <https://marbredici.org/wp-content/uploads/2021/08/DP-Marbre-dici-Chantier-lvry1.pdf> (consulté le 28 mai 2021).

204. *ibid.*

205. *ibid.*

FIG 62. MARBRE D'ICI, 2012. STEFAN SHANKLAND





ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT DE LA PROPRIÉTÉ

02. TRANSFORMATION DES GRAVATS EN RESSOURCES SECONDAIRES

Les quantités de gravats générées sont très importantes et constituent un stock de matière considérable. Ce stock doit être valorisé afin de ne pas renforcer la logique de consommation linéaire extrêmement polluante. Cette quantité de matière au cœur des villes prend la forme d'un gisement imperméable aux aléas du temps, dans lequel l'Humain peut puiser ce dont il a besoin pour construire. Reconsidérer les gravats comme de nouvelles matières premières secondaires pour la construction tient d'une logique circulaire et vertueuse. De plus en plus de professionnels s'y investissent et un cadre de recherche et de développement se met en place.

A. QUALIFICATIONS À FORTES VALEURS AJOUTÉES

Le cycle de la matière tel que l'Humain l'utilise peut s'analyser ainsi. Tout d'abord, la matière minérale est le résultat d'une évolution très lente et précise de la croûte terrestre, elle tient d'une énergie que la Terre a prodigué durant des millénaires. Mais vient le temps où cette matière est convoitée par l'Humain pour ses qualités géologiques, physiques, techniques et esthétiques. Afin qu'il puisse s'en servir, il l'extrait, la déplace et la travaille (ou la traite) par des moyens manuels et techniques. Dans la construction, cette matière est exploitée au service d'une structure, d'un édifice, d'une ville ou même d'un abri. Passé un certain temps, l'Humain ne désire plus garder cette matière. Soit parce qu'elle ne garantit plus les mêmes qualités qu'au début de son exploitation et que l'Humain doit la remplacer ; soit parce qu'elle ne lui convient plus et qu'il souhaite en utiliser une autre. Il détruit donc la matière et la met de côté. Il la rejette dans la nature, mais cette matière transformée ne peut être réintégrée pleinement aux écosystèmes dans lesquels elle a été prélevée. Ce cycle de la matière tient donc d'une logique linéaire à perte, qui place l'Humain au rang de profanateur dans

Les gravats, en provenance de matières détruites par l'Humain, en sont l'expression même. Ces débris sont la résultante des changements que l'Humain impose à la matière. D'abord, il extrait et met en œuvre de la pierre, du calcaire, de l'argile et des roches comme le gypse et l'ardoise. Une fois ces matières exploitées, l'Humain leur impose une fin de vie qui peut être considérée prématurée, non pas en termes d'usage et d'exploitation de l'objet fini mais simplement au niveau de la matière elle-même. Pourquoi ces matières qui perdurent depuis des millénaires dans un milieu naturel ne pourraient-elles pas perdurer également dans notre milieu bâti ? Sont-elles réellement trop altérées par l'activité humaine et les conditions extérieures supportées ? Quoi qu'il en soit, ces matières qui nous entourent constamment sont détruites au profit d'autres. L'humain, qui a engagé tant d'énergie à remanier la matière afin de la transformer en « matière à bâtir » en engage tout autant pour la démolir. La matière est alors déformée en fragments et considérée comme un déchet. Puisque chaque chantier en ville commence systématiquement par une démolition de la matière disposée et utilisée précédemment, une quantité conséquente de fragments est générée. Tous sont maintenant considérés comme des déchets.



Figure 64 : Les déblais en héritage. Textiliser la mémoire bâtie par la réutilisation in situ des déchets architecturaux. Anna St-Pierre.

un contexte où l'obsolescence est devenue inéluctable. Or, la matière ne s'altère pas et ne s'appauvrit pas de ses multiples valeurs simplement parce que l'Humain l'a décidé. La plupart du temps, il ne s'agit que d'une déconsidération qui nie ce que toujours elle possède. Autrement dit, la matière, par le fait d'altérations, finit par ne plus pouvoir être exploitée au profit de l'Humain. Or, si certaines valeurs s'affaiblissent (techniques ou esthétiques), elle n'en possède pas moins d'autres qualités qui peuvent être, à leur tour, mises en valeur.

Une fois la matière mise au rebut et transformée sous forme de gravats, plus aucune de ses qualités n'est considérée. Tous les marqueurs temporels, géographiques ou même esthétiques qui ont été plébiscités auparavant pour en faire des matériaux de construction sont oubliés, comme s'ils n'avaient jamais existé. Même s'il est évident que l'Humain amplifie les qualités de la matière par le biais de transformations qu'il effectue, certaines sont indépendantes de son action et sont inhérentes à la matière. C'est justement pour ces qualités que l'Humain a extrait cette matière. Une pierre ornementale par exemple,

acquiert une valeur esthétique après que la main humaine l'ait sculptée. Mais si cette pierre a été choisie, c'est bien que sa valeur technique, intrinsèque, a été adoptée en premier lieu :

La matière d'un édifice nous livre le récit de sa longue chaîne de fabrication et des épisodes successifs de sa transformation depuis son origine géologique - sa matière terrestre. Extraite, transformée en matériau, mise en œuvre, intégrée à un ensemble architectural, elle se charge des histoires (personnelles et factuelles) et des vies qu'elle abrite, avant d'être déformée par la démolition du bâtiment (témoin cette fois-ci des mutations urbaines). Elle subit alors une nouvelle transformation, exécutée avec des outils de destruction conçus par l'ingénierie du bâtiment donnant lieu à des matériaux composites : un fragment de brique alvéolaire accolé à du plâtre, des graviers de moellons et de meulière, un bloc de marbre agrippé par une couche de béton. Cette matière contient, au même titre que la ruine, « le récit de son existence passée ainsi que celui des forces qui l'ont partiellement démolie » (La ruine palestinienne comme projet, Léopold Lambert).²⁰⁶

Les gravats sont donc des éléments que l'Humain a rejetés et mis de côté. Mais derrière cette mise au rebut, il y a finalement la certitude de pouvoir perdurer utilement. Ces agrégats de matières en tout genre sont, du fait de leurs caractéristiques minérales, inertes. Ils ne peuvent donc, lors de leur stockage sous forme de déchets, subir aucune modification du fait des conditions extérieures et n'impactent, d'aucune manière, l'environnement et la santé humaine. Les gravats sont des éléments immuables et absolus dans le temps. L'Humain extrait une matière présente sur la Terre depuis des millénaires, l'utilise dans un temps très court et la rejette pour des millénaires également, puisque la matière va perdurer quoi qu'il arrive. Les gravats sont donc une catégorie de déchets constitués de débris inertes de petits calibres, issus de la démolition ou de la construction des bâtiments. Ces débris sont mal-aimés. Un filtre opaque s'est dressé, affectant ce qu'ils sont réellement. Ces gravats sont de natures matérielles différentes : pierre, ardoise, brique, tuile, béton, parpaing, béton, etc. En fonction de vies antérieures, ces matières sont empreintes de valeurs qui peuvent être : esthétiques, historiques, structurelles, culturelles, poétiques, patrimoniales, etc :

Tout à la fois lieu/non-lieu, présence/absence, déchets/documents, ces objets contiennent les valeurs d'histoire, de remémoration, d'ancienneté, voire d'art, décrites par l'historien de l'art, Aloïs Riegl au début du XX^e siècle alors qu'il cherchait des outils pour inventorier le patrimoine architectural.²⁰⁷

B. CRÉATION DE NOUVELLES MATÉRIALITÉS QUALITATIVES

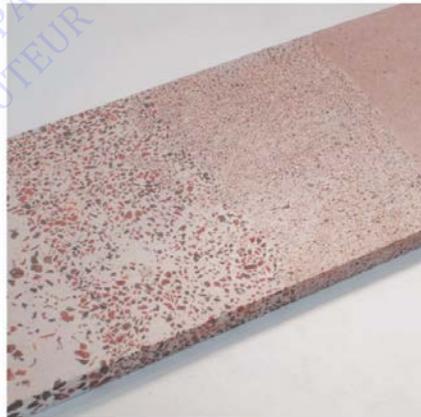
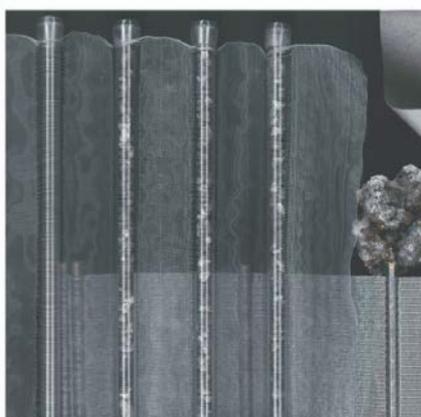
Afin de mettre en exergue les possibilités de considérer les gravats comme une ressource à part entière, différentes valorisations de gravats via le recyclage seront explicitées. Ici, il est question de transformation des gravats pour la fabrication d'éléments non structurels intégrés à des projets d'architecture. Cette pratique n'est pas courante mais le procédé de recyclage est bien souvent le même, au même titre que les motivations qui poussent les acteurs à y avoir recours. Tous s'investissent à diminuer l'emploi de matériaux neufs, à innover et à inventer de nouvelles matières à fortes valeurs ajoutées, à participer à l'économie circulaire et locale, à conférer à leurs pratiques de bâtisseurs des valeurs durables et vertueuses et à contribuer au prolongement du cycle de vie des matériaux de construction. Ces procédés mènent à de nombreuses recherches, expérimentations, questionnements et concernent une multitude de matières possibles.

Anna St-Pierre, diplômée de l'École Nationale Supérieure des Arts Décoratifs se penche, par le biais de sa thèse de Doctorat, sur la question des déblais produits par des chantiers de réhabilitation (excavation, curage et destruction), en tant qu'objet d'étude pluridisciplinaire (architecture, design, sciences pour l'ingénieur). Elle s'attache à « textiliser la mémoire bâtie par la réutilisation *in situ* des déchets architecturaux²⁰⁸ » et se questionne sur la possibilité de transformer le déblai en ressource secondaire. D'abord appliquée à l'univers textile, elle souhaite, par le biais de son travail collaboratif avec l'agence d'architecture SCAU, développer une démarche de transformation adaptée aux projets de réhabilitation architecturale. Cela se fait au moyen de nombreuses expérimentations à l'échelle 1 et à l'application de procédés développés dans des projets d'architecture. Anna St-Pierre met à profit ses qualités de designer pour la conception de nouvelles matérialités et collabore avec de nombreux artisans et laboratoires de recherche. L'introduction de ces processus de transformation à des projets architecturaux nécessite l'application de structures normatives. Les recherches qu'elle entreprend traitent du contexte comme premier caractère inhérent à la matière. Le caractère historique de l'existant nourrit le procédé de recyclage, qui par son application *in situ*, ne condamne pas l'attribut mnémorique de la matière. Anna St-Pierre a développé une gamme de nouveaux matériaux, tous issus du recyclage des gravats. Ces nouvelles matérialités sont la concrétisation de protocoles imaginés qui consistent à sélectionner par diagnostics, catégoriser et transformer les gravats. Les données recueillies sur les gravats (matière, histoire, main d'œuvre, temps, valeur économique, etc.) sont prises en compte dans les nouveaux projets architecturaux. Par le recyclage, ils rejoignent à nouveau

206. Anna St-Pierre : <http://www.scau.com/en/explorecase/les-deblais-en-heritage> (consulté le 15 septembre 2021).

207. *ibid.*

208. St-Pierre, A. (2022). *Textiliser la mémoire bâtie par la réutilisation in situ des déchets architecturaux*. Thèse SACRe sous la direction de Bassereau, J-F.

<p>STOCKAGE → CONTENANT</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2018</p>  <p>TECHNIQUE : REMPLISSAGE CONTENANTS VERRE APPLICATION : CLAUSTRA, MOBILIER MATIÈRES : MARBRE BLANC CONCASSÉ GISEMENT : REVÊTEMENT DE SOL PROVENANCE : LES PETITES AFFICHES - PARIS</p>	<p>BÉTON DE SITE → GRANITO</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2019 COLLABORATION MINERAL PRODUCT</p>  <p>TECHNIQUE : GRANITO APPLICATION : SOL COULÉ, MOBILIER MATIÈRES : BÉTONS CONCASSÉS GISEMENT : DALLE SOL PROVENANCE : LES PETITES AFFICHES - PARIS</p>	<p>BÉTON DE SITE → PISÉ</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2018</p>  <p>TECHNIQUE : PISÉ (COMPRESSION) APPLICATION : MOBILIER, REMPLISSAGE MATIÈRES : SABLES DE FONTAINEBLEAU, GRAVATS GISEMENT : TERRES EXCAVÉES, GRAVATS PROVENANCE : CENTRE HUNEBELLE - CLAMART</p>
<p>TEXTILE → IMPRESSION</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2018 ATELIER ENSAD</p>  <p>TECHNIQUE : SÉRIGRAPHIE TEXTILE APPLICATION : CLAUSTRA, RIDEAU MATIÈRES : MÂCHEFER, BRIQUE, BÉTON PORPHYRISÉS GISEMENT : CHANTIER ZONE DÉINDUSTRIALISÉE PROVENANCE : RUE LORTET - LYON</p>	<p>BÉTON DE SITE → GRANITO</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2019 COLLABORATION MINERAL PRODUCT</p>  <p>TECHNIQUE : GRANITO (CLOUTÉ) APPLICATION : PAREMENT, MOBILIER MATIÈRES : MEULIÈRES CONCASSÉES GISEMENT : MURS D'ENCEINTE PROVENANCE : C.A.S.H. - NANTERRE</p>	<p>BÉTON DE SITE → GRANITO</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2019 COLLABORATION MINERAL PRODUCT</p>  <p>TECHNIQUE : GRANITO (GRADATION) APPLICATION : SOL COULÉ, MOBILIER MATIÈRES : BRIQUES CONCASSÉES GISEMENT : MUR REMPLISSAGE MAÇONNÉ PROVENANCE : LES PETITES AFFICHES - PARIS</p>
<p>STOCKAGE → ARMATURE</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2019</p>  <p>TECHNIQUE : GABION APPLICATION : FAÇADES, REMPLISSAGE, PAYSAGER MATIÈRES : MEULIÈRES, TUILLES GISEMENT : TOITURES ET MUR D'ENCEINTE PROVENANCE : C.A.S.H. - NANTERRE</p>	<p>CÉRAMIQUE → BRIQUES</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2020 LABORATOIRE MANUFACTURE SÈVRES</p>  <p>TECHNIQUE : BRIQUES MOULÉES CRUES OU CUITES APPLICATION : REMPLISSAGE MATIÈRES : SABLES DE FONTAINEBLEAU GISEMENT : TERRES EXCAVÉES PROVENANCE : CENTRE HUNEBELLE - CLAMART</p>	<p>TEXTILE → STRUCTURE</p> <p>SCAU ÉCHANTILLON 2018 ATELIER ENSAD</p>  <p>TECHNIQUE : MODULES ARTICULÉS TISSÉS APPLICATION : CLAUSTRA, RIDEAU MATIÈRES : MÂCHEFER CONCASSÉ GISEMENT : CHANTIER ZONE DÉINDUSTRIALISÉE PROVENANCE : RUE LORTET - LYON</p>

Figures 65 : Travail de recherche et expérimentations de matériaux à partir de recyclage et réemploi de gravats. Table des matières. Anna St-Pierre.

la construction sans être dévalués mais seulement transformés. La diversité des formes produites semble illimitée, de la dalle au textile. Chaque nouvelle matérialité peut trouver sa place dans un nouveau projet, tant une architecture est composée d'une multitude de matériaux.

Ces procédés et leurs explications ont été intégrés à des projets de l'agence d'architecture SCAU avec qui Anna St-Pierre a collaboré durant l'écriture de sa thèse. L'agence d'architecture s'est donnée pour mission de « réfléchir plutôt que de restaurer » en interrogeant le pouvoir narratif du matériau comme source de création pour l'architecte. L'idée est de développer un protocole de mise en œuvre *in situ* de la transformation des déblais qui soit reproductible sur chaque site d'implantation. Cet approvisionnement local participe à la création de matérialités spécifiques qui viennent colorer différemment chaque projet. L'exemple du *granito* - nouvelle matière mélangeant gravats et liant - met en exergue cette possibilité. Le protocole reste le même mais les agrégats sont singuliers, « on ne parlera plus de gravats de façon générique²⁰⁹ ». En architecture, l'*opus* est la façon dont les éléments sont assemblés dans une maçonnerie. Ici, l'assemblage change en fonction des gravats utilisés, de leurs granulométries, de leurs couleurs, de leurs formes. C'est cette variable qui caractérise chaque lieu. En collaborant avec Anna St-Pierre, l'agence d'architecture SCAU s'emploie à questionner la place de la matière dans ses projets et à leur importance contextuelle. En qualité d'architecte, l'idée est d'anticiper l'approvisionnement des matériaux, leurs possibilités au sein d'un projet, leurs places au sein d'un contexte et leurs pouvoirs aux yeux de tous. Transformer les étapes d'excavation, de démolition et de réhabilitation mène à reconsidérer les valeurs multiples des gravats et à inverser la tendance actuelle de la mise au rebut. Par ce biais, l'agence souhaite dans ses projets reconsidérer cette source de transmission culturelle et environnementale que sont les gravats.

L'approche matérielle de l'architecture mène à une infinité de possibilités. L'atelier d'architecture Delalande Tabourin, questionne, quant à lui, la matérialité au travers d'une réflexion contemporaine et sensible de l'architecture. Nicolas Delalande et Sébastien Tabourin, architectes co-fondateurs, ont la volonté de contextualiser l'architecture par des recherches sur les dimensions sensibles et sensorielles de l'espace et sur l'identité visuelle que transmet un matériau. Leurs projets privilégient le recours à des matériaux et à des savoir-faire locaux et aux méthodes de valorisation comme le réemploi et le recyclage. Nombreux sont leurs projets menés également en collaboration avec la designer Anna St-Pierre qui apporte son expertise et son regard sur la transformation des déblais en héritage. Sébastien Tabourin, co-fondateur de l'atelier est explicite :



Figure 66 : Expérimentations béton de plâtre. CIGUË.

Il est important de construire une architecture qui considère son environnement proche, son contexte. Comme à l'époque, une ville était grise car la pierre de proximité était grise. Une ville était rose car la ressource locale était la brique. Chaque ville avait son identité par rapport aux matériaux locaux utilisés. Aujourd'hui, tout se ressemble. Il faut essayer le plus possible de se rapprocher du contexte en prenant une ressource qui est proche du lieu d'implantation. En Bretagne par exemple, qui est le plus gros bassin de granite en France, ils utilisent celui qui vient du Portugal ou de Chine. Celui extrait à l'autre bout du monde est beaucoup moins cher, alors qu'il y a la ressource à 10 km. L'industrialisation a créé une concurrence importante entre les matériaux.²¹⁰

Court-circuiter le gaspillage de la matière tout en faisant appel à ce qui se trouve à proximité sont devenues deux volontés importantes dans chaque projet. Plusieurs s'attachent même à redonner vie aux déchets de carrières, notamment ceux de granite, qui parfois produisent jusqu'à 85 % de perte lors de l'extraction. Cette matière mise de côté et considérée comme déchet est pourtant noble et empreinte de valeurs structurelles et esthétiques qui ne se sont pas détériorées. La plupart des commandes de granit pour des projets français proviennent de l'étranger alors que de nombreuses quantités de granit sont entassées dans les carrières sur le territoire français. L'atelier d'architecture Delalande Tabourin requalifie les déchets de carrières de granite afin de valoriser les rebuts de productions industrielles locales à travers la fabrication de nouveaux principes constructifs. L'atelier souhaite sensibiliser à la notion de proximité des matériaux de construction. Pour ce faire, la pratique de l'architecte est remise en question. Pas seulement concepteur, il doit aussi établir des diagnostics, se déplacer, rencontrer les compagnons et artisans, sensibiliser les maîtrises d'ouvrage et le grand public, « bien sûr, c'est beaucoup plus de travail en amont mais en ayant cette posture tu apprends énormément et tes connaissances s'élargissent. Il faut s'investir

209. Anna St-Pierre et SCAU. <http://www.scau.com/fr/explorecase/les-deblais-en-heritage> (consulté le 15 septembre 2021).

210. Entretien réalisé par l'auteure le 4 juin 2021. Cf. annexes n°10, p.162.



Figure 67 : Projet GS01. Atelier Dedalande Tabourin, Orléans. (2023).



Figure 68 : Expérimentations menées par CIGUË sur les différentes compositions et finitions du béton de plâtre. Projet lauréat de FAIRE 2019. Pavillon de l'Arsenal.

tout le long du processus²¹¹ ». Dès que la standardisation est mise de côté, chaque processus nécessite une implication longue et parfois difficile face aux marchés actuels très ancrés. L'atelier s'attache, dans ses interventions architecturales, à conférer aux espaces une narration matérielle et géométrique parfois même jusqu'au mobilier. La plupart de leurs projets sont des missions de réhabilitation où considérer le déjà-là est une évidence.

Travailler la matière, est aujourd'hui, indissociable des enjeux climatiques et environnementaux. La position de l'architecte en tant que bâtisseur, l'amène à s'interroger sur les matériaux qu'il conditionne et utilise. C'est notamment le cas du studio d'architecture CIGUË, qui expérimente à la croisée de l'architecture, du design et de l'installation. Conscient de l'extraction démesurée liée à l'utilisation des granulats naturels dans la fabrication du béton, le studio d'architecture a mené des recherches sur l'utilisation de gravats dans la composition d'un nouveau béton. De leur appétence pour le plâtre et les gravats, CIGUË a conçu une nouvelle matière : le béton de plâtre. Leurs expérimentations, menées avec le soutien de l'accélérateur de projets FAIRE, ont permis d'explorer la possible utilisation du plâtre dans la fabrication de chape à la place du ciment, matière très polluante et responsable d'environ 30 % des émissions de CO2 dans le secteur du bâtiment. Ils ont également entrepris

de remplacer les granulats naturels dont l'extraction épuise les ressources naturelles par des gravats, matériaux gisant au cœur des villes. Le plâtre, ayant la capacité de lier des éléments hétérogènes et de structurer des compositions permet l'agglomération des gravats entre eux. Sa fabrication nécessite également moins d'énergie puisque sa cuisson se fait à une température inférieure à celle du ciment. Leurs expérimentations se basent sur des pratiques anciennes du recyclage du plâtre, matière présente dans l'ensemble des constructions et qui était revalorisée spontanément. Le site d'application de ce nouveau béton de plâtre tient donc une place particulière dans sa composition puisque les gravats recyclés sont récupérés *in situ*. « Le scénario de réemploi des gravats, concassés et mis en œuvre sur le lieu même du gisement, s'ancre dans une logique d'économie circulaire. D'une stratégie classique de démolition-enfouissement, nous passons ici à une forme de digestion architecturale des déchets du chantier, recomposés dans un matériau de premier plan²¹² », précise CIGUË. Cette nouvelle matière, non structurale, est teintée dans la masse par la fine poudre de gravats concassés. Ceux dont la géométrie est plus importante apparaissent et créent des formes distinctes lorsque la matière est mise en œuvre. Cela apporte un caractère singulier à chaque projet, « comme une reconstitution photogra-

211. *ibid.*

212. CIGUË. *Béton de plâtre. Étude pour une chape post-ciment*. Pavillon de l'Arsenal. p.27.



Figure 69 : Projet du fort l'Écluse. atelierpng, Léaz. (2016-2019).

phique des matériaux disponibles sur le chantier²¹³ ». Chaque version de ce nouveau béton de plâtre est coulée sous forme d'échantillons et subit une série de tests en laboratoire, précisant les futures contraintes applicables. Ces protocoles d'essai sont importants et permettent à la matière d'être mise en œuvre de manière la plus cohérente et proportionnée possible. Ces recherches permettent également de se questionner sur les énergies nécessaires à la création de cette nouvelle matérialité et sur l'impact environnemental du recyclage en lui-même. Les expérimentations menées par CIGUË ont pour but d'améliorer constamment les processus de réalisation de cette nouvelle matière en prenant en compte le plus de paramètres possibles, aussi bien contextuels, environnementaux qu'économiques et matériels.

D'autres formes de valorisation des gravats sont possibles, à l'image de ce qu'a développé l'atelierpng en charge du projet de restauration et de revalorisation touristique du fort l'Écluse à Léaz²¹⁴. Construit au XVII^e siècle, ce fort militaire est lié à son environnement rocheux sur lequel il s'accroche. L'intervention sur le fort ne peut se faire sans démolitions, génératrices de déchets de pierre. En résonance à l'histoire et au patrimoine bâti de ce fort, l'atelierpng s'est concentré sur l'usage de la pierre, qui fait toute l'identité du fort. L'atelier a souhaité

conserver cette richesse dans la requalification des espaces. La construction d'une nouvelle circulation s'est faite à partir de gabions, cages d'acier galvanisé remplies des déchets de pierre générés par le projet (le système de gabion est lié à l'architecture militaire et permettait de se défendre des éclats de balles). Dans ce projet, les gravats de pierre sont réemployés et aucune modification intrinsèque ne leur est appliquée. Ainsi, dans une logique forte de circularité des matériaux, le fort se reconstruit sur lui-même, avec ses propres ressources. Cette intervention marque l'histoire de ce lieu historique et résilient et raconte l'histoire de ses matériaux.

Ces projets de réemploi et de recyclage de gravats proposent une multitude de matériaux aux caractéristiques et aspects différents. Cela est rendu possible par la pluralité des éléments constitutifs des gravats. Il semblerait qu'à la manière d'un matériau neuf, il soit possible de choisir l'aspect, la composition, la taille, la couleur des éléments souhaités. L'aspect visuel d'un matériau fabriqué à partir du recyclage de gravats diffère suivant les éléments et les pigments incorporés. Les liants hydrauliques utilisés dans les mélanges se teintent assez facilement, il est donc possible de donner une teinte rouge à une dalle à partir de pigments de brique par exemple. La diversité des granulométries et composants ajoutés aux mélanges rend prévisible la composition visuelle ou le calepinage de n'importe quel matériau. Par exemple, l'utilisation de granulométries très fines va donner l'aspect d'une teinte totale tandis que des gravats plus gros vont apporter un caractère déstructuré et improvisé. Lors de la dernière étape de ponçage, les gravats en mélange sont révélés et affectent le matériau d'une qualité graphique, souhaitée ou laissée libre. Ces aspects sont notamment représentés dans le travail de la designer Anna St-Pierre. Tout comme un matériau neuf, il est également possible de choisir l'aspect fini d'une dalle par exemple. Son état de surface varie en fonction de la couche de finition ajoutée. L'agence CIGUË, pour son béton de plâtre utilisé en revêtement de sol, se sert de l'huile de lin cuite, du lait de cire de carnauba et de savon noir, réputés pour être sans solvants, imperméabilisants et adaptés à l'entretien régulier du sol. Chaque élément de composition d'une dalle de revêtement peut être préalablement définis, laissant au commanditaire la convenance de choisir ce qu'il souhaite - même s'il faut reconnaître que produire des éléments identiques en série est impossible.

213. *ibid.*

214. Projet Musée du fort l'Écluse consultable ici : <https://png.archi/processus/musee-du-fort-lecluse-leaz>.

FRESK RECYCLAGE DES GRAVATS POUR L'ARCHITECTURE

Le projet suivant plaide pour un recyclage vertueux, durable et *in situ* des gravats par une transformation de la matière qui conserve ses propriétés. Le recyclage des gravats peut également se faire sous d'autres formes moins formelles que ce que prévoient les dispositifs de valorisation actuels. C'est notamment le cas du projet *Fresk* développé conjointement par l'agence d'architecture SCAU et la designer Anna St-Pierre.

C'est en 1997 que l'agence SCAU conçoit et construit *Parissy*, un immeuble de bureaux de sept étages au bord du périphérique parisien afin d'accueillir les bureaux de Télé Diffusion Française (TDF). Classé au patrimoine bâti remarquable de premier rang, l'immeuble fait l'objet d'une restructuration complète en 2021 sollicitée par le groupe immobilier français ICADE, nouveau propriétaire du bâtiment. Le point de départ de cette lourde réhabilitation de 21 000 m², nommée *Fresk*, concerne la modification des plans d'aménagement des bureaux, considérés comme obsolètes vingt ans après la construction du bâtiment. Les modèles cloisonnés de bureaux, imaginés il y a quelques années, ne correspondent plus à la demande contemporaine qui privilégie la flexibilité et l'open-space. Valoriser la structure du bâtiment en place tout en repensant son agencement intérieur évite la *tabula rasa*. Requalifier plutôt que détruire court-circuite la grande production de déchets et le recours à des énergies connexes très polluantes. La réhabilitation menée par la même agence est une véritable valeur ajoutée. Experte de la structure qu'elle a conçue il y a deux décennies, l'agence souhaite considérer et préserver les qualités structurelles déjà-là dans le principe d'un projet de réhabilitation. L'organisation du bâti en U autour d'un atrium, l'ossature poteaux-poutre, les planchers béton, les noyaux porteurs et la tour centrale sont les éléments structurels conservés. Cette conservation des éléments structurels doit devenir une nouvelle norme des projets architecturaux et une intention commune et partagée par les architectes et les maîtrises d'ouvrage. La réversibilité architecturale devient le remède à la démolition. Les capacités de mutation de l'architecture peuvent être anticipées au service d'une architecture durable et pérenne :

Il n'empêche que les modèles cloisonnés des bureaux individuels ont fait leur temps, et la demande contemporaine est celle de la flexibilité et de l'open-space. Vingt ans seulement après la construction de Parissy, il ne fait pas de doute que notre proposition initiale est obsolète. L'accélération des évolutions sociétales paraît prendre une tournure exponentielle ; ce que nous proposerons demain sera-t-il dépassé dans dix ans ?²¹⁵

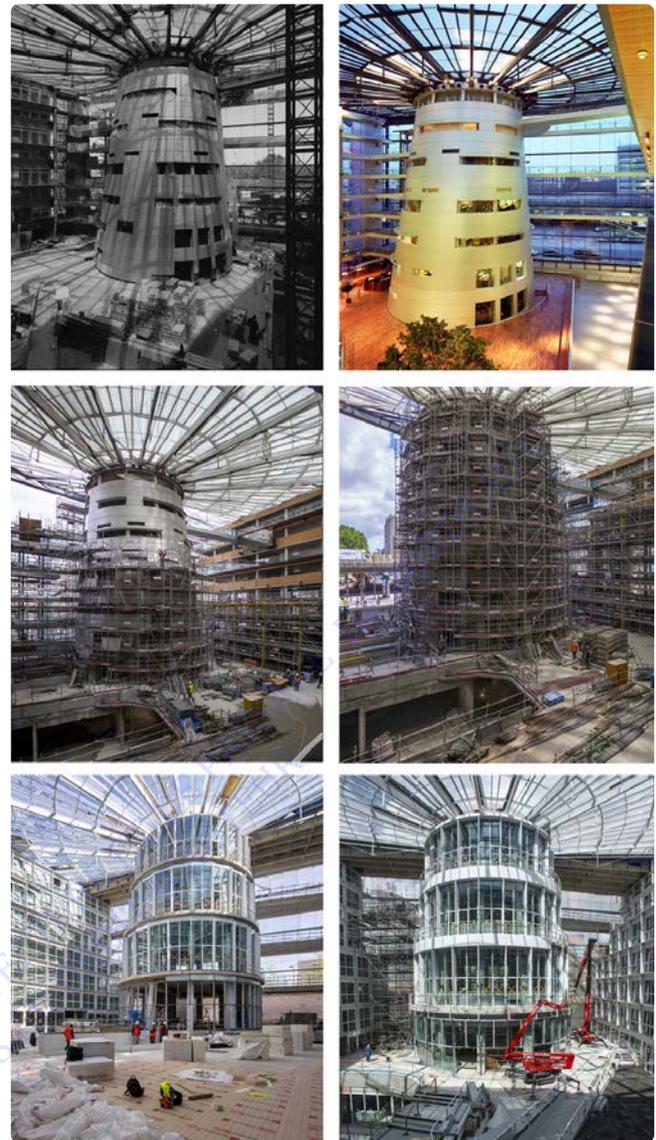


Figure 70 : Évolutions du projet de réhabilitation *Fresk*. (2021). SCAU.

Le projet *Fresk* valorise donc la structure du bâtiment, rendue adaptable à de nouvelles situations spatiales. L'essentiel structurel du bâtiment est conservé tandis que le reste est transformé. Ce phénomène de mutation est un sujet de recherche que l'agence SCAU développe dans la plupart de ses projets en collaboration avec Anna St-Pierre. L'ensemble des éléments transformés fait l'objet d'études qui déterminent s'ils peuvent être réintégrés au projet par le réemploi ou le recyclage ou s'ils doivent le quitter vers d'autres modes de traitement. La façade principale de l'immeuble de bureaux, pour le nouveau projet *Fresk*, fait l'objet d'une importante transformation. Le procédé de renouvellement de cette façade est un véritable exemple des protocoles de recyclage et de réemploi *in situ* qui laissent place à la réinterprétation et rendent visibles les phénomènes d'évolution.

Dans le processus de réhabilitation, le bâtiment doit être adapté aux nouvelles normes d'isolation thermique, qui ont évolué depuis 20 ans. Pour ce faire, la façade principale du bâtiment,

215. SCAU. <http://www.scau.com/fr/explorecase/co-working-et-granito> (consulté le 17 mai 2021).

composée de dalles de granite, est déposée pendant le chantier. Cette façade est constituée d'un très grand nombre de dalles de granite agrafées (procédé de parement à la mode dans les années 1990). Lorsque la façade de 2 000 m² est déposée, le tas de matière entreposé prend la forme d'un gisement d'environ 165 tonnes de granite en provenance de carrières de granite bretonnes (130 tonnes de granite gris celtique et 35 tonnes de granite bleu). Cette quantité de matière devient une véritable carrière à ciel ouvert :

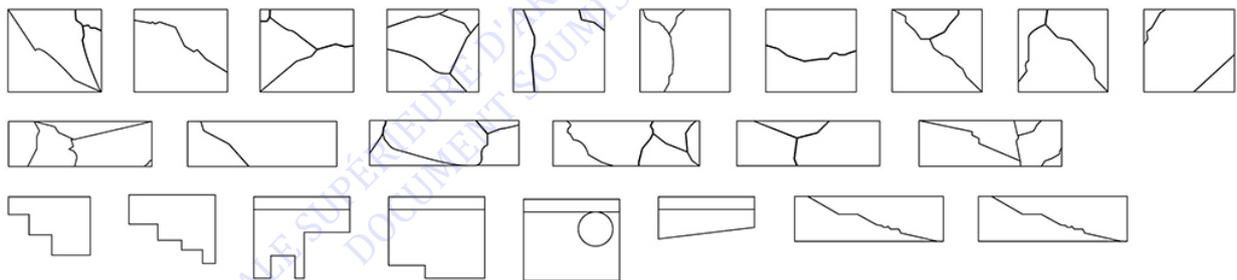
Le stock de matières et matériaux qui compose un bâtiment devient exploitable et peut l'être de la même manière que l'on extrait minerais, pierres, et autres ressources naturelles [...]. L'économie circulaire mise en place autour des carrières est par ailleurs une source d'inspiration qui dépasse la simple image du gisement/exploitation. Les granulats produits par l'extraction de blocs ont longtemps été utilisés localement par des artisans.²¹⁶

La façade est déconstruite afin de ne pas altérer les dalles de granite. Certaines sont préservées mais d'autres sont accidentées et de nombreux gravats minéraux sont engendrés. Le but du processus de mutation du bâtiment est l'utilisation de cette façade de granite pour le sol de l'atrium, afin de former la « cinquième façade » visible depuis la rue. Ce procédé « symbolique, qui consiste à déconstruire une architecture, à la découper, à la fractionner pour en faire autre chose²¹⁷ », est permis par la

transformation *in situ* des éléments via le recyclage. Ce principe de transformation consiste à utiliser les matériaux de démolition présents sur site comme agrégats dans la formulation d'un nouveau revêtement de sol, appelé *granito* :

Le granito (appelé plus communément terrazzo) trouve son origine dans cette économie du geste, dans cette exploitation locale de la matière, utilisant les concassés en tesselles de mosaïque aléatoire.²¹⁸

Cette transformation, de la matière au matériau, est développée suivant trois degrés différents d'application de la matière. Le premier consiste à réemployer pour le même usage une partie des dalles qui ont été préservées dans leur intégrité formelle. 160 m² de dalles de granite bleu de Lanhélin sont donc réemployées pour la réalisation de panneaux verticaux dans l'atrium. Le second degré vise également à réemployer des dalles, mais qui cette fois-ci ont été fractionnées pour réaliser 650 m² d'agrégats de granite gris celtique pour le sol des espaces d'accueil. Ces dalles accidentées ne sont pas transformées mais simplement posées sur le sol afin de constituer le futur revêtement. Contrairement aux dalles de granite bleu, l'usage de celles-ci est détourné, mais les anciennes formes rectangulaires sont encore visibles permettant d'identifier que les anciennes dalles du bâtiment ont été réemployées. L'utilisation de la nouvelle matière *granito* se fait pour les 800 m² restants du sol de l'atrium. Une unité de criblage est



DALLES DÉPOSÉES : INTACTES, DÉCOUPÉES OU FRAGMENTÉES

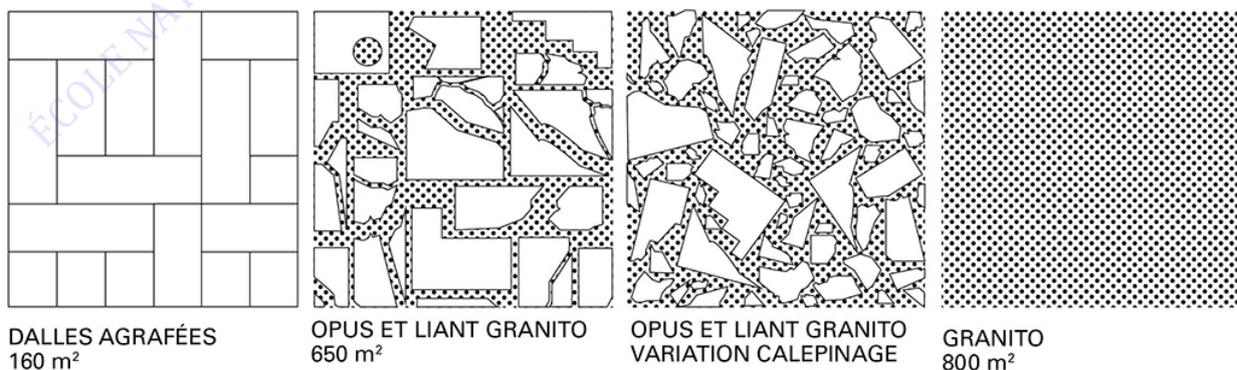


Figure 71 : Protocole de transformation et dessins de calepinage. Recyclage de gravats de granite en *granito*. (2021). Anna St-Pierre.

216. *ibid.*

217. *ibid.*

218. *ibid.*

disposée sur le chantier afin de concasser et tamiser les gravats de granite. Des agrégats de différentes tailles sont obtenus. Ce mélange de fragments de granite bleu et gris est ajouté à un liant hydraulique et à de l'eau afin de former le *granito*. Le principe du recyclage tient donc dans cette dernière étape, qui permet de recouvrir la majeure partie du sol du nouvel atrium. Les gravats, produits involontairement, sont transformés et ajoutés à d'autres matières pour rentrer dans un second cycle de vie. L'agencement de ces différentes matières suit une logique matérielle et amène le visiteur à comprendre les différents cycles de transformation de la matière. D'abord, les gros blocs de granite sont foulés au cœur de l'atrium, puis petit à petit les granulométries de granite deviennent plus abstraites et laissent le visiteur imaginer les processus de transformation de la matière. « Ainsi, le protocole de création et ses cycles de transformation (révélateurs de nos rapports à la matière) sont rendus visibles et confèrent une fonction mnémorique au nouveau matériau, signalant la mutation urbaine des lieux²¹⁹ » suggère l'agence d'architecture.

Cette démarche de recyclage vise donc à se questionner sur la durée de vie des matériaux, qui suivent l'obsolescence architecturale et sont très facilement remplacés ou détruits. Ici, la matière retravaillée transmet à nouveau ses qualités esthétiques et géologiques et perdure dans le temps (cf. figure 72, p. 111). De nouvelles matérialités qualitatives sont créées et participent à la réversibilité du bâtiment. Pour ce faire, le bâtiment a véritablement été considéré comme une carrière à ciel ouvert, dans laquelle il est possible d'extraire des matériaux locaux. Ici, les matériaux ne quittent ni le chantier, ni le secteur de la construction. Ce processus rappelle ceux utilisés durant des millénaires lorsque tous les chantiers étaient façonnés par les matériaux locaux et prenaient une teinte particulière. Même si la matière provient initialement d'une autre région, elle a fait son temps sur cette parcelle parisienne ce qui la caractérise. Les bénéfices de cette boucle *in situ* sont nombreux : peu de pollution est produite puisqu'aucun transport est nécessaire ; peu d'énergies annexes sont utilisées du fait du recours au réemploi ; la matière est conservée au même endroit ce qui confère au projet une valeur temporelle.

L'agence d'architecture SCAU en collaboration avec Anna St-Pierre a développé ici, une valorisation à visée esthétique et décorative pour former le nouveau sol dans ce projet *Fresk*, notamment pour des raisons réglementaires. Cette fine couche de *granito* est non structurelle et est déposée sur une chape rigide et une dalle en béton. In fine, ce processus de transformation des gravats a pour vocation d'évoluer vers la composition et la fabrication d'éléments structurels à partir de gravats récupérés sur chaque nouveau projet.

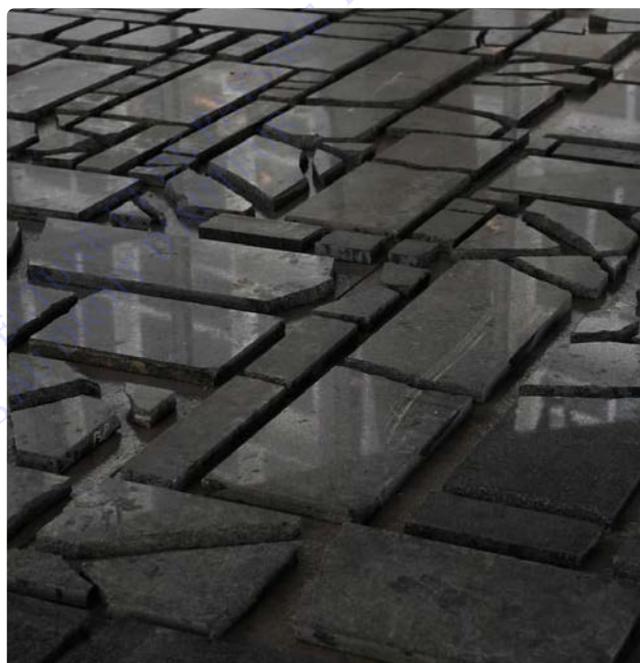


Figure 72 : Calepinage et morceaux de granite en place avant coulage. (2021).
Anna St-Pierre.

219. *ibid.*

FIG 73. GRANITO, PARIS, 2021. SCAU



UNIVERSITÉ DE LA LOIRE ET DE PAYSANCIER D'ART ET D'ARCHITECTURE



03. RÉVERSIBILITÉ STRUCTURELLE DES GRAVATS

Les gravats, finalement loin d'être des déchets, représentent en quelque sorte le début d'un renouveau. Ces morceaux façonnés par le temps sont de véritables matières premières secondaires pour le secteur de la construction. Au-delà du réemploi, qui limite leur valorisation en éléments structurels, le recyclage a le potentiel de transformer la matière pour lui redonner de nombreuses qualités, qui ont pu être dévaluées par l'usage, le temps ou la démolition. De leur recyclage émane un mélange d'influences historiques, scientifiques, artistiques, matérielles et architecturales, qui ne doivent pas perdre de vue la faisabilité technique et structurelle permettant ce second cycle de vie.

A. LIMITES D'UN CYCLE COURT

Les gravats de démolition peuvent être considérés comme de nouveaux objets techniques et esthétiques à fortes valeurs ajoutées pour la création d'éléments de second œuvre, de parement, d'agencement ou encore de revêtement. Puisés aux cœurs des villes en qualité de déchets, ils redeviennent éléments notoires de la composition urbaine. Mais pouvons-nous pousser cette logique de réversibilité encore plus loin, en admettant qu'ils puissent redevenir matières de leur première responsabilité matérielle : des éléments structurels ? Cette faisabilité répondrait aux soucis de préservation de l'environnement par l'économie des composants naturels et la valorisation des déchets inertes via la recomposition d'un matériau de premier plan.

Pour le moment, il semble que les méthodologies de transformation des gravats pour des éléments de second œuvre soient difficilement applicables à la fabrication d'éléments structurels. Il est tout de même possible de bâtir un mur porteur avec des gravats sous la forme de gabions à la manière de l'atelierpng et son projet de restauration du fort l'Écluse à Léaz, mais cette technique s'apparente plus à du réemploi qu'à du recyclage, puisque les gravats sont mis en œuvre tels quels et ne subissent pas de changement intrinsèque. La seule formule possible de transformation des gravats reste donc de les inclure, en remplacement, dans des compositions de matériaux utilisant des granulats et graves naturelles. Certains projets comme *Fresk* de l'agence SCAU et *Marbre d'Ici* de l'artiste Stefan Shankland montrent qu'il est possible d'inclure des gravats en mélange dans des formulations à base de liants hydrauliques et d'eau pour être coulé en revêtement. D'autres expérimentations, comme le béton de plâtre de l'agence CIGUË tendent déjà vers une similitude à la formulation d'un béton structurel. Même si les recherches de l'agence CIGUË ont mené à une diversité importante d'essais et à la constitution d'une matériauthèque, les formules sont peu compatibles avec celles qui composent les éléments porteurs comme des poutres, des poteaux ou des dalles. Néanmoins, les recherches menées par CIGUË ont notamment permis, pour un usage du matériau en chape, les conclusions suivantes : les mélanges à base de fractions de brique ont de très bonnes résistances à la compression et l'abrasion, les mélanges à base de fractions de béton présentent des résistances à la compression et au poinçonnement moindres et

les gravats de béton ne réagissent pas bien avec le plâtre présent dans la composition. De nombreux facteurs entrent en ligne de compte comme la teneur de chaque intrant et celle des gravats, la nature du liant hydraulique, le taux d'eau, le temps et les qualités de séchage, etc. Autant de paramètres qui doivent être pris en compte dans les campagnes d'essais qui permettent de comprendre l'influence de ces facteurs sur les performances du matériau, notamment techniques et structurelles.

L'inclusion de gravats dans des formulations pour des éléments structurels de construction est rendue difficile par d'autres facteurs. Les démolitions, en détruisant les bâtiments sans tri préalable, produisent en masse des gravats mixtes, composés d'un certain nombre de fractions différentes. Ces fragments sont soit mono-matière, comme la brique ou la pierre, soit déjà constitués d'un mélange, comme le béton. La caractérisation exacte de ces éléments est rendue difficile par la présence aléatoire et inévitable de mortier, de plâtre ou d'autres composants collés aux gravats. En fonction de la diversité et de l'ancienneté des ouvrages démolis, la composition de ces gravats varie. Certains composants, compte tenu de leur variabilité peuvent engendrer des risques de défauts et ne sont pas viables à la valorisation par recyclage. L'hétérogénéité des gisements de gravats rend nécessaire l'exécution d'une méthodologie de tri et de sélection minutieuse, notamment dans des centres disposant d'une organisation et de techniques de tri performantes²²⁰. Le recyclage des gravats nécessite un effort de préparation non négligeable. La séparation des gravats par nature est également une étape importante du processus de tri. Les gravats en mélange ne peuvent être acceptés pour des formulations structurelles, puisque chaque matière réagit différemment avec le liant. Il faudrait pour cela, établir des valeurs d'inclusion pour chaque constituant afin que l'ensemble du mélange réagisse correctement. Les gravats en mélange doivent être triés et traités afin de séparer les parts recyclables du reste mais également pour séparer chaque morceau de nature différente et constituer des stocks distincts. Cela peut se faire par des moyens automatisés ou un tri manuel.

Pour le moment, les seuls éléments constitutifs des gravats faisant l'objet d'un recyclage pour des éléments structurels sont les fragments de béton. Dans l'ensemble des études portant sur ce type de recyclage, les gravats de briques, tuiles et céramiques semblent être non-conformes et ne sont pas pris

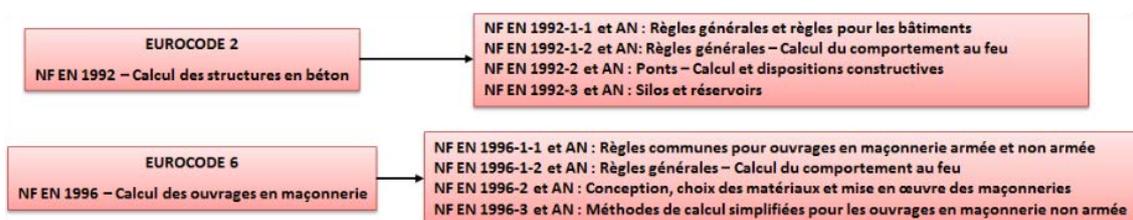


Figure 75 : Eurocode 2 et 6 sur les ouvrages en maçonnerie et les normes à suivre pour l'utilisation du béton. <https://normalisation.afnor.org/>.

220. CEREMA. (2014). Graves de déconstruction. Direction territoriale Centre-Est.

en compte. Cela peut être imputé à leur fort taux d'absorption d'eau qui déséquilibre les formulations. Leur forte porosité conduit à une trop grande absorption d'eau de gâchage qui diminue la résistance et la pérennité du mélange affectant le comportement rhéologique. Cette limite de composition peut également être attribuée à la présence de mortier sur les briques démolies.

Le recyclage des gravats en mélange semble se confronter à la trop grande hétérogénéité des éléments qui composent ces déchets de démolition. Leurs différences de nature, de composition et de structure interne limitent la fabrication de matériaux stables qui pourraient être produits en chaîne. Fabriquer des composants aux propriétés mécaniques équilibrées et constantes à la manière de la production de matériaux neufs est compliquée. Établir des méthodologies de fabrication mécanisée serait un procédé judicieux à la fabrication constante et soutenue de produits issus du recyclage. Tout comme l'élaboration de fiches techniques matériaux qui valideraient chaque élément et détailleraient l'ensemble de ses capacités. Comment proposer aux clients concepteurs et bâtisseurs des matériaux de construction issus du recyclage dont les qualités esthétiques et techniques diffèrent suivant les lots ? Est-ce à eux d'adapter leurs méthodologies et leurs ouvrages en fonction de ces variables, au profit de l'utilisation de matériaux vertueux participant à l'économie circulaire et à la valorisation des déchets ?

Même si certains se montrent volontaires à la mise en œuvre de gravats recyclés, l'application des Documents Techniques Unifiés (DTU) et des Eurocodes aux marchés publics et privés est inévitable, notamment pour les éléments structurels. Ces documents normatifs ne rapportent pas pour le moment de condition à respecter quant au recyclage des gravats en mélange. Cela va de pair avec l'assurabilité des matériaux émise par des bureaux de contrôle et leur traçabilité. Dans le cas d'une nouvelle matière fabriquée à base de gravats recyclés, de nombreuses garanties doivent être apportées et présentées aux entrepreneurs qui s'engagent à les utiliser ainsi qu'à leurs assurances. Le recours nécessaire aux contrats et garanties assurantielles représente un large frein à la mise en œuvre de gravats recyclés pour des éléments techniques. Si le recyclage des gravats a vocation à devenir une technique courante et maîtrisée, il paraît difficile de mener des expertises techniques au cas par cas validant le matériau et son principe constructif. La construction d'un ouvrage engage des responsabilités à l'échelle de plusieurs décennies et pour le moment, le recyclage des gravats en mélange ne permet pas cet engagement là.

Face à ces limites qui contraignent le recyclage des gravats en éléments structurels, un projet a néanmoins retenu mon attention. Il s'agit du *Rebirth Brick Project* inventé et développé par l'architecte chinois Liu Jiakun. Début juin 2008, en réaction au tremblement de terre dans le Sichuan, en Chine, l'architecte se questionne sur les besoins d'autosuffisance face à une

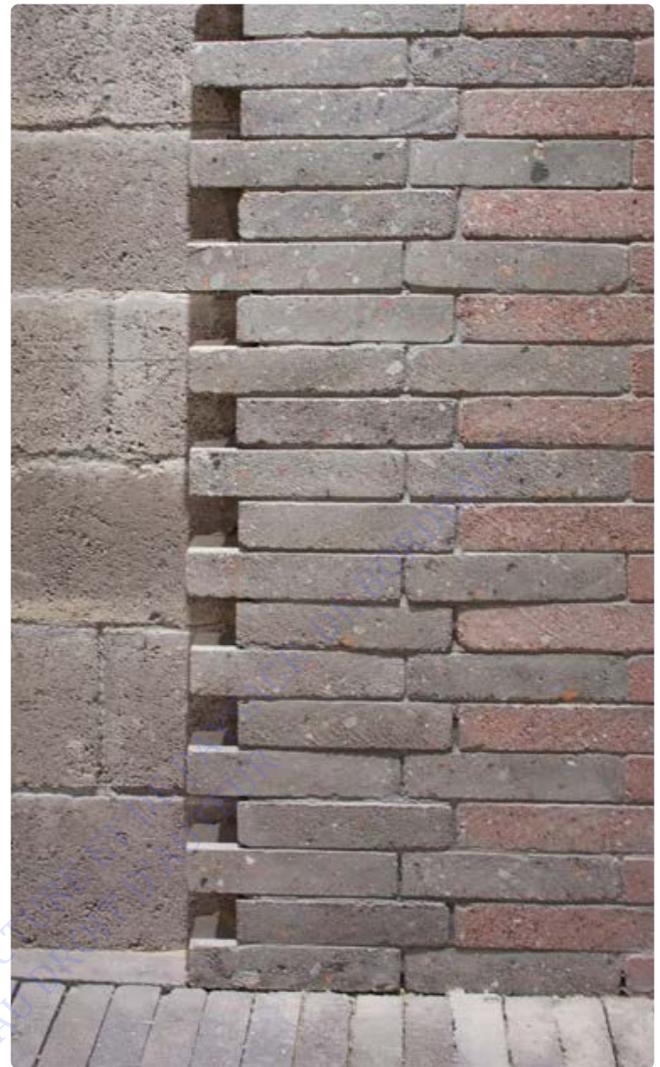


Figure 76 : Présentation des Rebirth Brick. Liu Jiakun. Biennale d'architecture Hong-Kong. (2011).

catastrophe naturelle comme celle-ci qui détruit habitations et bâtiments. Il imagine donc des briques fabriquées à partir des débris d'architecture récupérés sur les lieux du tremblement de terre. Dans l'idée de régénération et de reconstruction des communautés vivant dans cette région de Chine, Liu Jiakun met au point une brique faite de gravats, fibres de paille et de ciment, donnant une nouvelle signification aux idées de matériaux renouvelables. Ce projet a été présenté à la biennale d'architecture de Hong Kong en 2011.

Au-delà de la fabrication de ce nouveau matériau, il développe ses moyens de production et de mise en œuvre. Les briques ont donc été produites en masse et utilisées pour la construction de bâtiments. Ces *rebirth brick* sont largement promues aujourd'hui pour la reconstruction de zones frappées par les tremblements de terre. Ce projet se positionne au-delà des technologies de construction, pour revenir à l'importante connexion entre l'architecture et son contexte, dans un sens de responsabilité sociale. L'objectif immédiat étant de reconstruire les villages après les tremblements de terre, Liu Jiakun s'est attaché à développer un moyen créatif, peu cher, rapide et vernaculaire pour le faire.

Les gravats sont donc collectés, triés, nettoyés et utilisés comme agrégats dans la fabrication de briques. Les tiges de blé sont abondantes dans les régions rurales chinoises et sont utilisées pour consolider le mélange. Elles sont coupées en petits morceaux et ajoutées au mélange de ciment et de gravats comme fibres de renforcement. Le mélange est ensuite transformé en briques à l'aide d'un outil à levier semi-manuel largement utilisé dans l'artisanat local. Une partie des briques est fabriquée avec des alvéoles en leurs centres, ce qui va permettre lors de la mise en œuvre de consolider leur agencement avec des tiges de bambous et une sorte de torchis. Empilées les unes sur les autres, elles font office de murs porteurs. Une autre partie de ces briques est produite sous une forme pleine et appareillées suivant les méthodes classiques et habituelles, là aussi pour la construction de murs. Il semblerait que ces briques soient utilisées pour la création de murs porteurs mais les ressources techniques sur cet aspect du projet sont très limitées pour conclure à leur capacité structurelle.

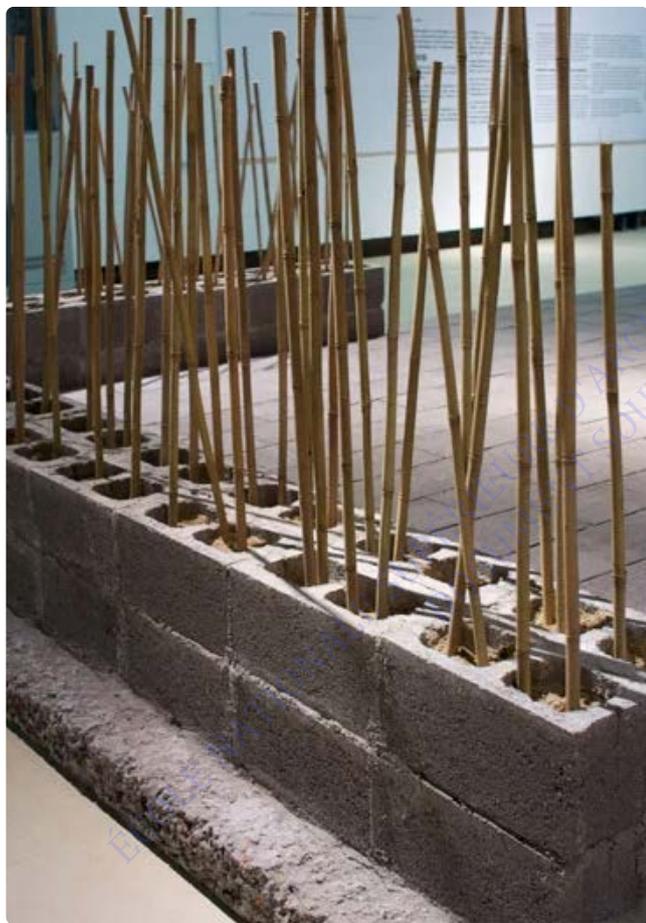


Figure 77 : Présentation des Rebirth Brick. Remplissage structurel en bambou. Liu Jiakun. Biennale d'architecture Hong-Kong. (2011).

B. FORMULATIONS AUTOUR DU BÉTON

Les limites du recyclage des gravats mixtes en mélange nous amènent à considérer les gravats de béton comme l'unique possibilité pour fabriquer des éléments structurels à partir de débris de démolition. En effet, par leur structure physique et technique, ils semblent être le parfait moyen de substitution des granulats naturels dans la fabrication du béton. Partant du fait que le béton est aujourd'hui le deuxième matériau le plus consommé dans le monde après l'eau, l'extraction de telles quantités de granulats entraîne la raréfaction des ressources naturelles et produit énormément de gaz à effet de serre. Dans le monde, environ 25 milliards de tonnes de béton sont fabriquées chaque année. La Chine arrive en tête du classement de celle qui en consomme et produit le plus (2,4 milliards de tonnes produites en 2017)²²¹, suivie de très près par l'Inde. A elles deux, elles produisent plus de 50 % du béton mondial²²², provoquant en toute logique des quantités considérables de déchets.

En Europe, son emploi a augmenté lors de la Seconde Guerre mondiale pour les infrastructures militaires. Mais aussi à la fin de celle-ci, lorsqu'il a fallu reconstruire de nombreux villages et villes. La construction d'ouvrages en béton de ciment stimule les industries et progresse avec la construction des grands ensembles périurbains, les infrastructures de transports et les quartiers pavillonnaires - impacts de l'étalement urbain. Il est utilisé pour construire vite et peu cher mais aussi pour ses qualités techniques et ses performances structurelles - ouvrages de génie civil, tours de plus en plus hautes, grands immeubles, etc. Le béton devient au cours du XX^e siècle, le matériau de prédilection de la construction. Il est le reflet de l'industrialisation intense du secteur de la construction. Son utilisation se complexifie et ses performances se développent rapidement. Le béton préfabriqué, le béton à hautes performances, le béton fibré, le béton pré-contraint sont autant de possibilités à rendre les ouvrages plus durables - au sens de pérennité. Ses multiples propriétés physiques permettent des utilisations variées, il est donc utilisé pour l'ensemble des techniques de construction, de la simple chape aux œuvres architecturales complexes comme le MUCEM de Rudy Ricciotti ou le Pavillon du Portugal d'Álvaro Siza. Son utilisation va de pair avec l'urbanisation et la densification des villes mais aussi avec le réchauffement climatique, la détérioration des écosystèmes et la mainmise des lobbies sur les ressources naturelles, comme le sable. La France est le deuxième producteur de béton prêt à l'emploi en Europe avec 39 millions de mètres cubes produits en 2017.

Cette production massive pose question. Dans l'imaginaire collectif, le béton est un matériau immuable. Une confiance

221. United States Geological Survey.

222. Adem, A. M. A. (2017). Valorisation des matériaux de démolition dans la construction (Doctoral dissertation, Département Génie C).



Figure 78 : Béton démolit et ferrailages. Inconnu.

absolue en ses capacités a émergé, favorisant ses nombreuses applications. Mais ce matériau est poreux, vivant et s'altère avec le temps. De nombreux ouvrages se retrouvent aujourd'hui très érodés et menacent de s'effondrer. Certains n'ont même quasiment jamais été suivis ou contrôlés durant leur exploitation et leur utilisation. Aujourd'hui, son utilisation est remise en question, notamment dans les pays qui développent des filières de matériaux alternatifs et durables en corrélation avec les objectifs du développement durable et en réaction à la pollution sans précédent du secteur du bâtiment et des travaux publics. L'avenir du béton est remis en question mais son utilisation est tellement ancrée dans nos habitudes de bâtir que le ralentissement de son utilisation et donc de sa production va prendre du temps :

*Une des raisons pouvant expliquer le retard de la France en matière de recyclage des matériaux issus de la démolition est qu'elle dispose de sources de granulats naturels bien réparties sur le territoire. Mais ces derniers sont de moins en moins accessibles, notamment du fait qu'il est de plus en plus difficile d'ouvrir des carrières pour cause de contraintes environnementales et administratives. Quand on sait qu'ils constituent la partie la plus importante d'un béton, qui est le matériau de construction le plus utilisé au monde, et qu'il n'y a aucun signe d'un renversement de tendance, la raison veut qu'on les préserve autant que possible.*²²³

223. *ibid.*

224. <https://www.pnrecybeton.fr/> (consulté le 17 février 2022).

225. Pour en savoir plus : Arabi, N., Berredjem, L. *Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons*. Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

Considérer la ville comme un gisement à ciel ouvert donne lieu à transformer le rapport particulier que le secteur de la construction entretient avec le béton. Au vu de la multitude de bâtiments construits avec ce matériau, le renouvellement urbain et ses démolitions produisent un grand nombre de gravats de béton. Etant donné que le recyclage des gravats mixtes se limite à la fabrication d'éléments de second œuvre et que leur réemploi ne peut servir à la mise en œuvre d'éléments structurels, le recyclage des débris de béton peut être une voie de passage vers la revalorisation des déchets de chantier. Le propre du renouvellement urbain tient peut être dans la reconstruction d'une structure à partir de sa propre matière ? Même si la mutation urbaine avance vers le schéma de la réhabilitation en réponse à l'obsolescence architecturale - à l'image du projet *Fresk* - de nombreuses démolitions produisent encore une quantité faramineuse de déchets inertes.

C'est de ces constats qu'a été lancé le Projet National Recybéton, « dans un contexte en outre marqué par les réflexions issues du Grenelle de l'Environnement, avec une sensibilisation accrue de la société aux enjeux du développement durable et de l'économie circulaire²²⁴ ». Recybéton est un projet national de recherche débuté en février 2012 sur la réutilisation de l'intégralité des matériaux issus des bétons démolis dans de nouveaux bétons. Ce projet est soutenu par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. Il rassemble de nombreux acteurs de la construction : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre publics et privés, entreprises de BTP, bureaux d'études, ingénieries, industries productrices de matières premières ou de composants de la construction, laboratoires publics et privés, universités et écoles d'ingénieurs dans une procédure collaborative de recherche et développement. Je ne m'attacherai pas ici, à relater l'ensemble des recherches du projet Recybéton mais plutôt à exposer son intérêt vis à vis de mon projet de recherche sur le recyclage des gravats.

Dans l'élaboration d'un processus de recyclage des gravats en éléments structurels, les gravats de béton semblent être une réponse plausible pour produire de nouveaux bétons, ou des objets en béton, ou encore en cimenterie²²⁵. Le projet de recherche a mené de nombreuses explorations et expérimentations techniques permettant de certifier, suivant certaines conditions, le recyclage des débris de béton dans la fabrication de nouveaux bétons. Cinq chantiers différents ont été menés dans des contextes différents : bâtiment, ouvrages industriels et ouvrages d'art, ce qui permet d'établir des conclusions les plus larges possibles. Les procédures de fabrications habituelles sont valables et restent les mêmes pour l'ensemble de ces projets. Les machines liées à la fabrication peuvent être conservées et



Figure 79 : A droite, granulats naturel. A gauche, mélange de gravats de béton et de granulats naturels en vue de la fabrication d'un béton recyclé. Ville de Zurich.

les méthodologies d'application aussi. Néanmoins, un grand soin doit être appliqué au tri et au nettoyage des gravats de béton car les plâtres agglomérés limitent leur recyclage. Les expérimentations techniques menées par le projet Recybéton ont permis d'adapter les formules et de prouver que la fabrication d'un béton recyclé ne diffère pas fortement de celle d'un béton classique (précision des différences détaillées plus loin).

De nombreux paramètres et caractéristiques sont à prendre en compte dans la formulation du béton recyclé. À savoir : la qualité et la granulométrie des gravats de béton, la configuration du malaxage, le pourcentage d'eau, le sable utilisé, le temps et les conditions de séchage, le pourcentage de gravats de béton recyclés incorporés, etc. Plusieurs aspects techniques ont été rapportés suite aux nombreux tests effectués. L'état initial du granulats de béton recyclé et ses propriétés d'usure influent sur l'étape de malaxage et sur la rhéologie du mélange final. Les granulats de béton recyclés ont une capacité d'absorption d'eau plus importante que les granulats naturels, la quantité d'eau de la composition doit donc être adaptée. Concernant les bétons armés, l'adhérence avec les armatures est maintenue lors des tests effectués sur le béton recyclé. Les tests en compression des poteaux en béton armé recyclé montrent des ouvertures de fissures similaires aux bétons actuels et ceux sur les poutres montrent que les fissures et les flèches augmentent légèrement. Il est recommandé de conserver les mêmes proportions des gros granulats et des granulats fins dans les compositions de bétons recyclés, l'utilisation homogène des granulats recyclés est recommandée. De plus, il semble nécessaire d'utiliser des

granulats de béton en provenance des mêmes gisements, afin qu'ils réagissent de manière similaire dans les compositions. L'observation des bétons recyclés doit dépasser l'expérimentation et doit être faite sur un temps long pour avoir plus d'informations sur le comportement du béton recyclé à des âges avancés. Il apparaît que les granulats de béton recyclé sont de 10 % à 15 % plus légers que les granulats naturels, ce qui abaisse le coût des matériaux et du transport.

Pour le moment, le taux d'inclusion des granulats de béton recyclé dans les formulations reste limité. Recybéton a effectué des tests dont les taux étaient compris entre 20 % et 100 %. Les pourcentages varient en fonction de l'utilisation future du béton. Trois normes régissent aujourd'hui l'application des bétons : la norme NF-P 18545 qui concerne les granulats, la norme EN 206/CN qui porte sur le béton et la norme EC 2 appliquée au béton armé ou précontraint. Aujourd'hui, la norme EN 206/CN autorise l'incorporation de 20 à 30 % de granulats de béton recyclés en fonction des environnements et des éléments. Pour Recybéton, il est nécessaire que ces normes évoluent pour augmenter la part des bétons recyclés sur le marché. Ce pourcentage augmente jusqu'à 50 % pour certains pays comme en Autriche. Néanmoins, le béton recyclé ne présente pas tout à fait les mêmes propriétés que le béton classique, ce qui oblige toujours l'incorporation de granulats naturels dans les formulations. « On assiste à un abaissement d'élasticité et à un retrait plus important²²⁶ » explique Sophie Decreuse, directrice produits et qualité nationale chez Cemex, partenaire du projet national Recybéton. Elle précise tout de même qu'en théorie

226. <https://www.pnrecybeton.fr/> (consulté le 17 février 2022).

les risques de fissuration n'ont pas lieu d'augmenter et que la pratique et les observations effectuées jusqu'à maintenant le confirme. « Sur un chantier près de Nîmes, un béton contenant 20% de gravillons a servi à construire une passerelle ferroviaire. L'ouvrage présente un comportement tout à fait comparable à des ouvrages similaires réalisés avec des bétons courants²²⁷ », précise Jacques Roudier, président de Recybéton.

Le projet national de recherche Recybéton permet de fédérer les acteurs de la construction autour de la question de la gestion des déchets de béton et de leurs potentialités de recyclage. Impliquer autant les maîtrises d'ouvrage que les laboratoires de recherche en matériaux dans ce programme permet de réunir les opérateurs du marché et les compétences techniques en matériaux afin de créer une étroite union entre les principes de conception et les processus de réalisation. Toutefois, il est indispensable de faire évoluer les normes d'application en faveur des granulats de béton recyclé. Même si elles permettent aujourd'hui le recyclage, il est nécessaire qu'elles soient révisées régulièrement à l'aide de recherches techniques approfondies et constantes dans l'optique de proposer des produits recyclés de meilleures qualités que ceux extraits des écosystèmes naturels. Le but est de développer à plus ou moins court terme, un véritable marché parallèle des granulats de béton recyclé qui concurrencera celui du béton neuf en produisant des matériaux innovants.

EXPÉRIMENTATIONS PERSONNELLES

DALLE DE REVÊTEMENT ET POUTRE

Au-delà de l'analyse et du développement de plusieurs projets et cas d'études qui mettent en évidence les différentes possibilités de recyclage des gravats, il était essentiel de mesurer par moi-même ces différentes possibilités. C'est pourquoi, j'ai expérimenté le recyclage des gravats sous plusieurs formes, dans le but de formaliser les méthodologies développées dans l'optique d'une future recherche plus complète. Cela m'a permis de me confronter aux méthodologies existantes du recyclage à la manière des deux cas d'étude présentés et de développer les miennes en fonction des gravats utilisés et des résultats souhaités.

La première expérimentation a consisté à fabriquer une dalle de revêtement de sol, à la manière d'Anna St-Pierre pour le projet *Fresk*, non pas avec des éléments de granite mais avec des gravats en mélange. Travailler ces gravats en mélange permet d'obtenir différentes teintes et aspects esthétiques. Ici, le but a été de laisser la matière se disposer librement sans définir de calepinage ou de composition particulière. Il a d'abord fallu récupérer les gravats en mélange sur un chantier. Afin de

placer cette expérimentation dans un circuit court et local, je me suis approvisionnée sur un chantier à 20 mètres de l'atelier de recyclage. Les entrepreneurs de ce chantier, situé en zone rurale, y ont laissé un tas de déchets inertes lorsqu'ils l'ont quitté. Cette pratique interdite, à la suite d'une démolition, n'est pas sans risque pour l'environnement et dénature le lieu. D'autres éléments quasiment neufs ont été abandonnés dans ce tas. Puisque personne ne s'investit à déblayer ces zones de dépôts sauvages, il m'a paru évident d'essayer de transformer ce tas de déblais en ressource. Même si les quantités utilisées n'ont pas permis de valoriser l'ensemble du tas, une partie non négligeable a été sortie de cet encombrement.



Figure 80 : Matériaux de construction. (2021). Eloïse van Steenkiste.

Expérimenter le recyclage sous la forme d'un élément de second œuvre était une approche sécurisante avant de s'engager sur la fabrication d'éléments structurels. La quantité de gravats récupérée représentait environ 1 m³. Ces gravats, de natures différentes (brique, parpaing, roche, carrelage et tuile), ont été transportés jusqu'à l'atelier de recyclage à l'aide d'une brouette. L'étape qui suit consiste à récupérer une quantité convenable de gravats pour la fabrication d'une dalle de 30 cm par 30 cm et de 2 cm de hauteur. Etant donné que le mélange contient d'autres substances, je me suis basée sur les dimensions de la dalle pour constituer l'échantillon, qui équivaut à 1 800 cm³ de gravats. Vient alors l'étape du nettoyage qui permet de retirer des gravats les éléments non désirables comme des petits morceaux de bois ou de plâtre qui peuvent se trouver agglomérés aux débris. L'étape suivante consiste au concassage des gravats. Pour cela, l'utilisation d'une masse est requise. N'ayant pas de concasseur mécanique, il m'a fallu une demie

227. *ibid.*

heure pour obtenir des granulométries acceptables, pas trop massives par rapport aux dimensions de la dalle. De ce concassage, j'ai récupéré plusieurs fragments de tailles diverses, que j'ai souhaité utiliser sans déterminer de granulométrie précise. De fines fractions, majoritairement de briques, ont été ajoutées à l'échantillon afin de teinter le mélange.

Afin de fabriquer la dalle, la préparation d'un moule en bois a été faite au préalable. Il a été nécessaire de rendre ce moule le plus imperméable possible en enduisant ses faces d'huile neutre, pour faciliter le démoulage. Une fois les gravats concassés, il a fallu réunir l'ensemble des ingrédients pour constituer le mélange : de l'eau, du sable et un liant hydraulique. Afin d'obtenir un élément de forte solidité, j'ai fait le choix d'utiliser du ciment comme liant. Ici de couleur blanche, pour créer un fort contraste avec les gravats de couleur ocre principalement. Les proportions du mélange sont : 1 volume de ciment + 2 volumes de sable + 3 volumes de gravats + 0,5 volume d'eau. L'assemblage des éléments s'est fait dans une brouette à l'aide d'un malaxeur. Le ciment, le sable et les gravats sont mélangés. L'eau est ajoutée par la suite et réagit avec le liant hydraulique, ce qui permet l'agglomération de tous les gravats lors du séchage. Le sable, lui, permet de rendre le mélange plus compact et plus résistant.

Il est important d'être vigilant lors de l'étape du coulage afin que les gravats les plus volumineux ne se déposent pas tous dans le fond du moule. Le séchage a duré une quinzaine de jours dans un endroit sec dont une partie à l'air libre pour obtenir un séchage complet en surface et au cœur. Il est possible de définir plusieurs types de finitions en fonction de l'utilisation de la dalle. Dans le cadre de cette expérimentation, seul un ponçage a été effectué. Cette étape a permis à de nombreux éléments d'être révélés en surface. C'est à ce moment-là que la valeur esthétique des matériaux démolit réapparaît, prouvant qu'un autre cycle de vie est possible pour ces gravats. Ils servent à la fois à la solidité du mélange mais aussi à son rendu esthétique, dont une multitude de possibilités peuvent être déterminées au préalable. En fonction des gravats utilisés, qui peuvent être triés par nature, par couleur ou mélangés, le choix apparaît aussi vaste que pour les matériaux neufs sur catalogue.

La dalle n'a finalement pas été testée pour un usage au sol définitif et restera, dans le cadre de cette expérimentation, un élément de décoration. Sa structure ne permet pas de s'en servir comme revêtement sur le long terme, même posée sur une chape. La méthodologie de fabrication détaillée ici, pourrait tout de même être développée en chaîne puisque chaque étape peut être effectuée mécaniquement en fonction de la



Figures 81 : Expérimentation de recyclage de gravats mixtes. Différentes granulométries sont incluses au mélange. Fabrication d'une dalle. (2021). Eloïse van Steenkiste.



Figure 82 : Gravats en mélange. (2021). Eloïse van Steenkiste.



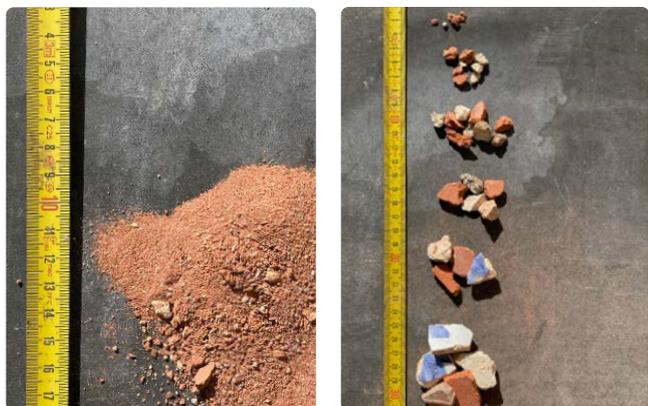
Figure 83 : Dalle de revêtement de sol à partir de gravats recyclés. Eloïse van Steenkiste.

quantité de gravats à recycler et du nombre de dalles souhaitées. Pour ce faire, il serait judicieux de remplacer le moule en bois par des éléments de coffrage métalliques tous calibrés et identiques. Se pose néanmoins la question de l'utilisation du ciment et du sable, dont la fabrication et l'extraction sont des facteurs considérables du dérèglement climatique. D'autres expérimentations plus poussées pourraient mener à l'utilisation d'autres matières en remplacement comme la chaux, la terre crue ou l'argile, toujours dans cette optique de fabriquer et construire en réduisant la raréfaction des ressources naturelles et l'empreinte carbone des matériaux.

La seconde expérimentation a consisté à fabriquer une poutre de béton en remplaçant les granulats naturels normalement utilisés par des gravats de démolition. Les granulats, mélangés à du ciment, de l'eau et du sable, améliorent la résistance mécanique du béton (traction, compression, abrasion). Ici, ils seront remplacés par des gravats en mélange. Même si leurs capacités techniques ne sont pas équivalentes à celles de granulats naturels, ils peuvent convenir pour la fabrication d'éléments techniques. Les capacités mécaniques de ces éléments varient en fonction du pourcentage de gravats ajoutés à la formulation. Cette nouvelle composition à partir de gravats recyclés permet de faire face à la très grande quantité de déchets inertes générés par les démolitions. Contrairement à l'expérimentation de la dalle qui avait pour but de produire un matériau fini pouvant être utilisé en élément visible de revêtement ou de décoration, la finalité de cet essai reste d'expérimenter le processus du recyclage des gravats pour la fabrication d'une simple poutre. Étant dans l'impossibilité de tester les résistances mécaniques de cette poutre, son usage ne peut convenir en structure.

Cette fois-ci, les gravats ont été récupérés dans une déchetterie publique à proximité de l'atelier de recyclage. Nombreuses d'entre elles acceptent le dépôt de gravats. Des monticules se forment, dans l'attente de leur traitement. Ils sont une ressource considérable pour la fabrication de matériaux. Ils peuvent notamment servir à des particuliers pour la fabrication de chemins privés ou de couches drainantes. Les professionnels n'ont, eux, pas l'habitude de se servir dans ces tas d'inertes pour les valoriser.

Une fois les gravats ramenés dans l'atelier de recyclage à l'aide d'un sac d'une contenance d' 1 m^3 , il a fallu les nettoyer. Ici, la quantité utilisée est plus importante que pour la dalle. Je me suis basée sur le volume de la poutre à réaliser pour déterminer un échantillon de gravats précis. Les dimensions de la poutre sont de 130 cm par 12,5 cm et 4,5 cm de hauteur. Pour une inclusion à hauteur de 100 % - donc aucun recours à des granulats naturels - la quantité de gravats nécessaire est d'environ $3\ 100\ \text{cm}^3$. L'étape du concassage s'est faite à l'aide d'une masse, de la même manière que pour la dalle. Les gravats en mélange sont principalement des morceaux de briques,



Figures 84 : Expérimentation de recyclage de gravats mixtes. Différentes granulométries sont incluses au mélange. Fabrication d'une poutre. (2022). Eloïse van Steenkiste.



Figure 85 : Poutre fabriquée à partir de gravats recyclés. (2022). Eloïse van Steenkiste.

de tuiles, de carrelages et de faïence. Afin de s'approcher le plus d'une formulation de béton classique, seuls les gravats s'apparentant le plus à la granulométrie des granulats naturels ont été sélectionnés. Pour que le mélange soit homogène et résistant, j'ai utilisé des gravats de tailles similaires, de 1 à 2 cm de diamètre. L'utilisation de gravats concassés dans la fabrication de cette poutre permet aussi de la teinter dans la masse. La poudre de gravats de brique, très concentrée en pigments rouges peut être ajoutée au mélange pour lui donner une couleur particulière. Les proportions du mélange sont toujours : 1 volume de ciment + 2 volumes de sable + 3 volumes de gravats + 0,5 volume d'eau. Pour teinter le ciment, j'ai ajouté l'équivalent de 500 grammes de poudre de brique. L'assemblage s'est fait dans une brouette à l'aide d'un malaxeur. Afin de rendre le moule de la poutre imperméable, je l'ai scotché dans son ensemble. De cette manière, le scotch laisse sur la poutre de légers liserés qui rappellent l'utilisation de banches et permet une démoulage facile. Une fois le mélange coulé, j'ai fait ressortir les bulles d'air emprisonnées dans la matière, de sorte que le mélange soit le plus compact possible. Le séchage a duré une vingtaine de jours dans un endroit sec dont une partie à l'air libre pour obtenir un séchage complet en surface et au cœur. Il est également possible de définir plusieurs types de finitions en fonction du rendu souhaité. La poutre peut rester similaire à celle fabriquée à partir d'un béton classique ou peut être poncée afin de révéler les gravats recyclés. Tout comme la dalle de revêtement, une multitude de finitions sont possibles. Pour un élément structurel cela peut paraître anodin mais le recyclage des gravats, notamment *in situ*, confère à la poutre des qualités mnémoniques et esthétiques qui peuvent être anticipées et incluses dans les projets.

Ces deux expérimentations participent donc à la recherche sur le recyclage des gravats et à la formulation de premiers résultats. Pour le moment, ils sont assez concluants quant au processus de recyclage puisque les éléments réalisés s'apparentent à des matériaux neufs distribués dans le secteur de la construction. Le principe de réversibilité de la matière est maintenu puisque le recyclage s'est fait à partir de déchets de démolition considérés en ressources (cf. figure 85, p.123). Si des études techniques viennent à confirmer ces essais, la démolition d'un ouvrage pourrait donc mener à la réalisation d'éléments de second œuvre et d'éléments structurels. Pouvons-nous imaginer un bâtiment entièrement construit à partir des restes de celui qui le précédait ? Comment cela pourrait figurer dans le processus de création architecturale ? Mon observation se heurte néanmoins à la limite d'utilisation réelle de ces deux objets en tant que matériau de parement et élément de structure. Les processus de fabrication développés lors de ce sujet de recherche pourront devenir génériques à la seule condition d'une validité technique des produits finis, ce que j'espère dans un futur proche.



CONCLUSION

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

L'exploration de la ville comme une entité vivante et variable se révèle être une combinaison d'enjeux, sociaux, économiques, environnementaux et architecturaux. Son rythme d'évolution croissant, soutenu par l'industrialisation de nos moyens de construction et l'aseptisation des matériaux, la conditionne à consommer et déverser de la matière continuellement. Les opérations inhérentes au renouvellement de la ville, que sont la démolition et la construction, font de celle-ci une entité consommatrice et prédatrice des ressources naturelles. L'écart est trop important entre ce que nous puisons et ce que la nature est capable de produire. Nous ne lui laissons pas le temps de se régénérer, au risque de provoquer nombre de dérèglements. « L'Homme n'est pas entièrement coupable : il n'a pas commencé l'histoire, ni tout à fait innocent, puisqu'il la continue »²²⁸, énonce Albert Camus quant à la responsabilité collective dans la conservation de notre planète. Nous nous trouvons à la limite d'une période de l'histoire démesurément polluante qu'il est nécessaire de faire basculer vers une ère aussi favorable aux écosystèmes qu'à l'humanité. Ce constat oblige, dorénavant, à une prise de position lucide quant à la valeur de ce que nous produisons et de sa conservation en considérant la ville comme un gisement de matières naturelles et anthropiques.

L'orientation durable que nous devons emprunter mène notre rôle de bâtisseur à de larges responsabilités. Les architectes Julien Choppin et Nicola Delon nous rappellent que « l'humanité n'a jamais autant consommé de matière au moment même où elle accumulait d'immenses savoirs »²²⁹. Nous avons déjà de nombreux acquis et moyens à notre disposition pour développer des trajectoires adaptées et censées, en corrélation avec les enjeux environnementaux actuels. Les savoirs que nous avons développés au service d'une ville moderne et en réseaux, doivent également servir sa préservation. Ces changements nécessaires des systèmes urbains doivent être menés par la multitude d'acteurs dont les connaissances et responsabilités s'appliquent à ces évolutions. En tant qu'architecte, notre posture doit s'adapter : plus attentive, plus contextuelle, plus économe, moins égocentrée et plus locale. Comme toujours, les contraintes nouvelles ne sont pas un frein à la créativité mais le moteur de l'innovation et de voies insoupçonnées.

Arrivée à la fin de mon cycle d'étude sur l'architecture, la ville et les territoires, ces observations résonnent particulièrement avec mon futur engagement professionnel. Quel rôle ai-je à tenir dans les évolutions qui doivent accompagner le secteur de la construction ? Naturellement, j'ai souhaité mobiliser mes connaissances et mes observations à l'élaboration d'hypothèses

et de propositions via le prisme de la matière. Sans elle, rien n'existe. Cette substantifique moelle est essentielle à nos villes, indispensable, tellement présente qu'elle en devient invisible, comme un acquis absolu définitivement disponible. Tout ce qui nous entoure en est constitué, et ce depuis le premier abri de l'Humain. Or, les matières que nous puisons pour bâtir se tarissent. Puisque le secteur de la construction est l'un des plus importants consommateurs de ces ressources, il est donc l'un des premiers responsables de la mutation de nos modèles de conception, de gestion et d'exécution. « Sur sa carrière, un architecte aura livré près d'un million de fois son propre poids » calcule l'architecte et ingénieur Raphaël Ménard²³⁰. Même si cette révélation est équivoque, c'est dire l'influence de l'architecte dans l'orientation que prend notre société.

La matière est inhérente à notre cycle actuel de construction : elle est extraite, transportée, transformée et assemblée. Elle provient toujours de notre environnement et agir sur son cycle, c'est préserver ce qu'il nous reste (cf. figure 86, p.126). Par ce sujet de recherche, dont la matière est le fil conducteur, je souhaite défendre l'économie de moyens au service d'une ville durable et soutenable. La matière étant intrinsèque à la constitution des villes, elle est une des composantes principales de leurs mutations. Le préfet de la Seine Eugène Poubelle, en imposant l'usage d'un contenant éponyme en 1884, y a pleinement participé en démocratisant un procédé de gestion du dernier cycle de vie de la matière. Dernier cycle de vie, entièrement provoqué par l'Humain, qui plonge la matière dans une gestion anthropique linéaire. Nous sommes les seuls à décider de la fin de la matière et nous provoquons même son obsolescence. Une fois dépréciée, elle est considérée comme un déchet sans possibilité d'exprimer certaines valeurs qu'elle possède encore. Ainsi, envisager les déchets comme de véritables ressources primaires et secondaires consiste à limiter notre dépendance aux ressources naturelles et surtout, à ne plus produire de déchets.

Appliquée au secteur de la construction, cette notion de déchet tient une place majeure dans les émissions polluantes rejetées. Elle s'apparente à la mise au rebut d'un grand nombre de matériaux qui fabriquent nos villes. Le rythme croissant du renouvellement est tel que les quantités de déchets issues des démolitions et constructions du bâtiment et des travaux publics représentent 340 millions de tonnes par an. Autant de matériaux dont les cycles de vie pourraient être prolongés ou multipliés de différentes manières. Ce qui pose question se situe globalement autour de la logique : extraction - consommation - rejet. Comment pourrions-nous réintroduire dans la

228. Camus, A. (1965). *L'homme révolté*. Gallimard. Bilibothèque de la Pléiade. p.700.

229. Choppin, J., Delon, N., & Heureux, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.14

230. *ibid.* p.165. Détail donné : 50 ans x 1 000 m² par an x 1 tonne par m² = 50 000 tonnes.

ville les déchets qu'elle rejette ? L'étude de ces phénomènes est une façon d'appréhender les spécificités urbaines au service de son renouvellement. Le détournement des déchets apparaît comme un besoin vital pour optimiser les ressources par des stratégies cycliques vertueuses. Une fois adoptées, maintenir ces tendances constantes et structurées dans un marché principal où la démolition et la mise au rebut sont des banalités est un réel enjeu. En réaction à cela, la pratique du recyclage, dont les procédés peuvent être automatisés, apparaît comme une hypothèse de réversibilité pour introduire la matière dans un nouveau cycle.

Les déchets inertes, caractéristiques de l'accroissement urbain, représentent 70 % des déchets produits par le secteur du bâtiment. Chaque projet impliquant une construction ou une réhabilitation, est générateur de déchets inertes. Chaque action volontaire sur un bâtiment ou un ouvrage, comme la démolition engendre également ce type de déchet. Dans d'autres cas, il se peut que ces déchets soient produits indépendamment de l'action de l'Humain mais par d'autres causes, comme des sinistres, des effondrements, des contextes de guerre ou des catastrophes naturelles.

La quantité de ces déchets inertes est telle que le devenir de ces pondéreux est déjà pris en compte par les politiques publiques qui imposent leur gestion. Ces gravats sont souvent traités comme remblais, principe qui se rapproche le plus de ce que l'on pourrait observer dans la nature. Matières minérales puisées et transformées, une fois considérées comme inexploitable, elles retrouvent, en partie, les carrières dans lesquelles elles ont été extraites. Ces déchets anthropiques, jugés inoffensifs redeviennent donc constitutifs de la couche terrestre. A priori, cette solution de traitement est neutre puisque la matière retrouve son environnement d'origine et finit par y être réabsorbée. Mais cette conduite de gestion amplifie nos comportements irréversibles qui consistent à puiser et à rejeter sans compter. De par leurs quantités et leurs caractéristiques matérielles, les gravats s'adaptent bien au procédé de transformation en sous-couches routières pour le secteur des travaux publics, qui est une pratique courante et très structurée mais oriente néanmoins les gravats vers un usage déclassé.

Dans un contexte d'une future ville autosuffisance et dans l'espoir que notre société métropolitaine cesse de démolir sans compter : **comment les gravats générés par les villes peuvent devenir des ressources par un processus de réversibilité incluant un changement d'état de la matière ?**

L'hypothèse avancée dans ce projet de recherche est que les gravats peuvent être considérés comme une stratégie pour une ville auto-suffisante et raisonnée. En étant inclus dans la construction de bâtiments sous la forme de matériaux, la ville

récolte en son centre ce dont elle a besoin pour perdurer dans une logique de valorisation et de gestion de ces éléments inertes. Cette démarche nous pousse à poser un autre regard sur ces déblais dont la ville ne veut plus. Via leur recyclage et leur réinterprétation, ils retrouvent leurs sens premiers : celui de ressource. La gestion de la matière, par ses flux et ses composantes, devient un paramètre viable et un moyen d'actions face à l'urgence d'agir :

Construire, c'est accumuler, économiser, mettre du temps (et de l'énergie) en réserve. En d'autres termes, et à l'inverse de l'acte de consommer, c'est donner de l'espace au temps ou du temps à l'espace, ralentir le processus anthropique qui précipite les choses et les objets vers leur désintégration. Penser, comme construire, consiste souvent à trouver un nouveau sens aux pensées qui sont parvenues jusqu'à nous, à les récupérer et à les réfléchir.²³¹

Explorations dans le contexte de la ville matérielle.

L'être humain se sert depuis toujours des ressources naturelles à proximité pour bâtir. Il exploite de manière concentrée des zones géographiques très abondantes et construit là où la ressource se trouve. L'architecture est empreinte des matières à proximité et chaque lieu à sa propre identité. Chaque architecture doit ses spécificités à l'environnement dans lequel elle est construite (architecture vernaculaire). L'exploitation locale des ressources et le système artisanal ont été, pendant des millénaires et à travers le monde, la norme.

Le XIX^e siècle marque un tournant dans l'histoire de la construction des pays développés et propulse la mécanisation du travail, la production de biens manufacturés et les chaînes de fabrication à fort potentiel de productivité au rang de préceptes. L'exploitation exclusive des ressources de proximité cesse peu à peu au profit d'échanges généralisés et internationaux. Ce ne sont plus les constructions qui sont érigées aux pieds des ressources mais les ressources qui parcourent de grandes distances vers les centres de peuplement. Les pratiques de construction changent en quelques décennies et le mode de fonctionnement qui en découle tient d'une logique linéaire.

Les conséquences négatives de ce processus historique sont très nombreuses sur nos sociétés et notre environnement. La production mécanisée à grande échelle de biens manufacturés dans des usines est synonyme de progrès techniques mais impose des procédés de gestion des ressources qui consistent à extraire, transporter, transformer, utiliser et jeter. La concentration démographique de plus en plus importante durant le XX^e siècle entraîne les systèmes métropolitains à une forte densité de population, de flux et de services et donc de matières bâties.

231. Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Éditions du Pavillon de l'Arsenal. p.107.

Les villes sont prédatrices de nombreuses ressources qui y sont accumulées et stockées avant d'être jetées lorsqu'elles n'ont plus d'utilité. Les ressources naturelles, une fois prélevées de leurs milieux et transformées en produits manufacturés à destination du secteur du Bâtiment et des Travaux Publics ne rejoignent quasiment jamais leurs environnements d'origine à la fin de leurs cycles de vie. L'ensemble des centres urbains dans lesquels nous vivons est le produit d'une évolution incessante qui provoque renouvellement, densification et étalement urbain. Ces stratégies entraînent une densification très importante des stocks anthropiques urbains et sont génératrices de quantités conséquentes de déchets.

L'impact que l'industrialisation massive des modes de production a sur la planète est tel qu'il est nécessaire de résilier ce modèle au profit d'un fonctionnement écosystémique vers un nouveau paradigme plus cohérent. Afin de pallier à l'épuisement grandissant des ressources naturelles pour la fabrication et la densification des centres urbains, la ville doit être considérée comme un véritable métabolisme qui concentre ce dont elle a besoin pour évoluer. Les matériaux de construction, chargés de valeurs, sont constitutifs de la ville, qui devient une zone de stockage pérenne et d'approvisionnement potentiel et futur au service de son renouvellement. La ville ne doit plus être vécue, organisée et développée comme une entité déséquilibrée qui affermit la dégradation des écosystèmes naturels mais comme un organisme résilient et à fort potentiel auto-suffisant.

Les matériaux de construction sont la matière la plus consommée par les villes et représentent donc la majeure partie des déchets qu'elles produisent. Valoriser ces déchets de manière structurée engagerait la ville dans la perspective d'un fonctionnement global et circulaire au service de sa durabilité. Cette vision ciblée de la ville « matérielle » comme assemblage d'éléments dormants et vivants a pour but la structuration qualitative et quantitative de la circulation des matériaux au sein de celle-ci et avec l'extérieur. Il est nécessaire de considérer les gisements urbains comme des stocks de matières valorisables en les mettant en parallèle avec ce dont la ville a besoin pour évoluer afin de rendre stable et permanent des méthodes circulaires de gestion des ressources comme le réemploi et le recyclage.

Gestion intégrée des ressources urbaines.

L'être humain a toujours valorisé les matériaux qu'il utilisait et les ressources naturelles qu'il exploitait pour faire perdurer les éléments architecturaux et les pratiques de construction à travers le temps. Jusqu'au XIX^e siècle et la révolution industrielle, la revalorisation de la matière est courante et le réemploi est une manière avantageuse de bâtir. La récupération de matériaux de construction dans d'anciens bâtiments confèrent aux nouveaux édifices une valeur symbolique certaine et permet un transport, un coût et un impact sur l'environnement moindres et maîtrisés.

L'industrialisation de nos modes de production et de construction propulsent la revalorisation des matériaux de construction au rang de parenthèses historiques. Les pratiques cycliques comme le réemploi ou le recyclage sont considérées comme contre-productives. Le XIX^e siècle ancre notre société industrialisée dans une dépendance à la mécanisation de nos gestes et à une automatisation de nos pensées, ce qui provoque la perte des savoir-faire et une domination des matériaux préfabriqués. Cette industrialisation a permis un remplacement très rapide de n'importe quel élément de construction ou de produit de consommation une fois considéré comme altéré. De ce fait, notre société s'est engagée dans une production non maîtrisée et exponentielle de déchets de tous types. Accéléralé par l'obsolescence programmatique, le système urbain évolue sans cesse et très rapidement, ce qui génère un nombre très important de constructions et de démolitions, donc de nombreux déchets.

Les déchets liés aux activités du bâtiment et des travaux publics sont encadrés et leur gestion est obligatoire. Les déchets parcourent la hiérarchie de traitement qui leur correspond le mieux en fonction de leur nature et de leur état. De nombreux déchets sont encore orientés vers les méthodes d'incinération et d'enfouissement, très polluantes pour l'environnement, ce qui crée le gaspillage des ressources naturelles, l'absorption de matériaux anthropiques par les écosystèmes naturels et la dévalorisation des zones géographiques.

Dans le contexte de la ville « matérielle » résiliente et auto-suffisante, il est primordial de relier, dans les pratiques de renouvellement urbain, l'approvisionnement en matériaux de construction et la valorisation des déchets. Les filières de réutilisation, de réemploi et de recyclage, nécessaires au développement d'une ville durable et soutenable, doivent devenir systématiques et leurs applications généralisées. Certaines de ces pratiques comme la réutilisation et le réemploi court-circuitent même la production de déchets puisqu'elles interviennent avant que celui-ci ne soit produit. Ces deux modes de traitement ne peuvent être appliqués qu'à une partie des matériaux de construction, qui doivent être déconstruits et toujours intacts pour être valorisés. En France, les pratiques du réemploi peinent à concurrencer les filières de matériaux neufs très productives et organisées. Mais de nombreux acteurs sur le terrain tentent de répondre aux défis organisationnels, logistiques, techniques et culturels pour le déploiement de cadres génériques et spécifiques au réemploi. Cet engagement doit être porté par l'ensemble des acteurs du secteur du BTP, qui ont chacun leur responsabilité quant à l'évolution plus vertueuse de la filière dans laquelle ils évoluent mais aussi vis-à-vis de l'impact sur l'environnement de la fabrication d'un matériau ou de la construction d'un édifice. La responsabilité des décideurs politiques est de la même manière engagée, afin d'encourager et de soutenir le recours à la valorisation des matériaux de construction. Il s'agit de revenir à des pratiques qui étaient fréquentes avant la révolution industrielle.

Ce travail de recherche sur la réversibilité de la matière et la transformation des gravats est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre a présenté une vision globale sur les matériaux de construction, de leur extraction à leurs utilisations ainsi que sur l'avènement des pratiques industrielles qui ont engendrées une mutation profonde de notre société. Mais aussi sur les systèmes urbains et leur nécessaire résilience face aux enjeux sociétaux actuels. Le deuxième chapitre, s'est attardé sur la forte production de déchets et l'implication de chacun dans la valorisation des matériaux de construction par la réutilisation ou le réemploi. Ces deux premiers chapitres ont également abordé certaines thématiques qui gravitent autour de la matérialité, de la ville et de ses déchets et de la construction à l'ère de l'Anthropocène. Il était nécessaire d'analyser le contexte actuel avec précision afin d'établir des constats et de définir des éléments de prévision. Ces deux premiers chapitres d'observation exposent les paramètres à prendre en compte pour toutes propositions visant à modifier les systèmes en place. C'est pourquoi, il était donc fondamental de m'informer sur les pratiques actuelles, de les contextualiser et de retranscrire l'ensemble des informations retenues dans ces deux premiers chapitres afin de répondre au mieux à la problématique.

Réversibilité des gravats urbains.

Face à la domination des démolitions qui engendrent un très grand nombre de déchets et au manque de structuration des pratiques du réemploi pour les éviter, il est nécessaire de développer des moyens durables et structurés de traitement des déchets du secteur du Bâtiment et des Travaux Publics.

Les gravats représentent la majeure partie des déchets produits par le secteur du bâtiment et constituent un stock de matière considérable. Les gravats sont une catégorie de déchets issus de la construction, de la démolition, de la réhabilitation, d'effondrements, de contextes de guerre ou encore de catastrophes naturelles. Ces déchets, de nature minérale (pierre, brique, tuile, béton, parpaing, ciment, etc.) sont pour la majorité, traités comme remblais de carrières ou comme sous-couches routières. Aujourd'hui, ces techniques de valorisation sont organisées et effectives mais orientent ces matières vers un usage déclassé tandis que des matériaux neufs de même type sont produits à partir de filières très polluantes.

Ce gisement de gravats, imperméable aux aléas du temps, peut tout à fait être considéré comme un stock de matières premières pour la fabrication de matériaux de construction. Dans une logique circulaire et vertueuse, cette matière, détruite par l'Humain, possède toujours de nombreuses qualités, esthétiques, historiques ou encore structurelles qui peuvent être revalorisées. Ces qualités, devenues intrinsèques aux gravats, peuvent devenir de véritables particularités et spécificités dans la fabrication de nouveaux matériaux.

Les gravats ne peuvent pas être réemployés au sens premier du terme, puisque s'ils sont gravats c'est qu'ils ont déjà été considérés comme des déchets. De plus, en tant que débris de différentes formes et tailles non conventionnelles, leur réemploi ne peut se faire en tant que tel (sauf sous la forme de gabions). La fabrication de nouveaux matériaux de construction à partir de gravats dépend donc d'un processus de recyclage impliquant un changement d'état de la matière. Cette pratique concernant les gravats n'est pas encore généralisée mais se base sur des procédés de recyclage déjà existants. Les gravats sont traités et modifiés suivant des étapes similaires au recyclage des bétons ou des gravats en sous-couches routières. Même si ces étapes utilisent des énergies tierces et peuvent générer des co-produits, leurs impacts sont minimes par rapport à ceux générés par l'industrie des matériaux neufs. Il pourrait même être envisagé d'utiliser les moyens de production des industriels à des fins plus vertueuses et que leurs modes opérationnels soient au service du prolongement du cycle de vie des matériaux.

En fonction des stocks de gravats urbains générés, les nouveaux matériaux peuvent prendre des formes, des teintes, des fonctions, et des finitions différentes. L'environnement et le contexte dont dépendent les gravats vont avoir une incidence sur les nouveaux produits. Il est donc intéressant d'anticiper dès la conception de ces nouveaux produits l'environnement de provenance des gravats mais aussi celui dans lequel ils vont à nouveau prendre place. La subtilité tient dans le fait de réussir à conserver les différentes qualités de leurs vies antérieures tout au long du processus de modification et de transformation afin de créer de nouvelles matérialités qualitatives. A la manière des matériaux neufs, en fonction des caractéristiques des gravats, il est possible de choisir l'aspect et de nombreux autres paramètres souhaités. Ces nouveaux éléments peuvent prendre la forme de dalles de revêtement de sols, de parement de murs, d'objets comme des claustras, d'éléments de mobilier, d'éléments de finition, de cloisons, etc. Par leur recyclage, les gravats rejoignent à nouveau le secteur de la construction et redeviennent des éléments constitutifs des villes sans être dévalués, dans une économie des composants naturels et la valorisation des déchets. La réversibilité des gravats en éléments de second œuvre et en éléments structurels est possible mais les faisabilités techniques et les normes réglementaires de leurs recyclage freinent encore cette pratique, ce qui limite leur justification par rapport à la mise en œuvre de matériaux neufs. Les méthodologies de transformation des gravats doivent être développées de manière organisée et professionnelle afin d'obtenir davantage de validations techniques. Ces processus de fabrication doivent être viables et durables, afin de ne pas engendrer rapidement, et à nouveau, des déchets issus de matériaux de construction. L'approche matérielle du renouvellement urbain et de la ville résiliente oriente l'architecture vers de nombreuses possibilités au travers d'une approche contemporaine, sensible, patrimoniale, esthétique, technique et durable.

Grave-acte ! énonce donc les prémisses d'une mobilisation et d'un engagement personnel pour le recyclage des gravats dans les pratiques de construction. Objets d'étude pluridisciplinaire, les gravats sont une source d'engouement et d'intérêt pour moi. Ils évoquent à la fois des conceptions esthétiques, techniques, historiques et sensorielles. Composés de matières minérales, ils ont cette faculté de ne jamais périr et sont le reflet d'une multitude de possibilités. Tout est à penser quant à la structuration d'une filière de recyclage les concernant. Certains s'engagent déjà dans cette voie, autant en expérimentant que sur le terrain à l'échelle 1. Entre établir des formulations techniques de recyclage (Projet National Recybéton), innover et créer des processus de transformation (Néolithé), invoquer et révéler le caractère mnémonique des gravats (Rebirth Brick), matérialiser des opportunités de recyclage (Fresk), coordonner les pratiques et les acteurs (Marbre d'Ici) ou encore expérimenter sans limites (CIGUË), chacun peut y trouver son compte et développer la démarche qui lui convient le mieux.

Rejoindre ces précurseurs, en participant moi-même à l'élaboration d'alternatives, est un objectif. Ce travail de recherche en est une première étape qui m'a permis de me nourrir sur le sujet pour voir plus loin. Grâce à cet état de l'art non exhaustif, je peux d'ores et déjà anticiper avec conviction les voies professionnelles que je souhaite rejoindre. Elles seront très opérationnelles, à l'image du travail que mène la designer Anna St-Pierre. Rassembler les savoir-faire et les connaissances des artisans et les possibilités techniques des laboratoires de matériaux pour produire des propositions tangibles et structurées grâce à l'office créative d'une agence d'architecture, donne lieu à des possibilités illimitées. Le temps entrepris et l'énergie engagée à l'écriture de ce mémoire illustrent la valeur que je donne à ce contexte de recherche. L'étape suivante consiste à investir les connaissances rapportées dans un projet d'architecture via le Projet de Fin d'Étude (PFE). Après les expérimentations que j'ai menées sans avoir pu les intégrer à un projet bâti, il va s'agir, ici, de générer des possibilités architecturales du recyclage des gravats, autant dans une proposition structurelle qu'un agencement spatial. Il va de soi que mon engagement professionnel sera modelé par toutes ces affinités, mises au service d'une mutation nécessaire des pratiques de construction que je ne veux pas ignorer. Cette orientation se précisera à l'issue de mon cursus d'étude et s'accordera avec les dimensions sociétales, politiques, technologiques, législatives, environnementales et philosophiques évoquées dans ce travail.

Grave-acte ! c'est plaider pour un futur proche, où les gravats seront des matériaux de construction pour la composition d'une ville durable et soutenable.



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BONDEAUX
DOCUMENT PROTÉGÉ AU DROIT D'AUTEUR

FIG 87. QUESTIONNEMENTS SUR LA VILLE, BIENNALE DE VENISE, 2013. LARA ALMARCEGUI



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Un jour, dit la légende, il y eut un immense incendie de forêt. Tous les animaux terrifiés, atterrés, observaient impuissants le désastre. Seul le petit colibri s'activait, allant chercher quelques gouttes avec son bec pour les jeter sur le feu. Après un moment, le tatou, agacé par cette agitation dérisoire, lui dit : "Colibri ! Tu n'est pas fou ? Ce n'est pas avec ces gouttes d'eau que tu vas éteindre le feu !" et le colibri lui répondit : "Je le sais, mais je fais ma part."

La légende amérindienne du colibri, racontée par Pierre Rabhi.

BIBLIOGRAPHIE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

- AFP. (2018). Le volume des déchets pourrait augmenter de 70% dans le monde d'ici 2050. *Géo magazine*. <https://www.geo.fr/environnement/le-volume-des-dechets-pourrait-augmenter-de-70-dans-le-monde-dici-2050> (consulté le 19 mars 2021)
- Agence parisienne du climat. (2021). Le métabolisme urbain au service de la transition écologique. *Agence parisienne du climat*.
- Amphoux, P. (2004). Le renouvellement urbain en marche. *Les Annales de la Recherche Urbaine*, 2004, n°97, pp. 137-140.
- Arrabi, N., Berredjem, L. (2011). Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons. *Revue francophone d'écologie industrielle*. N°60.
- Augisseau, V. (2018). *L'analyse des flux et stocks de matériaux de construction : un support pour des démarches et politiques d'économie circulaire*.
- Augisseau, V. (2018). *Flux de matériaux de construction et déchets de chantier en Ile-de-France : quel rôle des processus d'urbanisation ?* Les cahiers du développement durable.
- Bardet, J.P., Chaunu, P., Desert, G., Gouhier, P., Neveux, H. (1971). *Enquête d'Histoire économique, XIVe-XIXe siècles*. Tome I : Maisons rurales et urbaines dans la France traditionnelle. Editions Garnier Frères. p.445.
- Barles, S., Bahers, J.B. (2019). Transition ou consolidation du régime dominant : le métabolisme urbain en question. Université Gustave Eiffel. *Flux*. N°116-117. p.1-5. <https://journals.openedition.org/geocarrefour/11950> (consulté le 21 juin 2021)
- Barles, S. (2002). Le métabolisme urbain et la question écologique. *Les Annales de la recherche urbaine*. Vol. 92, No°1, p.143-150. *Persée-Portail des revues scientifiques en SHS*. <https://journals.openedition.org/geocarrefour/11950> (consulté le 13 avril 2022)
- Barles, S. (2005). *L'invention des déchets urbains : France, 1790-1970*. Editions Champ Vallon. p. 297.
- Barles, S. (2008). *Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes*. Responsabilité et environnement. <https://www.anales.org/edit/re/2008/re52/Barles.pdf> (consulté le 29 décembre 2021)
- Bertin, I., Mimram, M., & al. (2015). *Réflexion sur la matérialité*. <https://fr.calameo.com/read/003968688975003ae44ac> (consulté le 14 avril 2022)
- Besson, R. (2020). Quel modèle pour une ville vraiment vivante ? *La Gazette*.
- Bodet, R., Fonteny, S., Pillard, W. (2014). *Détermination des freins à l'utilisation des granulats recyclés en France*. RECYBETON.
- Boino, P. (2005). *La ville, ressource de son développement*. Institut d'Urbanisme de Lyon, Université Lumière Lyon II.
- Boucard, J. (2019). *La question du réemploi dans la construction des monuments publics romains*. Éditions de la Sorbonne.
- Boudreau, J. P. (2020, 8 décembre). L'architecture doit s'ouvrir à la nature. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/debats/opinions/2021-01-17/l-architecture-doit-s-ouvrir-a-la-nature.php> (consulté le 07 mai 2022)
- Brechet, Y. (2013). *La Science des matériaux. Du matériau de rencontre au matériau sur mesure*. Leçon inaugurale du Collège de France.
- Burat, A. (1843). *Géologie appliquée, ou, Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*. p. 552.
- Burgel, G. (2006). *La revanche des villes*. Hachette Littératures. p. 205.
- Buttin, G. (2020). *Le béton, mis au défi des enjeux environnementaux*. La Fabrique Ecologique. <https://www.lafabriqueecologique.fr/le-beton-mis-au-de-fi-des-enjeux-environnementaux/> (consulté le 18 avril 2021)
- Calas, G. (2015). Les ressources minérales. Un enjeu majeur du développement durable. Leçon inaugurale du Collège de France.
- Causarano, M. A. (2017). *Quantificare le architettura: i materiali da costruzione nei grandi cantieri medievali di Siena*. *Archeologia dell'architettura*. p. 228.
- CEBATRAMA. (2015). *Etude sur les volumes de déchets du BTP et les matériaux recyclés en Aquitaine*. DREAL Aquitaine, FFB, FRTF, UNICEM
- Chaumier, A. (2019). *Spécialiste du réemploi, une nouvelle mission pour les architectes ?* (Mémoire de master sous la direction de Bettina Horsch et Pauline Ouvrard, Ecole d'architecture de Nantes).
- Chiambaretta, P. (2017). Métabolismes urbains : conjuguer des approches complexes. *Stream 04*. <https://www.pca-stream.com/fr/articles/philippe-chiambaretta-metabolismes-urbains-conjuguer-des-approches-complexes-99> (consulté le 04 mai 2022)
- Chiron, F. *Le réemploi dans la construction, une perspective pour une architecture soucieuse de l'environnement* (Mémoire de master sous la direction de Bettina Horsch et de Pascal Joanne, Ecole d'architecture de Nantes).
- Choppin, J., Delon, N., & Heureau, E. (2014). *Matière Grise*. Matériaux/Réemploi. Architecture. p. 365.
- Comte de Buffon, G. L. L. (1780). *Les époques de la nature*. Vol. 1. Imprimerie Royale de Paris. p. 234.
- Corbillé, S. (2015). *La ville vécue*. A propos de Michel Agier, *Anthropologie de la ville*. <https://lavedesidees.fr/La-ville-vecue.html> (consulté le 27 juin 2021)
- de Guillebon, M. (2019). *Vers une pratique du réemploi en architecture : Expérimentations, outils, approches* (Doctoral dissertation, Communauté Université Grenoble Alpes).
- De Sakutin, S. (2019). Les chantiers de démolition, une mine pour les producteurs de matériaux de construction. *Capital*. <https://www.capital.fr/entreprises-marches/les-chantiers-de-demolition-une-mine-pour-les-producteurs-de-materiaux-de-construction> (consulté le 28 février 2022)
- De Temmerman, G. (2021). 2020, l'année où la masse de l'infrastructure humaine a dépassé celle de la biomasse présente sur Terre. *Usbek & Rica*. <https://usbeketrica.com/fr/article> (consulté le 05 avril 2022)
- Documentation CSTB. (2019). *Modéliser un stock de bâtiments dans une perspective matière, déchets et ressources*. Construction21France
- Dozon, J.P., Colleyn, J.P. (2008). Lieux et non-lieux de Marc Augé. *L'Homme, revue française d'anthropologie*. 185-186.
- DREAL Pays de la Loire. (2021). *Analyse des flux de matériaux de construction en Pays de la Loire*. Ministère de la Transition Écologique
- Dumas, C. (2021, 22 février). Le béton et les autres nouveaux ingrédients de la croûte terrestre. *Heidi News*. <https://www.heidi.news/explorations/la-quete-du-clou-d-or-de-l-anthropocene-ou-quand-l-humain-a-commence-a-transformer-la-planete/le-beton-et-le-plastiglomerat-nouveaux-ingre->

dients-de-la-croute-terrestre (consulté le 17 avril 2022)

- Dumazert, F. (2013). Le patrimoine bâti : un gigantesque stock de matériaux recyclables. *Le Moniteur*. <https://www.lemoniteur.fr/article/le-patrimoine-bati-un-gigantesque-stock-de-materiaux-recyclables.792419> (consulté le 30 mars 2022)
- Coutard O., Lévy J.-P. (2010) *Ecologies urbaines*. Economica-Anthropos. p. 371.
- Florentin, D. (2019). Gérer les ressources urbaines « sobrement ». Une transition qui résiste. *Métropolitiques*. <https://metropolitiques.eu/Generer-les-ressources-urbaines-sobrement-Une-transition-qui-resiste.html> (consulté le 28 février 2022)
- Gasnier, H. (2019). *Construire en terres d'excavation, un enjeu pour la ville durable* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes (ComUE)).
- Ghorbel, E., Omary, S., Wardeh, G. (2017). *Évaluation de l'impact d'un dosage de 10 % de recyclé sur les propriétés des bétons*. RECYBETON.
- Gobbo, E. (2021). *La ville comme réserve de matériaux. Comprendre les études de gisement urbain*. FutuREuse
- Guillermé, A. (1991). *Techniques Et Matériaux de construction XIXE-XX siècles, une introduction*. History and Technology. p. 178.
- Guillermé, A. (1995). Bâtir la ville. Révolutions industrielles dans les matériaux de construction. France-Grande-Bretagne (1760-1840). *Revue du Nord*. Tome 79. N°320-321.
- Guini-Skliar, A. (2003). *Les carrières parisiennes aux frontières de la ville et de la campagne*. Histoire urbaine. <https://www.cairn.info/revue-histoire-urbaine-2003-2-page-41.htm> (consulté le 17 février 2022)
- Hermenault, L. (2017). *La ville en mouvements. Circulations, échanges commerciaux et matérialité de la ville* (Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I).
- Hugo, V. (1863). *Les misérables*. Lassalle. p. 549.
- Huygen, J. M. (2008). *La poubelle et l'architecte, vers le réemploi de matériaux*. L'impensé. p. 183.
- Hyppolite, P. (2021). *Vestiges, décombres, gravats et autres restes In : La Ruine et le geste architectural*. Presse universitaire de Nanterre. p. 248.
- Kim, E., Augisseau, V. (2019). *Étude du métabolisme urbain parisien : notes méthodologiques sur les estimations des flux et stocks de matières et résultats*. Citésources. Ville de Paris.
- Le Gall, J., Hamant, O., Bouron, J. (2017). Anthropocène. *Géoconfluences*, rubrique « notion en débat ». <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/anthropocene> (consulté le 14 février 2021)
- Lonjon, C. (2019). *Le dispositif artistique à l'épreuve de la mémoire, une expérience du récit* (Doctoral dissertation, Lyon).
- Marbre d'ici et Bellastock. (2016, 9 octobre). Des chantiers pleins de ressources. *Le Journal du Dimanche*. p.32.
- Marengo, P. (2019). *Guide pour les autorités publiques en matière de construction durable. Une perspective d'économie circulaire*. ACR+.
- Marion, F. (2018). La ville métabolisme. *Up magazine*. <https://up-magazine.info/urbanisme-architecture-paysages/7639-la-ville-metabolisme/> (consulté le 26 mars 2022)
- Messal, S. (2014). *La réanimation des objets mourants* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille Université).
- Mignon, J. M. (2014). Ruines en ville, ville en ruines. *Les nouvelles de l'archéologie*. N°136. p.48-51.
- Mongear, L., Veschambre, V. (2015). *Éléments pour une histoire de la déconstruction : évolutions en matière de démolition de l'habitat social*. <https://shs.hal.science/halshs-01110057/document> (consulté le 13 février 2022)
- Mongear, L. (2017). De la démolition à la production de graves recyclées : analyse des logiques de proximité d'une filière dans l'agglomération lyonnaise. *Flux*. N°108. p.64-79 <https://www.cairn.info/revue-flux-2017-2-page-64.htm> (consulté le 27 décembre 2021)
- Musso, P. La ville "vivante" ou la ville-texte. *Stream 04*. <https://www.pca-stream.com/fr/publications/stream-04-les-paradoxes-du-vivant-7> (consulté le 26 février 2022)
- Noria et Compagnie. (2020). Tentative de guide méthodologique pour la réalisation d'un chantier de dépose sélective.
- Olive, M. (2015). Métropoles en tension. La construction heurtée des espaces politiques métropolitains. *Espaces et sociétés*, (160-161) <https://www.cairn.info/revue-espaces-et-societes-2015-1-page-135.htm> (consulté le 28 avril 2022)
- Peñalta Catalán, R. (2011). La ville en tant que corps: métaphores corporelles de l'espace urbain. *TRANS- Revue de littérature générale et comparée*, (11) <https://journals.openedition.org/trans/454> (consulté le 17 novembre 2021)
- Pouthier, A. (2016). Réemploi, recyclage, démontage... Des solutions pour des bâtiments zéro déchet. *Le Moniteur*. <https://www.lemoniteur.fr/article/reemploi-recyclage-demontage-des-solutions-pour-des-batiments-zero-dechet.1168564> (consulté le 17 mars 2022)
- Roseau, N. (2010). *La ville auto-suffisante*. La Vie des Idées.
- Rotor. (2018). *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*, PPUR. p. 232.
- Roussel, F. (2015, 23 juin). Recycler le béton dans le béton, c'est possible mais pas encore normé. *Actu-Environnement*. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/recybeton-recycler-beton-normes-granulats-deconstruction-elasticite-retrait-24806.php4> (consulté le 15 mars 2022)
- Shankland S. (2015). L'art de recycler pour créer un nouvel espace public. *Industrie Mag*. <http://www.industrie-mag.com/article7594.html> (consulté le 17 septembre 2021)
- Thibaud, J. P. (2010). *La ville à l'épreuve des sens*. Ecologies urbaines : états des savoirs et perspectives.
- Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y., Serre, D., & Laganier, R. (2012). La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine? *Développement durable et territoires*. Économie, géographie, politique, droit, sociologie. Vol 3, n°1.
- Vernus E. De Cazenove A. (2011). Déchets de démolition et déconstruction ; gisements, caractérisations, filières de traitement et valorisation. *ETUDE N° 09-0139/1A*. p. 165. https://record-net.org/storage/etudes/09-0139-1A/synthese/Synth_record09-0139_1A.pdf (consulté le 22 mars 2022)

Veschambre, V. (2005). Le recyclage urbain, entre démolition et patrimonialisation : enjeux d'appropriation symbolique de l'espace. <https://journals.openedition.org/noroi/548?lang=en#citedby> (consulté le 16 mars 2022)

Vigneau, C. (2012). Des objets et des hommes : La seconde vie des objets "déchets" dans l'art. *Material Culture Review*. 74, 174-186 https://www.erudit.org/fr/revues/mcr/2012-v74-75-mcr74_75/mcr74_75rr01/ (consulté le 15 novembre 2021)

Vioulet-le-Duc, E. (1854). *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. Vol. 1. Banc. p. 546.

Vitruve, P. (environ 35 av. J.-C.). *De l'architecture*. p. 589.

Zalasiewicz, J., Waters, C., & Williams, M. (2017). Les strates de la ville de l'Anthropocène. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*. Vol. 72. <https://www.cairn.info/revue-Annales-2017-2-page-329.html> (consulté le 19 février 2022)

SITES INTERNET :

<https://www.architectes.org/reemploi-et-reutilisation-des-materiaux-issus-de-la-deconstruction-etapes-cles> (consulté le 30 septembre 2020)

<http://www.scau.com/fr/explorecase/co-working-et-granito> (consulté le 03 novembre 2020)

<https://www.bnf.fr/fr> (consulté le 10 décembre 2020)

<http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/> (consulté le 24 janvier 2021)

<http://www.archistorm.com/architecture-modes-reemploi/> (consulté le 05 février 2021)

http://www.vegetal-e.com/fr/materiaux-de-construction-retour-sur-les-ressources_212.html (consulté le 14 février 2021)

<http://marbredici.org/> (consulté le 17 février 2021)

<https://www.pnrecybeton.fr/> (consulté le 26 février 2021)

https://www.societe.com/actualites/sita_invente_le_beton_ecologique_c_urban-904.html (consulté le 26 février 2021)

<https://www.paprec.com/fr/comprendre-recyclage/recyclage-dechets-chantiers/devenir-dechets-chantiers> (consulté le 10 mars 2021)

<https://www.construction21.org/france/articles/h/modeliser-un-stock-de-batiments-dans-une-perspective-matiere-dechets-et-ressources> (consulté le 25 mai 2021)

<https://www.neo-eco.fr/mvv> (consulté le 02 juin 2021)

<https://www.arec-idf.fr/metabolisme-a-tous-les-etages/> (consulté le 02 juin 2021)

<https://www.anviga.com/post/accumulation-des-dechets-comment-faire-face> (consulté le 17 juin 2021)

<https://www.infociments.fr/favoriser-leconomie-circulaire/les-dechets-de-chantier-une-matiere-premiere-de-choix> (consulté le 08 novembre 2021)

<https://www.lemoniteur.fr/article/gravats-et-pritzker-prize.1451459> (consulté le 13 novembre 2021)

<https://www.lafarge.fr/aggeo> (consulté le 14 décembre 2021)

<https://leonard.vinci.com/quelle-ville-a-lheure-de-lanthropocene/> (consulté le 16 décembre 2021)

<https://www.actu-environnement.com/ae/news/recybeton-recycler-beton-normes-granulats-deconstruction-elasticite-retrait-24806.php4> (consulté le 10 janvier 2022)

<https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment> (consulté le 04 février 2022)

<https://www.ecologie.gouv.fr/dechets-du-batiment-et-des-travaux-publics> (consulté le 04 février 2022)

<https://www.stonerecycling.com/> (consulté le 03 mars 2022)

<https://www.urbanews.fr/2010/11/24/8295-le-metabolisme-urbain/> (consulté le 17 mars 2022)

<https://www.batiactu.com/edito/reversibilite-batiment-remede-a-deconstruction-54623.php> (consulté le 19 mars 2022)

<https://www.pca-stream.com/fr/articles/pierre-musso-ville-vivante-ville-texte-96> (consulté le 21 mars 2022)

<https://umr5600.cnrs.fr/soutenance-de-these-des-gravats-dans-la-ville-pour-une-approche-materielle-de-la-demolition> (consulté le 26 mars 2022)

<https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/quoi-parle-t/types-dechets/dechets-inertes> (consulté le 11 avril 2022)

<https://magazine.articonnex.com/1021-le-reemploi-une-histoire-de-siecles.html> (consulté le 14 avril 2022)

<https://www.batiactu.com/edito/un-beton-issu-de-recyclats-voit-le-jour-38078.php> (consulté le 17 avril 2022)

<https://www.pavillon-arsenal.com/fr/actualite/la-beaute-dune-ville/12061-esthetique-du-flux-esthetique-du-stock.html> (consulté le 18 avril 2022)

<https://www.pavillon-arsenal.com/fr/actualite/la-beaute-dune-ville/12074-chiffonnier-du-futur.html> (consulté le 18 avril 2022)

<https://fr.calameo.com/read/0060210566acb28fedd3d> (consulté le 17 avril 2022)

<https://www.architonic.com/fr/story/tlmag-archi-matieres-nature-et-habitat/7000796> (consulté le 05 mai 2022)

CONFÉRENCES / ÉMISSIONS . REPORTAGES :

Rencontre publique : " Réemploi, des matériaux pour construire " Arc en rêve, centre d'architecture. Bordeaux, mardi 21 mai 2019.

Émission : " L'économie circulaire et le réemploi des matériaux de construction " Podcast. Urban Ecology. 26 avril 2020.

Conférence : " Déconstruction sélective, la nouvelle voie pour l'architecture ? " Youtube. Les Canaux. 12 novembre 2020.

Vidéo : " Mieux gérer les déchets de chantier " Youtube. Fédération française du bâtiment. 25 juin 2021.

Reportage : " Le monde d'en face, l'envers du béton " France 5. " Le monde d'en face ". 5 décembre 2021.

Conférence : " Construire avec les ressources du territoire, la ferme des possibles à plaine commune " Google. Syndicat des Architectes. 25 mars 2022.

TABLE DES FIGURES

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

FRISE MÉTHODOLOGIQUE P.20-21 :

- Figure 01 : Projet *Fresk*, image d'expérimentation de terrazzo. Agence d'architecture SCAU. <http://www.scau.com/en/project>
- Figure 02 : Couverture de mon mémoire de Licence *Brick à vrack*. Photographie d'Eloïse van Steenkiste
- Figure 03 : Illustration de Valence. Livre *Lieux Infinis*. Agence Encore Heureux. 2018. <http://encoreheureux.org/projets/lieux-infinis-2>
- Figure 04 : Photographie du sculpteur du penser de Rodin. <https://www.ecoles-colleges.com/le-penseur-de-rodin-cycle-3>
- Figure 05 : Dessin d'une cible. Noon. <https://www.rawpixel.com/image>
- Figure 06 : Table des matières. Recherches par Anna St-Pierre pour l'agence SCAU. <http://www.scau.com/fr/explorecase/table-des-matieres>.
- Figure 07 : Dessin d'une boîte à outils. <https://designbundles.net/onyxprj/871908-vector-hand-drawn-woodwork>
- Figure 08 : Photographie d'expérimentations de matériaux. Eloïse van Steenkiste.
- Figure 09 : Planche de BD. Tome 1 : *Open Bar - 1re tournée*. Fabcaro. <https://livre.fnac.com/Tome-1-Open-Bar-1re-tournee-Fabcaro>
- Figure 10 : Photographie d'expérimentations de matériaux. Eloïse van Steenkiste.
- Figure 11 : Dessin d'un jeu d'échec. Dan Hogman. <https://www.flickr.com/photos/danhogman/9369249630>
- Figure 12 : Dessin d'une machine à écrire. Artiste inconnu. <http://reinodechulemeuzin.blogspot.com/lista-de-leitura-para-2015>
- Figure 13 : Photographie d'expérimentations de matériaux. Eloïse van Steenkiste.
- Figure 14 : Image texture de béton. <https://www.concreteboutique.co.uk/blog/concrete-art/concrete-wall-coverings>
- Figure 15 : Image texture de granulats. <https://www.prima-cb.com/en>
- Figure 16 : Illustration Bonnefrite. Livre *Matière Grise*. Agence Encore Heureux. 2019. <http://bonnefrites.free.fr>

PAGE DE GARDE DES SOUS-PARTIES : Figures 17 - 22 - 27 - 33 - 40 - 45 - 53 - 63 - 74.

Toutes les figures proviennent de la série photographique *Human* du photographe Gábor Arion Kudász. <https://www.lensculture.com/articles/gabor-arion-kudasz-human>

PHOTOGRAPHIES PLEINES PAGES :

- Figure 21 : Mine d'or de Serra Pelada, Brésil, 1944. Sebastião Salgado. p.31. <https://www.centrepompidou.fr/en/ressources/oeuvre>
- Figure 26 : Démolition de l'église Notre-Dame-des-Landes, Belfort, 2015. Xavier Gorau. p.39. <https://www.l-eglise-notre-dame-rejoint-les-anges>
- Figure 32 : Vue de Paris depuis l'ISS, 2017. Thomas Pesquet. <https://www.leparisien.fr/sciences/thomas-pesquet-immortalise-paris-depuis-liss-28-04-2021.php>
- Figure 39 : Bunker de Ste-Marguerite Sur Mer, Normandie, France. p.61. https://shop.wipplay.com/fr_FR/photo/826204?ref=s-caam-wo
- Figure 44 : Musée d'histoire du Ningbo, Chine. Wang SHu. p.71. <https://www.archdaily.com>
- Figure 51 : Walcot Reclamation, entreprise de récupération, Royaume-Unis, 1970. p.83. <http://www.hergebruik-bouw.brussels>
- Figure 52 : Gravats en mélange. 2022. Eloïse van Steenkiste. p.87.
- Figure 62 : Marbre d'Ici. Stefan Shankland. 2012. p.99. <https://raum.fr/recherches>
- Figure 73 : Granito. Fresk. SCAU. p.111. <http://www.scau.com/fr/project/fresk>
- Figure 86 : Gravats en mélange. 2022. Eloïse van Steenkiste. p.113.
- Figure 87 : Questionnements sur la ville et œuvre *in situ*. Lara Almarcegui. Biennale de Venise. 2013. p.126.

CORPS DE TEXTE :

- Figure 18 : Casalonga, P., Bohl, X. (1984). *U casamentu anzianu di Corsica*. p.26.
- Figure 19 : Gérards, E. Situation des anciennes carrières sous Paris. (1908). BnF. p.28.
- Figure 20 : Commerce mondial du sable, tel que rapporté par les pays exportateurs et importateurs. (2018). UN Comtrade. p.30.
- Figure 23 : Jour du dépassement mondial. (2021). National Footprint and Biocapacity Accounts. p.34.
- Figure 24 : Évolution de l'extraction intérieure, des importations et des exportations de matières en France. (2021). Agreste, douanes françaises, UNICEM. p.36.
- Figure 25 : Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y., Serre, D., & Laganier, R. (2012). *La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ?* p.37.
- Figure 28 : Augisseau, V., Barles, S. (2018). *Bilan des flux de matières de la région Ile-de-France en 2015*. IAU IdF. p.43.
- Figure 29 : Densités de matériaux dans les bâtiments hors sous-sol par surface des parcelles bâties. (2018). Vincent Augisseau. p.44.
- Figure 30 : Deux chapiteaux de la Cathédrale de Pise. Celui de droite date du XIIe siècle, celui de gauche date du XIe siècle. p.46.
- Figure 31 : Les Villes Rangées, Paris. (2020). Armelle Caron. p.47.
- Figure 34 : Divers chapiteaux de colonnes égyptiennes. (1803). Denon, D. p.54.
- Figure 35 : Deux chapiteaux de la Cathédrale de Pise. Celui de droite date du XIIe siècle (réemploi), celui de gauche date du XIe siècle (copié). Donato, M.M. (2013). *La cattedrale di Pisa: storie e domande intorno a un monumento (quasi) millenario*. Opera Nomina Historiae. p.55.
- Figure 36 : Quartier résidentiel. Inconnu. p.56.
- Figure 37 : Illustration pour l'exposition *Matière Grise*. (2014). Bonnefrite. p.57.

Figure 38 : Gravats en mélange dans une décharge. Inconnu. p.59.

Figure 41 : Chantier de démolition. Chicago, Illinois. (2006). Paul Goyette. p.65.

Figure 42 : Illustration pour l'exposition Matière Grise. (2014). Bonnefrite. p.67.

Figure 43 : Façade réemploi du Siège du Conseil européen. Architecte : Philippe Samyn. p.69.

Figure 46 : Extrait de la carte des acteurs du réemploi. <http://materiauxreemploi.com/>. p.75.

Figure 47 : Visite de chantier d'un maître d'ouvrage au Moyen Âge. Inconnu. p.77.

Figure 48 : Photographie d'une démolition en Rhône-Alpes. Inconnu. Gravillon, P. *L'ancienne poste Tony-Garnier sous le pic des démolisseurs*. (1987). p.79.

Figure 49 : Déconstructeurs en train de déposer des carreaux de carrelage. <https://www.cycle-up.fr/>. p.80.

Figure 50 : Densité du maillage par distance des déchetteries publiques. Nombre de points pour 100 km2. CEBETRAMA. p.81.

Figure 54 : Performances du recyclage des déchets inertes en France. Enquête annuelle. (2017). UNICEM. p.90.

Figure 55 : Installations de traitement des déchets inertes de démolition de l'agglomération lyonnaise. (2013). Mongeard, L. p.91.

Figure 56 : Opérations de gerbage et compactage des remblais. CEREMA. P.92.

Figure 57 : Classification des graves recyclées suivant leur recyclage en sous-couches routières. Plusieurs possibilités pour le remblais et les couches routières. CEREMA. p.93.

Figure 58 : Granulats de Déchets Industriels Banals fossilisés par Néolithé. <https://neolithé.fr/>. p.94.

Figure 59 : Granulats de Déchets Industriels Banals fossilisés par Néolithé. <https://neolithé.fr/>. P.95

Figure 60 : Revêtement de sol *Marbre d'Ici*. Ivry-sur-Seine. (2015). Stefan Shankland. p.96.

Figure 61 : Dessin préparatif de la répartitions des mélanges en fonction de leurs couleurs et des formes souhaitées. *Marbre d'Ici*. (2012). Stefan Shankland. p.97.

Figure 64 : Les déblais en héritage. Textiliser la mémoire bâtie par la réutilisation in situ des déchets architecturaux. Anna St-Pierre. p.102.

Figures 65 : Travail de recherche et expérimentations de matériaux à partir de recyclage et réemploi de gravats. Table des matières. Anna St-Pierre. p.104.

Figure 66 : Expérimentations béton de plâtre. Ciguë. p.105.

Figure 67 : Projet GSO1. Atelier Delalande Tabourin, Orléans (2023). p. 106.

Figure 68 : Expérimentations menées par Ciguë sur les différentes compositions et finitions du béton de plâtre. Projet lauréat de FAIRE 2019. Pavillon de l'Arsenal. p.107.

Figure 69 : Projet du fort l'Ecluse. Atelierpng, Léaz (2016-2019). p.107.

Figure 70 : Évolutions du projet de réhabilitation Fresk. (2021). SCAU. p.108.

Figure 71 : Protocole de transformation et dessins de calepinage. Recyclage de gravats de granite en granito. (2021). Anna St-Pierre. p.109.

Figure 72 : Calepinage et morceaux de granite en place avant coulage. (2021). Anna St-Pierre. p.110.

Figure 75 : Eurocode 2 et 6 sur les ouvrages en maçonnerie et les normes à suivre pour l'utilisation du béton. <https://normalisation.afnor.org/>. p.115.

Figure 76 : Présentation des Rebirth Brick. Liu Jiakun. Biennale d'architecture Hong-Kong. (2011). p.115.

Figure 77 : Présentation des Rebirth Brick. Remplissage structurel en bambou. Liu Jiakun. Biennale d'architecture Hong-Kong. (2011). p.116.

Figure 78 : Béton démolit et ferrallages. Inconnu. p.117.

Figure 79 : A droite, granulats naturel. A gauche, mélange de gravats de béton et de granulats naturels en vue de la fabrication d'un béton recyclé. Ville de Zurich. p.118.

Figure 80 : Matériaux de construction. (2021). Eloïse van Steenkiste. p.119.

Figures 81 : Expérimentation de recyclage de gravats mixtes. Différentes granulométries sont incluses au mélange. Fabrication d'une dalle. (2021). Eloïse van Steenkiste. p.120.

Figure 82 : Gravats en mélange. (2021). Eloïse van Steenkiste. p.121.

Figure 83 : Dalle de revêtement de sol à partir de gravats recyclés. Eloïse van Steenkiste. p. 121.

Figures 84 : Expérimentation de recyclage de gravats mixtes. Différentes granulométries sont incluses au mélange. Fabrication d'une poutre. (2022). Eloïse van Steenkiste. p.122.

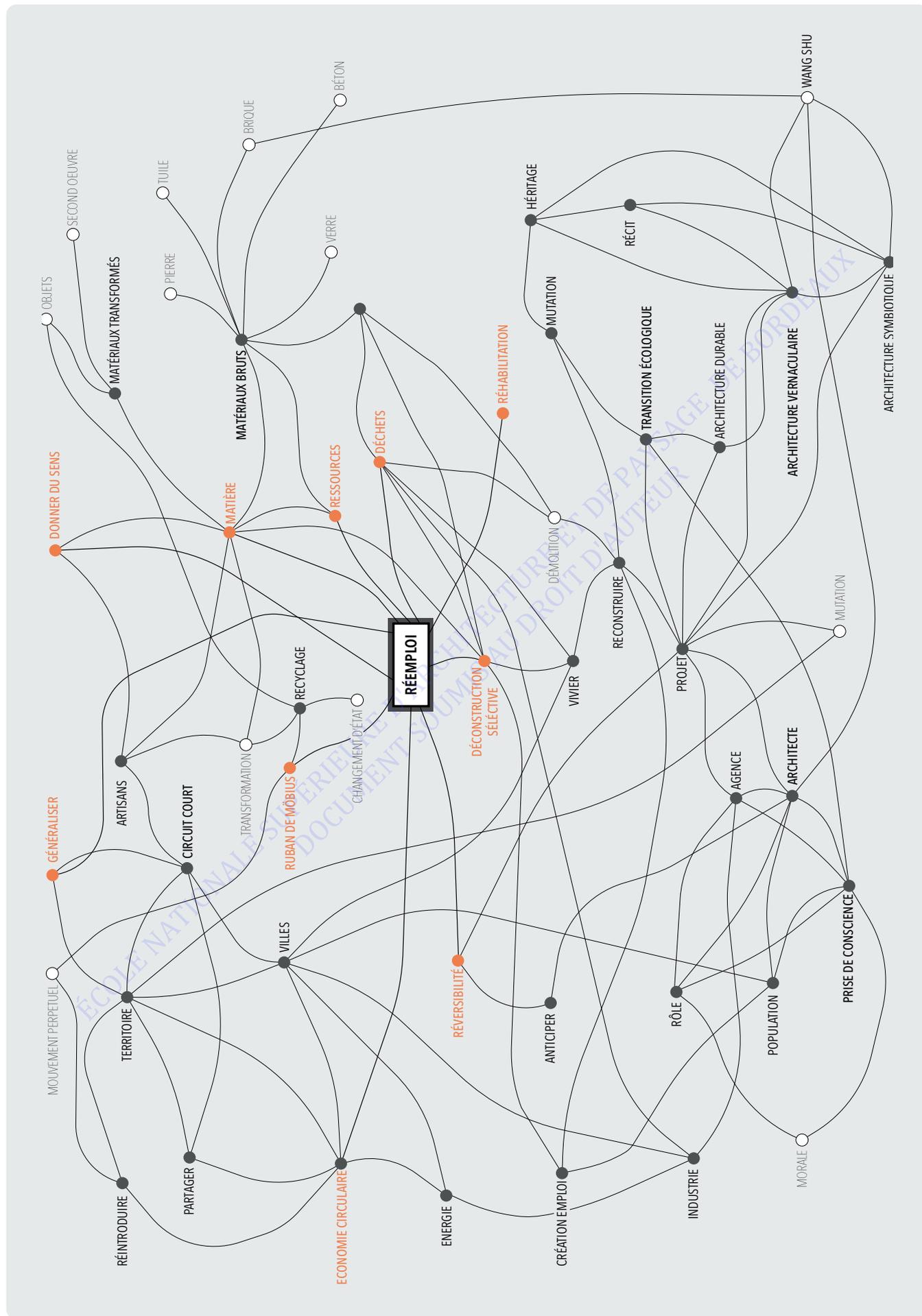
Figure 85 : Poutre fabriquée à partir de gravats recyclés. (2022). Eloïse van Steenkiste. p.122.

ANNEXES

N°1 - MINDMAPPING	144
N°2 - ETAT DES LIEUX	145
N°3 - CAS D'ÉTUDE FRESK	148
N°4 - CAS D'ÉTUDE MARBRE D'ICI	149
N°5 - EXPÉRIMENTATION 1	150
N°6 - EXPÉRIMENTATION 2	151
N°7 - GRILLE D'ENTRETIEN 1	152
N°8 - GRILLE D'ENTRETIEN 2	153
N°9 - ENTRETIEN R-USE	154
N°10 - ENTRETIEN DELALANDE & TABOURIN	162
N°11 - ENTRETIEN REMIX	168
N°12 - ENTRETIEN LAFARGE AGGNEO	178
N°13 - ENTRETIEN NÉOLITHE	184



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR





DE NOMBREUX MÉMOIRES ET THÈSES SUR LE SUJET DEPUIS 5-6 ANS (QUELQUES EXEMPLES) :

Vers une pratique du réemploi en architecture : expérimentations, outils, approches, Marie de Guillebon

Construire en terres d'excavation, un enjeu pour la ville durable, Hugo Gasnier

Spécialiste du réemploi, une nouvelle mission pour les architectes ?, Anaïs Chaumier

Le réemploi, une perspective pour une architecture soucieuse des enjeux environnementaux, Félix Chiron

Le réemploi des matériaux de construction en France : l'enseignement des groupes Rotor et Superuse-Studio, Fanny Vidal

La réanimation des objets mourants, Stéphanie Messal

DES FILIÈRES D'ÉCONOMIE CIRCULAIRES QUI SE METTENT EN PLACE (QUELQUES EXEMPLES) :

<https://www.backacia.com/> : «En tant que startup, notre cœur de métier est d'accompagner les professionnels du Bâtiment et de l'Immobilier dans la réalisation d'opérations de réemploi impactantes et rentables. Les matériaux et équipements en vente sur la marketplace sont de seconde-main, issus soit de surplus de commandes soit de déconstructions méthodiques.»

<https://www.cycle-up.fr/> : «Alors que les enjeux de résilience font l'objet d'un consensus large, la transition d'un modèle de production et de consommation linéaire vers un modèle de gestion circulaire des ressources peine à se développer, et c'est particulièrement vrai pour la filière du réemploi des matériaux de construction, qui constitue en France plus de 70% de la production totale de déchet.»

<https://rotordc.com/store/> : «En négociant des matériaux de récupération, nous contribuons à réduire la quantité de déchets de démolition, tout en offrant des matériaux de construction de qualité dont l'impact sur l'environnement est négligeable. Nombre de nos matériaux sont moins chers que neufs pour une même qualité. Certains matériaux sont aussi chers que neufs, mais ils ont une belle histoire, une profonde patine ou simplement la conscience tranquille. Et puis, de temps en temps, nous proposons à la vente des pièces qui ont été conçues par des designers de renom, ou créées par des artisans qualifiés, ou réalisées à l'aide de technologies aujourd'hui hors de portée. Ces pièces ont un prix un peu plus élevé, mais nous espérons que les économies réalisées grâce à nos matériaux plus génériques contribueront à les mettre à la portée du plus grand nombre.»

<https://www.mobius-reemploi.fr/> : «L'essentiel des matériaux est importé, produisant plusieurs externalités négatives. Le réemploi adresse donc une solution sociale viable en implantant des structures porteuses d'emplois, notamment industriels, non délocalisables et à faible niveau de qualification. Il constitue un secteur d'activités propice à la transition d'une économie carbonée à une économie visant une neutralité.»

<https://www.articonnex.com/> : «Notre mission est simple : accompagner les artisans du bâtiment vers l'artisanat de demain. Et en quelques mots, c'est vous proposer des solutions pour : un plus grand respect dans l'utilisation des matériaux, depuis leur production à leur mise à la benne, plus de bons sens dans la gestion de votre parc outil, vous faire gagner du temps sur vos prestations de service entre artisans, vous informer et vous inciter à l'action.»

<https://www.zerm.org/leparpaing/> : «Les déchets, peu valorisés, proviennent à 90% des travaux de déconstruction et de réhabilitation. L'acte de démolition détériore bien souvent les éléments, ensuite considérés comme des déchets. Le statut de déchet se décrète. Il ne s'agit pas d'un état immuable mais d'un point de vue porté sur le matériau. Matériaux et éléments de construction appartiennent à un patrimoine et peuvent constituer une identité régionale (briques, pierre bleue, grès céram, etc). Favoriser leur réemploi commence par identifier des gisements.»

<https://opalis.eu/fr/> : «L'objectif du site Opalis est de faciliter le recours à des matériaux de réemploi dans des projets de construction et de rénovation. Pour ce faire, Opalis s'organise autour de différentes rubriques. Le site propose un annuaire des opérateurs professionnels qui vendent des matériaux de construction issus du démontage d'anciens aménagements ou bâtiments. Opalis fournit également de la documentation technique sur les produits de construction les plus courants sur le marché du réemploi. Une troisième rubrique recense des réalisations récentes qui mettent en œuvre de façon inspirante des matériaux de réemploi.»

DES FILIÈRES DE RECHERCHE SUR LES MATÉRIAUX (QUELQUES EXEMPLES) : Plus que valoriser → transformer.

<https://www.pnrecybeton.fr/> : «A l'heure actuelle, seule une fraction de ces déchets sont recyclés. La part de granulats recyclés est estimée à seulement 10% de la production nationale totale de granulats. A terme, grâce aux progrès issus de la recherche initiée par le projet Recybéton, le taux de réincorporation des granulats recyclés dans le béton devrait augmenter significativement, entraînant de fait la préservation des gisements naturels de granulats et l'essor économique des professionnels du secteur des déchets de construction. C'est toute une filière du recyclage des bétons déconstruits qui devrait s'organiser et prospérer.» → Seul véritable projet sur le recyclage du béton dans le béton. Projet national de recherche.

<http://marbredici.org/> : «Le Marbre d'ici est une nouvelle matière première, produite localement à partir de gravats inertes issus des démolitions d'immeubles. Mélangés à du ciment et de l'eau, coulé en strates, les déchets du BTP deviennent un matériau noble à intégrer aux projets architecturaux et urbains à venir.» → Super intéressant.

<https://www.stonecycling.com/> : «Chez StoneCycling, nous travaillons pour développer la prochaine génération de matériaux haut de

gamme et durables. Notre mission est de réduire les flux de déchets dans le monde, mais nous refusons tout compromis sur le plan esthétique. Tous nos produits sont conformes aux normes industrielles et peuvent être utilisés à l'intérieur comme à l'extérieur.» → Création de briques à partir de déchets de démolition.

DES GRANDS GROUPES QUI SE METTENT AU RÉEMPLOI (QUELQUES EXEMPLES) : Quelles valeurs ?

<https://www.suez.fr/fr-fr> : «La filiale de Suez Environnement vient de mettre au point un béton écologique, baptisé C'Urban. Un béton constitué à 100% de matières recyclées, aux mêmes caractéristiques qu'un béton classique. Ce béton écologique est exclusivement constitué de matières recyclées : gravats de déconstruction, sables de fonderie et sédiments fluviaux. Le groupe vient de décrocher un partenariat industriel avec une société nordiste spécialiste des équipements de communication, Doublet. Ce partenariat implique l'exclusivité de l'utilisation de C'Urban pour le mobilier urbain. Mais nous réfléchissons à d'autres formulations et l'évolution vers un béton structurant est un objectif.»

<https://www.lafarge.fr/aggeo> : «Lancée en 2013, aggeo® est la marque LafargeHolcim France dédiée à l'économie circulaire dans le BTP. aggeo® regroupe l'ensemble des services, produits et solutions proposés avec deux objectifs : rendre un service à la société en réduisant les nuisances et en préservant les ressources naturelles, et fournir des solutions à l'ensemble des acteurs de la construction pour qu'ils réalisent leurs projets. Actions : gérer et valoriser vos déblais inertes en réaménagement de carrière, recycler vos déblais inertes, traiter vos terres polluées et les valoriser, vous fournir des granulats recyclés et / ou du béton à base de granulats recyclés.»

DES AGENCES D'ARCHITECTURE QUI INTÈGRENT LE RÉEMPLOI DANS LEURS PROJETS (QUELQUES EXEMPLES) :

<https://bfv.team/fr/#/agency> : «Si la notion de patrimoine en France a longtemps concerné les bâtiments à caractère historique, dénommés « monuments », cette notion s'est considérablement élargie ces dernières années. L'ensemble du corpus bâti doit être reconsidéré comme une nouvelle matière première, susceptible d'apporter des solutions dans le territoire saturé des villes et de leurs périphéries.»

<http://www.archipelzero.fr/> : «Défendre une empreinte écologique minimale par une architecture frugale qui préserve les ressources et les énergies, non polluantes, réversibles et réemployables. Redonner à la matière la noblesse qu'elle a perdu au détriment de la forme, en privilégiant les matériaux locaux et naturels de qualité : la terre crue, la paille, le bois. Promouvoir le réemploi. Concerter largement pour une architecture bien traitante dans une approche sensible et emphatique.»

<http://www.scau.com/fr/home> : «Dans la perspective proche d'une « transition circulaire », comment les pratiques de réemploi et de recyclage peuvent-elles devenir une source de création pour l'architecte, en interrogeant la capacité d'évocation et le pouvoir narratif du matériau ? Comment proposer de nouveaux modes de transmission à partir de la transformation de déblais, gravats, décombres - posée comme une alternative à la *tabula rasa* ou à la stricte restauration ? Rendre lisibles ces protocoles de transformation, révélateurs de nos rapports à la matière, leur confère-t-il un statut de « signe » (et de quel signe s'agit-il) ? » → Agence où j'ai fait mon stage / volonté du réemploi qui part de là. Réemploi complet à la fois recherche sur matériaux, empreinte historique, *in situ*, réhabilitation, design de nouveaux matériaux.

DES AGENCES D'ARCHITECTURE QUI EN FONT LEUR CRÉDO (QUELQUES EXEMPLES) :

<https://www.superuse-studios.com/> : «Réutiliser comme base d'une stratégie de conception circulaire. Les propriétés cachées des matériaux et des produits utilisés ajoutent de la valeur aux nouveaux bâtiments. Notre bureau considère la réutilisation comme une partie intégrante d'une stratégie de conception circulaire. En plus des bâtiments, nous appliquons ce concept aux flux dans l'environnement bâti, tels que le trafic, l'approvisionnement énergétique, les ressources humaines, l'eau et la nourriture.»

<http://rotordb.org/en> : «Rotor est une pratique de conception coopérative qui étudie l'organisation de l'environnement matériel. Nous développons des positions critiques grâce à la recherche et à la conception. En 2016, nous avons lancé le projet d'essaimage Rotor DC. C'est l'endroit où l'on peut acheter des éléments de construction récupérés. La réutilisation des éléments de construction est souvent considérée comme une bonne stratégie pour parvenir à une diminution substantielle de l'impact environnemental de l'industrie de la construction. Cependant, une série de défis culturels, économiques et sociaux doivent être surmontés afin de mettre en œuvre des éléments réutilisés dans des projets architecturaux ambitieux.»

<http://encoreheureux.org/> : «S'il n'y a pas de construction sans matériaux, et donc sans destruction et consommation, il n'y a pas de projet juste et économe sans dépense redoublée d'imagination. Nous considérons comme non seulement possible mais nécessaire l'invention d'autres modalités de construction : économiquement et écologiquement sobres, et par là même riches de sens et d'imaginaires nouveaux. Chaque situation regorge d'objets, de mémoires, de matières vives et sédimentées à utiliser.»

DES INITIATIVES LOCALES, ÉTUDIANTES, CITOYENNES (QUELQUES EXEMPLES) :

DÉCUP' : Conception et mise en œuvre de projets d'architecture, d'aménagement d'espaces et de design d'objets autour d'une réflexion portée sur l'économie circulaire. Décup' est une association étudiante de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, originaire de la rencontre entre 5 étudiants et 1 professeur, soucieux de l'économie et la réutilisation des matériaux dans le domaine de l'architecture.

<http://www.les-saprophytes.org/le-collectif/> : Architectes, paysagistes, plasticiens, constructeurs, graphistes, les Saprophytes développent des projets artistiques et politiques autour de préoccupations sociales, économiques et écologiques.

<http://collectifbaya.com/fr> : «Nous prônons une approche alternative du projet de micro-architecture en le rendant humainement et économiquement abordable. Notre activité s'inscrit dans une économie circulaire par sa spécialisation dans l'auto-construction et le réemploi de matériaux. Nous nous focalisons sur le secteur socio-culturel bruxellois afin de supporter les acteurs locaux dans la réalisation de leurs projets à construire.»

<https://www.bellastock.com/> : «Bellastock est une Société Coopérative d'Intérêt Collectif d'architecture qui œuvre pour la valorisation des lieux et de leurs ressources en proposant des alternatives à l'acte de construire. La structure engagée dans la transition écologique, développe depuis 2012 une expertise pionnière en France sur le réemploi de matériaux de construction, et une réflexion plus globale sur l'urbanisme de transition. A travers ces pratiques, Bellastock oeuvre pour le développement d'une économie circulaire, essentielle pour la fabrique de territoires durables.»

<http://www.archipelzero.fr/permac> : «PERMAC (Plateforme d'Echange et de Réemploi de Matériaux de Construction) mets en œuvre des logiques circulaires dans lesquelles les déchets, auxquels nous donnons le nom d'« actifs dormants », deviennent des ressources. PERMAC est un laboratoire qui a pour vocation à démontrer la faisabilité socio-technique et économique de la valorisation des actifs dormants.»

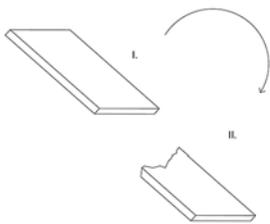
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

LIEU : ISSY-LES-MOULINEAUX
PROGRAMME : RÉHABILITATION IMMEUBLE DE BUREAUX
MAÎTRISE D'OUVRAGE : ICADE
SDP : 21 600 M²
COÛT : 51,5M€ HT
MISSION : MAÎTRISE D'ŒUVRE ARCHITECTURALE
MAÎTRISE D'ŒUVRE : SCAU
ÉTAT : RÉALISÉ EN 2021



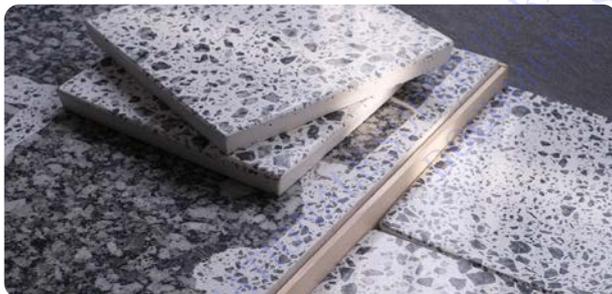
LA RÉHABILITATION : Vingt-deux ans après sa construction, le Parissy (immeuble de bureaux de sept étages au bord du périphérique parisien) est en train de connaître une lourde réhabilitation. Le bâtiment d'origine avait été conçu par SCAU pour accueillir les bureaux de TDF. Aujourd'hui, l'agence est commissionnée par les nouveaux propriétaires pour une opération de transformation. 20 ans après les plans d'aménagement sont obsolètes mais le bâtiment lui, a des qualités intrinsèques qui le rendent adaptable aux nouvelles situations. Il s'agit donc de ne retrouver que l'essentiel du bâtiment, sa structure. C'est-à-dire l'organisation du bâtiment en U autour d'un atrium, l'ossature poteaux-poutre et les planchers béton, ainsi que les noyaux porteurs et la tour centrale. La verrière et la façade vitrée donnant sur le périphérique sont conservées mais démontées et remontées avec du verre de meilleure qualité. Une fois la structure mise à nue, les plateaux sont élargis pour gagner de la surface de plancher et des plans libres mis en place.

I. Dépose des dalles en granite
 II. Séparation et criblage in situ
 III. Mise en œuvre de l'opus et du granito



LE PROCESSUS DE RÉEMPLOI : La réhabilitation implique la transformation de la façade, glissement d'échelles et de procédés dans la réflexion sur le réemploi, du réemploi d'une architecture à celui de ses matériaux. SCAU cherche à développer des protocoles de recyclage ou de réemploi *in situ*, laissant place à la réinterprétation et rendant visibles les phénomènes de mutation.

L'un d'entre eux - le *granito* - consiste à utiliser les matériaux de démolition présents sur site comme agrégats ou *opus* dans la formulation d'un nouveau revêtement de sol. La façade principale en dalle de granite représente environ 2000m² de pierre provenant de carrières bretonnes. Cette façade redevient donc une carrière à ciel ouvert directement située sur le site de projet. Le stock de matières qui compose le bâtiment devient exploitable et est exploité de la même manière que l'on extrait les ressources naturelles. Le *granito* (appelé plus communément terrazzo) trouve son origine dans cette économie du geste, dans cette exploitation locale de la matière, utilisant les concassés en tesselles de mosaïque aléatoire.



Il y a anticipation de la diversité des formes créées par la déconstruction de la façade : dalles rectangulaires préservées, dalles accidentées et gravats de différentes tailles allant du bloc au sable grossier. Sur site, une unité mobile de criblage, équipée d'outils de concassage et tamisage permettra d'obtenir des agrégats. 3 types d'application avec des degrés de transformation différents : le réemploi de même usage de dalle de granit, le réemploi de dalle fractionnées de granit gris, le recyclage d'éclats et de fragments (après criblage) de granit gris et bleu comme agrégat dans la formulation d'un granité. Protocole de création et cycles de transformation rendus visibles, ce qui confère une fonction mnémotique aux nouveaux matériaux signalant la mutation urbaine des lieux.

L'objectif est de développer un protocole de mise en œuvre *in situ* reproductible d'un site à l'autre. L'approvisionnement local engendra ainsi un matériau spécifique à chaque projet. Pour ce faire, il y a substitution des agrégats utilisés dans la formulation du *granito* par des pierres prélevées sur site lors de l'excavation. L'idée est de questionner la reproductibilité du procédé : liant [invariable industriel] + pigments / charges / agrégats / opus [variable *in situ*].



MISSION : RÉEMPLOI DE GRAVATS INERTES
RÉSEAU : DÉMARCHE HAUTE QUALITÉ ARTISTIQUE & CULTURELLE
LIEU : BANLIEUE PARISIENNE
MATÉRIAU : NOUVEAU BÉTON
ÉTAT : RÉALISÉ & EN COURS



L'ARTISTE : Stefan Shankland est un artiste plasticien, chercheur et maître de conférence à l'ENSA de Nantes. Il travaille à Ivry sur Seine, et dans différentes villes en Europe. Il mène depuis 15 ans des études expérimentales sur les phénomènes de mutation urbaines. En 2007, il crée la démarche HQAC, un label de « haute qualité artistique et culturelle ». C'est un objet de réflexion conceptuel et un outil de travail pour accompagner artistiquement, culturellement et socialement les mutations urbaines en cours.

LE PROJET : Le projet *Marbre d'ici* est une initiative de l'artiste qui a développé une nouvelle matière première à partir de gravats inertes issus de démolition de bâtiments. Mélangés à du ciment et de l'eau, coulés en strates, les déchets deviennent un véritable matériau à intégrer aux projets urbains et architecturaux pour l'art et le design.

LE MATÉRIAU : Les gravats sont réduits en poudre, mélangés à du ciment et de l'eau, (même formulation que du béton), les granulats s'agglomèrent grâce à l'eau (propriété pouzzolanique). Les matériaux proviennent de démolitions locales. Les gravats réemployés et recyclés sont de plusieurs sortes : briques, béton, tuile, calcaire. La matière usée et détruite trouve alors un second sens. Le projet sollicite un réseau différent de matériaux à chaque projet, dépendant de l'endroit où il est mis en œuvre (réalisation *in situ*). C'est une production d'éléments ordinaires qui transforme la matière en créant une continuité avant, pendant et après la transformation urbaine opérée (de la démolition à la reconstruction).



LA MISE EN ŒUVRE : En premier lieu la démolition et le tri des gravats. Les débris sont triés par nature et par couleur, concassés et broyés, et tamisés pour produire des granulats, ou des poudres utilisés en pigment. Ensuite mélangés à un liant hydraulique, et à de l'eau, malaxés puis coulés en strates. Les nouveaux matériaux contiennent alors plusieurs couleurs qui dépendent des différentes sortes de gravats. Les ruines urbaines sont transformées en matériaux nobles, créant une nouvelle ressource pour l'architecte notamment. Il y a une valorisation autant du processus de fabrication que du produit fini. Il y a une véritable action collective qui réunit les professionnels de la construction, les acteurs créatifs et culturels, et les habitants.



LES PROJETS : Plusieurs projets sont nés de la fabrication de ce matériau. L'un des plus importants à Ivry sur Seine, place du Général de Gaulle. C'est une commande de Grand Paris Aménagement et de la ville d'Ivry. *Marbre d'ici* prend la forme d'une grande dalle en béton de 260 m². C'est une sculpture qui prend place dans l'espace public qui utilise plus de 10 tonnes de gravats (brique, tuiles, pierres calcaires) provenant de démolition du quartier récupérés entre 2012 et 2015.

Le *Marbre d'ici* est constitué de 50% de matière recyclée. 3 bétonnières étaient disposées pour incorporer les pigments et gravats au ciment pour faire plusieurs couleurs notamment. Les formes ondulées reprennent les formes de l'ancien lit de la Seine qui se situe sous le site de ce projet.

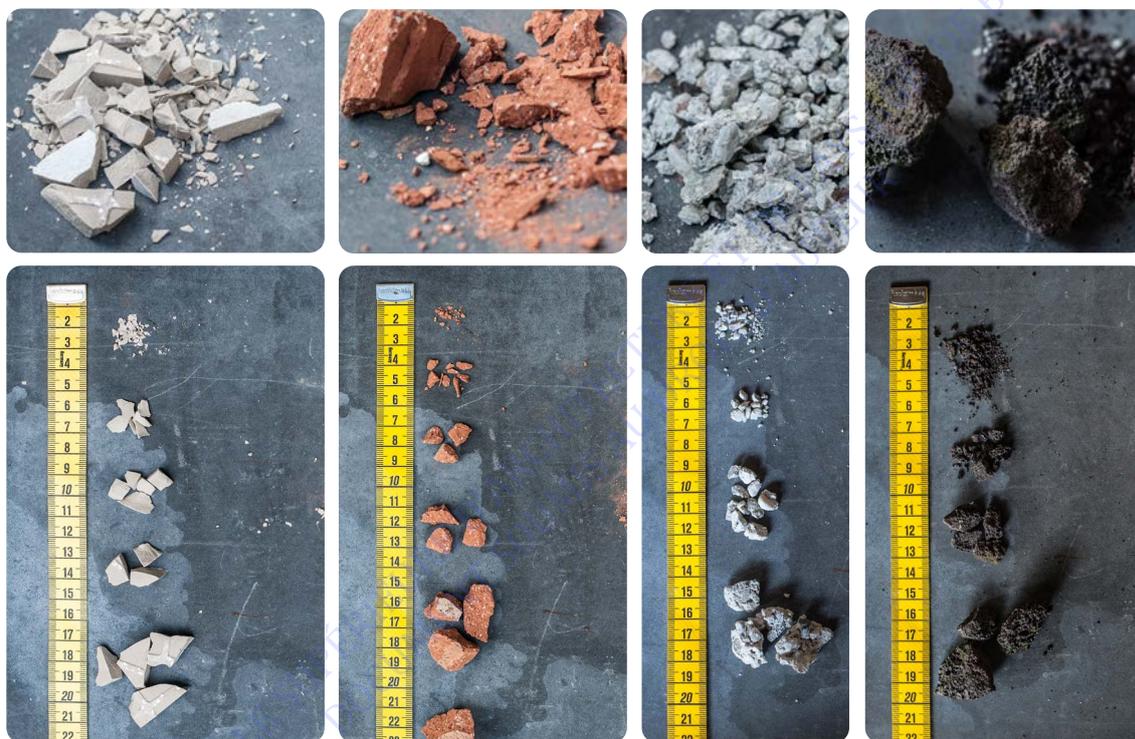
DALLE DE PAREMENT - TERRAZZO

Le but de cette expérimentation est de réaliser une revalorisation de gravats à l'échelle 1 sous forme de dalle de terrazzo. Elle a également pour but de définir une marche à suivre à petite échelle et une réflexion sur une manière de multiplier les possibilités de revalorisation des gravats de manière accessible et efficace. Cette expérimentation est une démonstration, à mon échelle, dans mon périmètre de récupération et de revalorisation de la matière. L'objet fini peut servir pour un parement de façade ou une dalle de revêtement de sol. Il est possible de mécaniser le processus de recyclage pour une production importante. Il sera nécessaire dans un second temps de valider le matériau et d'établir une fiche technique de ses performances afin de lui donner la possibilité d'intégrer des projets. Le but étant de créer une multitude de petits rayonnements géographiques qui permettent ces valorisations de déchets dans des boucles circulaires restreintes afin de s'engager dans des démarches vertueuses et durables.

4 types de gravats différents trouvés sur chantier : parpaing - brique - roche - carrelage.

Dalle de 30x30cm - 2cm d'épaisseur.

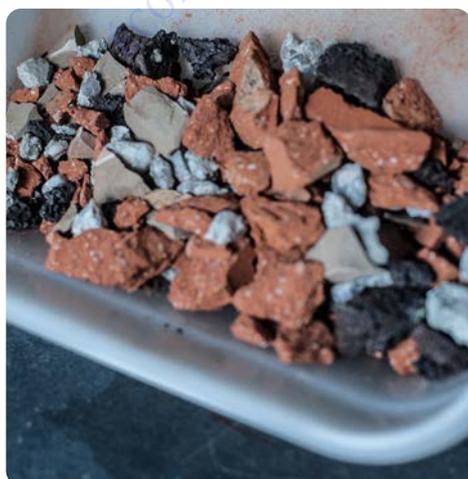
1er test avec les granulométries les plus fines.



PREMIER TEST : granulométrie fine et poudre en faible quantité.

Provenance des gravats proche du lieu de transformation. utilisation pour un dallage du sol de l'atelier de transformation.

PROCESSUS : nettoyage - concassage - fabrication moule - mélange d'un liant hydraulique avec du sable, du ciment blanc et de l'eau avec ajout des gravats - coulage - bullage - séchage (dix jours environ) - démoulage - ponçage.



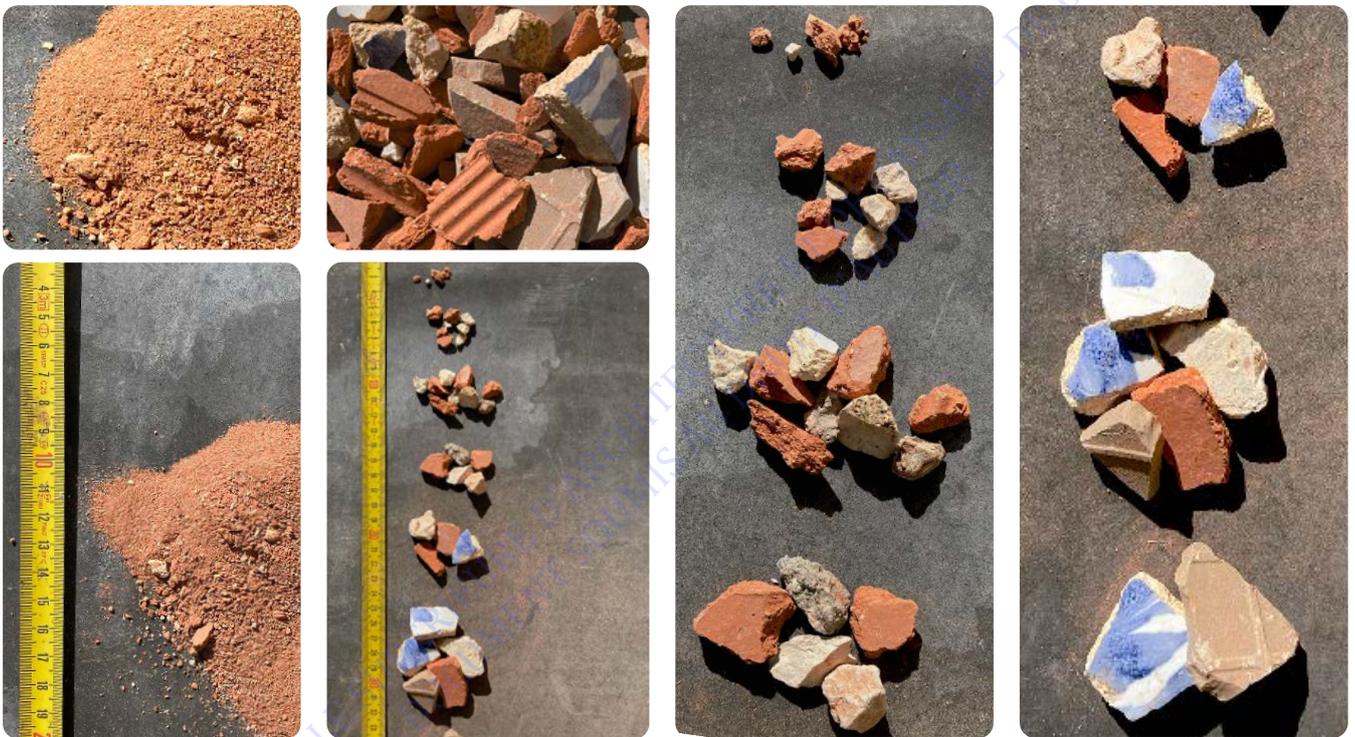
POUTRE STRUCTURELLE - GRAVATS MIXTES

Le but de cette expérimentation est de réaliser une revalorisation de gravats à l'échelle 1 sous forme de poutre structurelle. Elle a également pour but de définir une marche à suivre à petite échelle et une réflexion sur une manière de multiplier les possibilités de revalorisation des gravats de manière accessible et efficace. Cette expérimentation est une démonstration similaire, à mon échelle, dans mon périmètre de récupération et de revalorisation de la matière. Si l'on sait aujourd'hui recycler les gravats sous plusieurs formes, de nombreuses limites se posent à leurs recyclages sous forme d'éléments structurels. Si les inclusions de gravats de béton sont possibles à hauteur d'un certain pourcentage dans du béton recyclé, il est nettement plus compliqué d'introduire des gravats mixtes dans une formulation de béton. Il serait nécessaire de faire des tests au sein d'un laboratoire de matériaux afin de définir les possibilités et les limites de ce mélange pour éléments structurels.

5 types de gravats différents trouvés sur chantier : dalle béton - brique - pierre - carrelage - faillance - tuile

Poutre de 120x12,5cm - 4,5cm d'épaisseur.

1er test avec des toutes les granulométries et des pigments de brique.



PREMIER TEST : toutes les granulométries et poudre de brique en quantité pour colorer la poutre.

Provenance des gravats proche du lieu de transformation. utilisation potentielle pour une structure.

PROCESSUS : nettoyage - concassage - fabrication moule - mélange d'un liant hydraulique avec du sable, du ciment gris et blanc et de l'eau avec ajout des gravats et des pigments - coulage - bullage - séchage (dix jours environ) - démoulage - ponçage.



ANNEXE N° 7 - ENTRETIEN SEMI-DIRECTIF GRILLE

INDUSTRIEL / PRODUCTION MATÉRIAUX / ASSISTANCE & CONSEILS

L'INTERVIEWÉ : -
SES COORDONNÉES : -
QUI EST-IL : -
DATE & LIEU : -

OBJECTIFS DE LA RENCONTRE : -

THÉMATIQUES LIÉES : -

présentation de mon sujet d'étude de manière brève - parler seulement réemploi et économie circulaire - ne pas parler de gravats, de matière et d'innovation

CONSIGNES :

que je parle de réemploi : quels imaginaires ? quels sujets ? quelles thématiques ? quels angles ? le sujet des gravats apparaît-il naturellement ? relancer de manière neutre à partir de déclarations faites - écoute active - point de vue de l'interviewé et l'accompagner dans sa propre réflexion

1. Quels constats faites-vous aujourd'hui concernant le secteur du bâtiment et de la construction ?
2. Que représente le réemploi pour vous ? Quelle est votre définition du réemploi ?

QUESTIONS CIBLÉES :

est-ce que tous pensent aux gravats lorsqu'on parle de réemploi ? quelles sont les nouvelles hypothèses évoquées ?

relance différée : revenir sur un point abordé trop rapidement - relance interprétative : clôturer un thème

LA PRATIQUE DU RÉEMPLOI

- . Quels types de matériaux réemployez-vous ? second œuvre - matières inertes
- . Quels types de projets mettez-vous en place ? bâtiments - structures temporaires - expositions - etc
- . Qui vous soutient dans vos démarches et comment ? local-régional-national-public-privé
- . Sur quel projet de réemploi travaillez-vous principalement en ce moment ? possibilité cas étude

LES PROJETS DE RÉEMPLOI

- . Quelle quantité de projet concernant le réemploi développez-vous ?
- . Dans quel rayon arrivez-vous à développer votre activité de réemploi ?
- . Arrivez-vous à réemployer localement dans vos projets ? quel rayon pour faire circuler les matériaux ?
- . Quels sont vos clients et commanditaires ?
- . Vos clients sont-ils déjà formés au réemploi ou devez-vous les convaincre de cette pratique ?
- . Constatez-vous une forte demande de projets de réemploi de la part du secteur public ?
- . Trouvez-vous facilement des gisements de matière à réemployer ?
- . A quelles problématiques êtes-vous confrontés lors du réemploi ?
- . De quelles manières mobilisez et sensibilisez-vous les gens autour de vos projets ?
- . Comment souhaitez-vous faire évoluer vos pratiques du réemploi ?
- . Jusqu'à quel pourcentage de réemploi voulez-vous tendre dans vos projets ?
- . Développez-vous d'autres pratiques dans le cadre de l'économie circulaire ?

LES GRAVATS COMME RESSOURCES

- . Pensez-vous aux gravats lorsque l'on vous parle de réemploi ?
- . Pensez-vous que la matière inerte peut être considérée comme une ressource ?
- . Est-ce que le réemploi des gravats fait partie de vos pratiques ?
- . Êtes-vous informés sur les différentes techniques de réemploi des gravats ?
- . Pensez-vous que les gravats sont une stratégie de réemploi complexe ?
- . Envisagez-vous d'introduire le réemploi de gravats dans vos projets ?
- . Incluez-vous les démolitions sélectives dans vos projets ?
- . Comment vous êtes-vous formé au réemploi de gravats ?
- . Dans quels types de projet réemployez-vous les gravats ?
- . A quelles problématiques êtes-vous confrontés lors du réemploi de gravats ?



L'INTERVIEWÉ : -
SES COORDONNÉES : -
QUI EST-IL : -
DATE & LIEU : -

OBJECTIFS DE LA RENCONTRE : -

THÉMATIQUES LIÉES : -

présentation de mon sujet d'étude de manière brève - parler seulement réemploi et économie circulaire - ne pas parler de gravats, de matière et d'innovation

CONSIGNES :

que je parle de réemploi : quels imaginaires ? quels sujets ? quelles thématiques ? quels angles ? le sujet des gravats apparaît-il naturellement ? relancer de manière neutre à partir de déclarations faites - écoute active - point de vue de l'interviewé et l'accompagner dans sa propre réflexion

1. Quels constats faites-vous aujourd'hui concernant le secteur du bâtiment et de la construction ?
2. Que représente le réemploi pour vous ? Quelle est votre définition du réemploi ?

QUESTIONS CIBLÉES :

est-ce que tous pensent aux gravats lorsqu'on parle de réemploi ? quelles sont les nouvelles hypothèses évoquées ? relance différée : revenir sur un point abordé trop rapidement - relance interprétative : clôturer un thème

LA PRATIQUE & LES PROJETS DE RÉEMPLOI

- . Quels types de matériaux réemployez-vous ? second œuvre - matières inertes
- . Sur quel projet de réemploi travaillez-vous principalement en ce moment ? possibilité cas étude
- . Quelle est la part des projets concernant le réemploi dans votre activité ?
- . Quels sont vos clients et commanditaires pour le réemploi ?
- . Vos clients sont-ils déjà formés au réemploi ou devez-vous les convaincre de cette pratique ?
- . Constatez-vous une forte demande de projets de réemploi de la part du secteur public ?
- . Vos clients sont-ils prêts à allouer un budget supplémentaire pour couvrir les frais liés au réemploi ?
- . Existe-t-il un pourcentage obligatoire de réemploi à définir dans les cahiers des charges ?
- . De quelles manières anticipez-vous le réemploi dans la conception d'un projet ?
- . Arrivez-vous à réemployer localement dans vos projets ? quel rayon pour faire circuler les matériaux ?
- . Qui vous soutient dans vos démarches et comment ? -local-régional-national-public-privé
- . Trouvez-vous facilement des gisements de matière à réemployer ?
- . A quelles problématiques êtes-vous confrontés lors du réemploi ?
- . Souhaitez-vous influencer positivement le réemploi dans vos projets ?
- . Développez-vous d'autres pratiques dans le cadre de l'économie circulaire ?

LES GRAVATS COMME RESSOURCES

- . Pensez-vous aux gravats lorsque l'on vous parle de réemploi ?
- . Pensez-vous que la matière inerte peut être considérée comme une ressource ?
- . Est-ce que le réemploi des gravats fait partie de vos réponses aux besoins exprimés dans les cahiers des charges ?
- . Êtes-vous informés sur les différentes techniques de réemploi des gravats ?
- . Pensez-vous que les gravats sont une stratégie de réemploi complexe ?
- . Envisagez-vous d'introduire le réemploi de gravats dans vos projets ?
- . Dans quels types de projet réemployez-vous les gravats ?
- . Incluez-vous les démolitions sélectives dans vos projets ?
- . Comment réemployez-vous les gravats dans vos projets ?
- . Comment vous êtes-vous formé au réemploi de gravats ?
- . A quelles problématiques êtes-vous confrontés lors du réemploi de gravats ?
- . Procédez-vous à des recherches de nouveaux matériaux incluant le réemploi des gravats ?

L'INTERVIEWÉ : AYMERIC MEUNIER
SES COORDONNÉES : CONTACT@R-USE.FR
QUI EST-IL : CO-FONDATEUR DE R-USE

MOTS CLÉS :
RÉGLEMENTATION / AMBITION / MARCHÉ / FAISABILITÉ / FLUX SORTANTS / PRINCIPES CONSTRUCTIFS / OPÉRATIONNEL / GUIDES MÉTHODOLOGIQUES / DÉMONSTRATIONS / INITIATIVES

CITATIONS :

« La valorisation au niveau de la matière est souvent effectuée via des centres de tri, via une multitude de personnes et d'entreprises qui va prendre cette matière et la retravailler, ce qui fait qu'à un moment donné on perd l'information de ce qu'elle est et de ce qu'elle devient. »

« On a souvent fait des tests sur les matériaux pour les garder en place. En faisant appel à des centres techniques, des laboratoires pour faire des prélèvements. On faisait tout un raisonnement scientifique, des justifications techniques et réglementaires pour prouver à tout le monde, aux bureaux de contrôle, d'assurance et au client que le plancher tenait alors que ça faisait un siècle qu'il était là. Il fallait parfois faire des essais en charge. Pour moi, la base de la justification c'est une série de tests qu'on fait sur une structure et qui est transposable pour n'importe quel matériau. Pour le réemploi, c'est la même chose. »

« Notre mission c'est d'être toujours le plus ambitieux sur le taux de valorisation en cadrant tout le projet de déconstruction avec le maître d'œuvre. Cadrer le marché pour atteindre le meilleur taux de valorisation et voir comment on met en œuvre pour atteindre le meilleur taux. »

« On essaye toujours de trouver le plus d'acquéreurs pour l'ensemble des matériaux afin de valoriser le

plus de choses possibles. Ce n'est pas toujours facile, ça dépend des maîtres d'ouvrage et des architectes. Il y en a qui sont super volontaires et d'autres moins. Parfois si l'émulsion prend bien on peut faire des belles choses sinon c'est un peu décevant et ça arrive aussi. »

« On est pour le moment sur le flux sortant. Le plus simple est de savoir ce qui va être déconstruit et comment on peut le valoriser. Tout le monde a envie de connecter ça avec le flux entrant. Il faut essayer de nouvelles solutions constructives directement. »

« C'est avec les bons industriels, qui seront le plus innovant et qui ont déjà pris le parti qu'il faut traiter tout de suite. Ce sont eux qui font monter en compétence le réemploi. C'est l'industriel qui va pouvoir consacrer dans son stock de production de porte peut être 10 ou 20% pour le réemploi, car ils ont les outils, les cadences et ils sont dimensionnés pour, il faut juste maintenant qu'ils aient envie de le faire et qu'on les incite à le faire. »

« Il ne faut pas hésiter parfois à laisser partir le matériau pour qu'il aille se faire valoriser beaucoup plus loin et le laisser revenir, plutôt que d'essayer absolument de le garder sur site et faire venir des gens pour le valoriser. Alors que le chantier est un espace contraint avec de la logistique et des limites. »

CE QUE JE RETIENS :

Trouver en amont des filières sans passer par des professionnels du déchets. Trouver un nouvel usage même aux matériaux sans valeur, notamment pas le concassage. Écosystèmes existants autour des matériaux. Définir des objectifs avec la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. Définir les indicateurs de valeur des matériaux. Proposer des prototypes aux architectes. Impératif de travailler avec tous les corps de métier associés aux chantiers. Changement d'échelle pour faire barrage aux freins assurantiels. Faire émerger de nouvelles pratiques.

Reproduire des schémas constructifs qui fonctionnent. Produire des guides méthodologiques. Chercher des acteurs locaux. Trouver le bon texte de loi qui établisse un cadre équitable pour tous. Essayer de convaincre le plus de monde possible par des démonstrations. Créer des processus. Anticiper les zones de stockage des matériaux déposés. Contexte réemploi structurel réduit.

RETRANSCRIPTION DE L'ENTRETIEN

[Demande d'enregistrement].

- Ça marche.

- Oui en fait, elle avait déjà commencé à travailler sur le Granito quand j'ai fait mon stage à l'agence mais à ce moment-là mon stage durait un mois donc j'avais pas du tout eu le temps de m'intéresser à son travail. J'ai essayé de la recontacter justement pour en discuter avec elle. C'est vrai que ce qui m'intéresse vraiment c'est la matière et le changement d'état de la matière et notamment les gravats. Après globalement le réemploi et l'économie circulaire.

- Les gravats c'est un petit peu plus sur l'échelle du recyclage parce qu'on va réemployer des granulats. La première richesse pourrait être l'ouvrage ensuite l'ensemble des éléments structurels mais si on ne réutilise pas ces éléments là comme tels pour le même usage, on va les recouper et en faire autre chose. On peut les recouper et après quand on ne peut vraiment plus rien faire, on va les concasser. La valorisation au niveau de la matière est souvent effectuée via des centres de tri, via une multitude de personnes et d'entreprises qui va prendre cette matière et la retravailler, ce qui fait qu'à un moment donné on perd l'information de ce qu'elle est et de ce qu'elle devient. Ce qui nous intéresse chez R-use c'est de trouver en amont des filières en direct sans passer par des professionnels du déchets. On traite rarement de la ressource. Même si on traite le granulat, on va essayer de passer directement par des gens qui vont récupérer le béton, une benne de béton sur chantier par exemple pour faire du béton recyclé. Mais ça ne va pas être du béton qui va aller sous une couche routière ou va être mélangé avec d'autres choses dont on ne connaît pas les propriétés. Notre travail consiste toujours essayer de trouver des solutions hyper en amont sur le projet. Est ce que tu veux que je te raconte un peu ce qu'on fait chez R-use pour que tu aies un peu une vision d'ensemble ?

- Oui carrément, j'ai déjà épluché votre site internet pour voir de quoi il en était. En fait c'est drôle parce que votre structure a l'air vraiment de correspondre aux motivations que j'ai pour ma future vie professionnelle.

- C'est -à- dire ?

- J'ai trouvé une résonance assez particulière. Après tu m'expliqueras plus en détails mais de ce que j'ai pu comprendre déjà j'aimerais vraiment. Je me questionne encore. Bon l'architecture, les études en soi j'adore ce que je fais mais je fais aussi beaucoup de bricolage, d'expérimentation sur la matière etc. De plus en plus je ressens le besoin, notamment

avec la déconnexion qu'on a eu à cause du covid par rapport à l'école et les cours, d'ajouter du travail manuel à mes études et mon futur métier. J'ai eu la chance de bénéficier d'un espace où je pouvais pas mal bricoler ces derniers temps et je me suis rendue compte qu'il fallait que je commence à développer cette partie plus manuelle.

- Ouais c'est vrai que c'est intéressant. Moi j'ai un parcours assez classique d'ingénieur, plutôt en conception mais je faisais aussi un peu de suivi de chantier. C'est vrai que c'est là qu'on apprend à mieux concevoir mais il n'y a avait pas cet aspect on met les mains dans le cambouis. Je trouve que le fait de faire des prototypes et d'avoir des artisans à portée de main c'est hyper intéressant. On comprend les problématiques de leur travail, les enjeux etc. On comprend tout de suite ce qui est possible de faire ou pas.

- Oui il y a un côté beaucoup plus réel, c'est sûr que ça sort du cadre scolaire.

- Oui c'est réel, il y a un moment donné où il y a des choses qui sont faisables et d'autres qui ne marchent pas. Mais du coup, pour te raconter un peu l'histoire de R-use, moi à la base je suis ingénieur structure chez ??? à Paris qui est un bureau d'étude qui bosse un peu partout en France et dans le monde. J'étais à la fin directeur adjoint du pôle structure. D'ailleurs un de mes consultants a rencontré Anna St Pierre qui fait des expérimentations aussi à Luma. C'est un bâtiment qui a été réalisé par Franck Gehry. C'est un truc hyper complexe. J'étais sur des projets assez complexes, très techniques, très ambitieux d'un point de vue structure avec des montages un peu chauds mais aussi sur des réhabilitations lourdes. A Paris, il fallait faire tomber des immeubles entiers et ne laisser que la façade par exemple. Ou garder tous les planchers, même des planchers bois qui dataient de plus d'un siècle. Tout ça c'est des choses qui me parlent bien là. Essayer de garder autant les éléments dans leur jus et si on peut pas, essayer de les garder autrement. On a souvent fait des tests sur les matériaux pour les garder en place. En faisant appel à des centres techniques, des laboratoires pour faire des prélèvements. On faisait tout un raisonnement scientifique, des justifications techniques et réglementaires pour prouver à tout le monde, aux bureaux de contrôle, d'assurance et au client que le plancher tenait alors que ça faisait un siècle qu'il était là. Il fallait parfois faire des essais en charge. Pour moi, la base de la justification c'est une série de tests qu'on fait sur une structure et qui est transposable pour n'importe quel matériau. Pour le réemploi, c'est la même chose. Il faut juste apporter les preuves que le matériau est dans un bon état. Ça c'est mon expérience. En 2017, j'ai cofondé R-use avec Mathieu Parada qui est un ancien maître d'ouvrage

public bailleur social. On a monté R-use avec l'ambition d'accompagner les maîtres d'ouvrages publics et privés. Ceux qui déconstruisent, ceux qui réhabilitent, ceux qui construisent pour valoriser au mieux les éléments qui vont être déconstruits. Notre mission c'est d'être toujours le plus ambitieux sur le taux de valorisation en cadrant tout le projet de déconstruction avec le maître d'œuvre. Cadrer le marché pour atteindre le meilleur taux de valorisation et voir comment on met en œuvre pour atteindre le meilleur taux. Donc ça concerne des entreprises qui font du réemploi local ou du recyclage. On parlait toute à l'heure du recyclage du béton. Là je suis en train de développer pas mal le recyclage du verre et là on essaye de voir pour le recyclage de la terre cuite les tuiles les briques etc. On essaye de voir comment on peut récupérer ces éléments là. Soit pour faire du réemploi mais si c'est pas possible parce que les briques sont pourries, les concasser mais de leur trouver un nouvel usage et là on est en train d'essayer de développer, enfin j'ai des échanges avec les industriels pour développer du Granito avec de la terre cuite. Voir comment on peut intégrer cette terre cuite dans la formulation. C'est un travail à l'échelle de la matière. Pour faire le projet on essaye de trouver des matériaux qui sont propres à ce projet là et on essaye de monter une démonstration. Petit à petit, on monte en compétence, on apprend à découvrir un écosystème propre à ce matériau là. Qui sont les spécialistes de ces matériaux-là, de les faire se parler entre eux pour créer cette boucle circulaire. Donc ça c'est la partie valorisation. A l'arrivée on va suivre les travaux qu'on va organiser suivant les déposes collaboratives si besoin. On essaye toujours de trouver le plus d'acquéreurs pour l'ensemble des matériaux afin de valoriser le plus de choses possibles. Ce n'est pas toujours facile, ça dépend des maîtres d'ouvrage et des architectes. Il y en a qui sont super volontaires et d'autres moins. Parfois si l'émulsion prend bien on peut faire des belles choses sinon c'est un peu décevant et ça arrive aussi. Donc avec les architectes et la maîtrise d'ouvrage, on va définir un objectif pour savoir si sur ce projet on fait 10% en réemploi et comment on va le faire. On va essayer de lister des solutions constructives. On fait une liste pour voir combien ça pèse. L'indicateur est encore un peu flou, on ne sait pas encore sur quoi on se base exactement. L'indicateur carbone est un bon indicateur aussi, ce qui est décarboné est la priorité en fait. Ça peut être aussi un indicateur en termes de prix, ça veut dire que sur ce projet là on dédie 10% du budget pour l'économie circulaire. On va favoriser le travail avec les asso, les acteurs locaux, etc. Donc nous on s'occupe de proposer et de développer des solutions. On a une partie qui est presque du design, on va créer nous même des solutions qu'on propose aux architectes. On essaye de lancer des prototypes et de les soumettre. Après on bosse avec eux, on ne veut pas non plus les démunir de leur mission de concepteur mais voilà on est vraiment avec eux au corps à corps pour ces solutions là. Après le but c'est de faire la faisabilité technique de manière à rester dans le

budget du maître d'ouvrage et ensuite de lever les freins réglementaires. Ça se fait au coup par coup.

- Quels sont vos clients ?

- Nos clients sont donc les promoteurs. Soit on est missionné en direct par les promoteurs qui veulent se lancer un peu dans l'aventure du réemploi. Il y en a qui veulent faire un peu de greenwashing et qui veulent communiquer. Eux s'ils ont un bâtiment à démolir, on vient on fait un diagnostic ressource et ensuite on suit le projet comme je viens de te le dire. On peut être missionné par des maîtres d'ouvrage publics ou des bailleurs sociaux qui lancent des appels à projet, des appels à candidature. Donc les équipes de maîtrise d'œuvre nous appellent pour qu'on soit leur spécialiste réemploi et économie circulaire pour assurer ce volet là. Il y vraiment de tout, on peut avoir des projets sur des collèges, des logements, du sportif, vraiment de tout. Pour les promoteurs, on est plutôt sur du tertiaire. C'est là où il y a le plus de gisements intéressants à valoriser. Les prestations pour des projets d'aménagement intérieur sont encore très récentes.

- C'est une de mes questions aussi, est ce que vous avez des difficultés à trouver des gisements de matière ?

- Non, On est pour le moment sur le flux sortant. Le plus simple est de savoir ce qui va être déconstruit et comment on peut le valoriser. Tout le monde a envie de se connecter avec le flux entrant. Il faut essayer de nouvelles solutions constructives directement et pas des matériaux directement car il faut faire appel aux gens qui vont les concevoir, les fabriquer, les transporter et les garantir. Donc c'est une solution qui traite des matériaux. Il y a toute une ingénierie qui est liée à cette prestation. Aujourd'hui, il y a beaucoup de gens qui souhaitent valoriser et se faire acheter leur matériau de réemploi comme on achète des choses sur Leboncoin mais c'est du coup ce sont des gens qui sont des auto-constructeur, des particuliers, mais il y a pas encore de maître d'ouvrage qui sont capable d'acheter 1000 fenêtres ou 1000 portes pour leur projet parce que derrière il y a pas les garanties qui vont bien. Nous c'est des choses qu'on essaye de mettre en place afin de changer d'échelle. Il y a des projets où il y a de très belles portes qui sont nickels, on va les garder, les faire stocker le temps des travaux. Un menuisier va venir les prendre pour les revaloriser si besoin en tout et c'est lui qui va apporter sa garantie sur le matériau.

- Cela veut dire qu'il y a un nombre d'entrepreneurs qui souhaitent aussi rentrer dans cette démarche et derrière apposer leur garantie même si ce ne sont pas des portes sorties d'usine ?

- En fait ce sont des portes usinées mais il y a longtemps en fait. Aujourd'hui les industriels ne se posent pas trop de

question mais ils commencent un peu à comprendre qu'il va falloir y aller. C'est avec les bons industriels, qui seront les plus innovants et qui ont déjà pris le parti qu'il faut traiter tout de suite. Ce sont eux qui font monter en compétence le réemploi. C'est l'industriel qui va pouvoir consacrer dans son stock de production de porte peut être 10 ou 20% pour le réemploi, car ils ont les outils, les cadences et ils sont dimensionnés pour, il faut juste maintenant qu'ils aient envie de le faire et qu'on les incite à le faire. Il vaut mieux traiter tout de suite avec les spécialistes de ces matériaux car c'est eux qui font le réemploi. Ce n'est pas le petit maker qui va réparer. C'est l'industriel qui va pouvoir consacrer dans son stock de production de porte peut être 10 ou 20% pour le réemploi.

- Est-ce que vous sentez qu'il y a une sorte d'énergie positive à Paris, en France, justement des gens qui ont vraiment envie de s'investir là-dedans. J'ai quand même constaté que depuis 10, 15 ans, il y a avait une sorte de renouveau dans ces démarches là. Est-ce que vous sentez que les gens ont aujourd'hui plein de valeurs positives pour développer ce genre de choses ?

- Oui oui bien sûr. Il y a vraiment beaucoup de gens qui souhaitent s'investir dedans. Franchement il y a beaucoup de bonne volonté. Après malheureusement aujourd'hui on est rattrapé par les freins qui sont surtout d'ordre assurantiel et encore psychologique. Les jeunes qui font des projets, eux on est sûr, on a pas besoin de les convaincre. Les gens qui ont entre 50 et 60 ans, qui font comme avant et à qui on a pas à apprendre leur métier c'est plus compliqué mais ça bouge petit à petit.

- Il y a quand même un certain nombre de maîtrises d'ouvrage qui ne veulent pas forcément se mouiller financièrement pour développer ce genre de choses ?

- Oui complètement. Qui doit payer cette innovation et cette expérimentation ? Quand on parle de prototypes, qui prend le risque ? Est-ce que c'est l'industriel ? Si on a envie de faire un prototype de terrazzo avec la tuile, soit il suit le projet et c'est lui qui prend le risque mais si il le fait pas alors qui le fait ? Nous là on essaye de faire des trucs avec nos makers. C'est intéressant de les avoir à proximité pour faire ce genre de choses mais il y a un moment donné c'est le changement d'échelle qui est complexe (échelle industrielle). Autant solliciter directement l'industriel pour que ça prenne vraiment une nouvelle dimension.

- J'ai vu sur votre site internet justement que vous aviez une structure pour faire ça ?

- Alors nous sommes membres fondateurs du collectif Re-store en plus à Paris où il y a justement des designers, des archi-

tectes, des ingénieurs, des makers, des artisans. On essaye de bosser avec eux pour justement faire des prototypes ou se regrouper pour parler du réemploi et de ce qui est possible de faire et de capter les gisements. A chaque fois on cherche des repreneurs. On essaye de faire en sorte qu'ils travaillent sur ces gisements pour fabriquer des solutions. Ça c'est le Re-store à Paris et moi je suis basé à Bordeaux depuis 2 ans. En plus de tout ce que j'ai à faire avec R-use, on est en train d'essayer de développer un pôle réemploi solutions bois avec des artisans qui vont récupérer des charpentes bois par exemple, les collecter, les valoriser, les caractériser et en faire des produits pour le bâtiment. On essaye de faire du parement mural, du parquet etc. Des prestations intérieures en fait. Mais j'ai aussi un projet de R&D avec Nobatek qui s'appelle Restwood. Je le porte en équipe avec eux. Le but c'est de créer une filière de réemploi structurel de bois en Nouvelle Aquitaine. Idéalement, il faudrait qu'il y ait un grand lieu qui s'ouvre à Bordeaux ou pas très loin où y'a des gens qui reçoivent du bois, on le caractérise, soit on le revend en l'état à des associations qui cherchent du bois de réemploi soit on en fait des prestations intérieures soit on en fait de la structure. Là j'ai des architectes avec qui je bosse qui veulent nous missionner pour sourcer du bois de charpente. On identifie cette charpente, on crée cette boucle d'économie circulaire, on fait déposer la charpente avec un charpentier etc, on la remonte telle qu'elle sur le futur projet. A nous d'identifier tous les postes de cette chaîne de valeur.

- Même l'architecte doit l'anticiper dans son projet finalement ?

- Oui du coup c'est super intéressant parce que c'est pas aléatoire mais il faut définir des principes constructifs qui seront souples et plutôt à partir de petits éléments en fait parce que une poutre de 8 m il a une section de 20x20 par exemple même avec une poutre de 3m avec une section de 10x10 n'aura pas les mêmes lamelles. Donc si on travaille sur ces lamelles là il faut travailler avec un élément constructif élémentaire. C'est un peu ce qu'on avait fait pour la terrasse des canaux à Paris. On a fait cette ombrière à partir de bois de réemploi. On avait donc fait des portiques assez simples mais très réversibles, c'était facile à démonter. Mon archi à Bordeaux qui veut faire du réemploi de charpente il est plutôt sur des charpentes traditionnelles. Je lui dis c'est bien mais il faudrait garder le principe de la traditionnelle mais un peu plus éco-conçue, qui est plus démontable pour la suite et du coup se creuser les méninges pour faire une charpente qui est plus au goût du jour. Donc elle sera liée à ces éléments là qui seront réemployés.

- Est ce que vous êtes dans une optique d'innovation ?

- On fait que ça.

- Est-ce qu'il est possible de fabriquer un matériau de réemploi et de poser un brevet par exemple dessus pour pouvoir vraiment définir de nouvelles caractéristiques techniques a ce matériau employé, reconstruit recyclé est ce que ça possible ?

- Ça va être plus possible à l'échelle de la matière. Mettre de la terre cuite dans un dallage extérieur voilà ce sont des choses qui se font pas trop aujourd'hui mais si on le fait c'est un peu un nouveau matériau. Moi je suis pas à la recherche d'avoir un brevet etc mais je suis plus là pour faire émerger des nouvelles pratiques. A voir. La dalle sur plôt qu'on travaille, on est en train de faire des prototypes. Est ce que si on réussit ce truc là est ce qu'on va devenir une boîte qui va fabriquer du terrazzo à voir. On est plus dans la r&d pour l'instant et dans l'opérationnel. Moi ce que je veux c'est qu'il y ait une filière qui émerge et que tout le monde se bouge sur le réemploi. Qu'il y ait de plus en plus d'associations, d'entreprises qui émergent et qui ferait cette offre de solutions de réemploi.

- Par exemple sur une dalle de terrazzo, vous êtes allé au bout du truc, vous avez réussi à créer cette matière est-ce qu'il est possible de garder ce schéma constructif pour se dire voilà on est capable de faire et si dans 5 ans on se retrouve sur un nouveau projet mais avec les mêmes matières à réemployer on se ressert de ce qu'on a fait avant pour recréer.

- On se ressert à chaque fois bien sûr de ce qu'on a fait sur un projet. Les tests deviennent une solution presque classique pour un autre.

- Ces solutions ont quand même besoin d'être cadrées. Est-ce que vous faites appel à d'autres unités de recherche pour développer ces matériaux ?

- Là sur Restwood on bosse avec un laboratoire on bosse un peu avec le FCBA et aussi on risque de bosser avec le CSTB qui sont des organismes de certification et de recherche qui vont nous appuyer.

- Le but à l'arrivée, c'est de produire des guides méthodologiques. Ça c'est pour Restwood et après mon associé il est plutôt sur le nord de la France. On essaye de développer des filières ou en tout cas de récupérer qu'à fait Rotor sur la brique et du coup de mettre en place des filières qui viennent de Belgique pour ces projets qui seront à Lille.

- Est-ce que vous avez déjà eu des projets de réemploi in situ ?

- En fait c'est le plus facile à cadrer. Quand on peut le faire, c'est vraiment le meilleur. Quand la maîtrise d'ouvrage est d'accord pour intégrer des éléments dans son projet. On peut bien définir les choses avec les entreprises qui vont les déposer, les valoriser, c'est beaucoup plus simple que d'essayer d'intégrer des solutions qui viennent d'ailleurs.

après c'est pas tout le temps qu'on a la possibilité de le faire. Mais là on commence à le faire de plus en plus.

- Ça nous amène au cœur de l'expérience, au cœur de l'expérience de l'économie circulaire.

- Oui là c'est faire une boucle sur le même projet. Il ne faut pas hésiter parfois à laisser partir le matériau pour qu'il aille se faire valoriser beaucoup plus loin et le laisser revenir, plutôt que d'essayer absolument de le garder sur site et faire venir des gens pour le valoriser. Alors que le chantier est un espace contraint avec de la logistique et des limites.

- Mais on pourrait dire que l'empreinte carbone du matériau qui va être déplacé pour être revalorisé ailleurs va prendre de l'importance ?

- En fait dans le bilan carbone d'un matériau dans son cycle de vie, le transport c'est peanuts, c'est presque rien face à l'énergie qui est engendré à son extraction et à sa première transformation. Là c'est vraiment où il y a le plus d'énergie qui est déployée. Donc même si on fait un Nice-Brest pour le transport en fait c'est vraiment rien.

- Quel rayonnement peuvent avoir vos matériaux au maximum ou au minimum ?

- J'essaye à chaque fois d'avoir des initiatives locales le plus proche du projet. Clairement le réemploi est une affaire locale qui permet de faire émerger des nouveaux acteurs, de créer des emplois etc. Donc on cherche d'abord des gens ici et puis s'il n'y en a pas, on va plus loin mais en tout cas on favorise des gens qui sont à proximité. Il y a peu d'offres pour l'instant donc on va vite sur Paris et ses alentours.

- A Bordeaux ça se passe comment ?

- A Bordeaux, ça commence à marcher. Il y a des maîtres d'ouvrage et des aménageurs qui commencent à se bouger un peu. Toi du coup t'es à l'école d'architecture de Bordeaux et après tu voudrais rester dans la région ou aller ailleurs ?

- Alors moi pour le moment je vais finir mon semestre 8 je sais pas si ça te parle c'est le semestre 8 de mes études. Je vais finir mon master I ensuite en septembre je vais entamer mon dernier semestre d'école et ensuite je vais faire un stage. J'ai fais une césure l'année dernière et j'ai fait 6 mois de stage à Bordeaux dans une agence et après je devais partir voyager.

- Dans quelle agence as-tu fait ton stage ?

- Luc Arsène Henry et Alain Triaud. C'est une agence de taille moyenne. Ce sont deux associés qui ont monté leur boîte mais il y a longtemps. Ils ont pas mal de gros projets

sur Bordeaux. C'était super intéressant, j'ai suivi plein de chantiers et c'est ça qui m'a vraiment donné le goût. Là je vais refaire une césure car dans notre cycle on a pas du tout de possibilité de faire de longs stages donc j'ai déjà pris une césure pour faire un stage de 6 mois et là je vais refaire une césure pour faire un stage de 4 à 6 mois. Ensuite je vais passer mon PFE et ensuite adienne que pourra mais j'aimerai quand même rester sur Bordeaux. Après j'aimerai quand même développer une expérience à l'étranger dans un pays anglophone pour commencer à bien me familiariser avec l'anglais et commencer à aller voir ce qui se passe en Europe du nord. Mais Bordeaux c'est clair que je vais y rester pour un petit bout de temps.

- Là du coup tu es à bac plus combien?

- Je suis à bac + 4 en années scolaires mais ça fait 5 ans que je suis en études supérieures.

- Il te reste du coup 2 ans à faire?

- Oui c'est ça si tout se passe bien en janvier 2023 je serai diplômée.

- Et après il y a le stage HMO sur la fin ou c'est après?

- Oui c'est après. Là pour le moment je vais faire un stage en janvier de 4 à 6 mois et ensuite la HMO je me suis pas encore trop renseignée mais en tout cas je la ferai à Bordeaux. J'aimerai bien aussi faire mon PFE sur ces thématique là pour pouvoir lier un peu mon mémoire, le PFE et ce qui m'anime sur le réemploi. Après il y a l'obtention de la mention recherche. Ce qui veut dire que je soutiens mon PFE avec un vrai projet de recherche que j'aurai mené. Là j'ai commencé à avoir quelques idées, notamment sur les carrières c'est des endroits auxquels on ne s'intéresse pas vraiment, qui sont parfois laissés aux mains de la nature mais ça commence un peu à m'intéresser surtout avec le rapport à la matière minérale. Mais j'aimerai commencer à intégrer tous ces questionnements à ma vie d'étudiante et ma future vie professionnelle. Je me rends compte de plus en plus que je ne voudrais pas forcément être architecte directement dans des grosses agences mais essayer d'intégrer des petites structures locales. A Bordeaux il y a le collectif Cancan, je ne sais pas si tu es en contact avec eux. Par exemple, ils ont participé au montage d'un festival à l'école d'architecture qui s'appelait Gueule de Bois et ils ont été en collaboration avec le groupe d'étudiants qui ont monté le festival. Ils ont investi l'école pendant 2 semaines pour monter toutes les structures. On a travaillé nous la dessus aussi avec un prof de design, on a monté une structure sur laquelle on a été noté et c'est rentré dans le cadre de notre semestre. À partir de la caisse de vin, on a créé une structure. ça c'était vraiment cool. C'est ce genre de structure là que j'aimerai intégrer par la suite.

- Nous pour info, toutes nos recrues sont des archi. On a des architectes ingénieurs qui vont arriver. Qui ont les double diplôme. On a des partenaires qui sont plutôt archi qui sont consultants pour nous. Après sur Bordeaux ça commence à se développer, il y en a même qui vont muter de Paris à Bordeaux et d'autres qu'on va recruter. Il y a de fortes chances qu'on soit à la recherche de stagiaire aussi en fin d'année et début d'année prochaine. Donc si ça t'intéresse tu pourras me contacter.

- Je pense que ça m'intéresse vraiment comme je t'ai dit quand je suis tombée sur votre site internet il y a quelque chose qui m'a beaucoup plu. Surtout ce qui est intéressant c'est que vous avez vos expériences tous les deux. Vous avez fait vos constats, vous avez compris ce qui se passait, quelles étaient les limites et comment faire autrement. C'est ça qui est intéressant dans les démarches. Est-ce que les gravats sont des matières que vous utilisez ?

- En fait il y a beaucoup de gens qui essayent de faire du réemploi avec le béton mais je ne suis pas sûre que ce soit vraiment propice comme matériaux à être découpé avec les acier etc, à transporter c'est très lourd, très massif, je suis plutôt à l'échelle du granulat pour le béton donc pour moi c'est beaucoup plus efficace de faire du recyclage en boucle fermée plutôt que du réemploi de panneaux de béton sauf si il y a vraiment des éléments bien fait et qui conviennent aux futurs usages. Ça reste assez réduit quand même comme contexte. Là j'ai pas mal de projet ou on a des milliers de tonnes de béton qui sont à déconstruire et j'ai envie que ce soit bien valorisé. Parce que bon ça passe dans des centres de tri et ça finit sous les routes quoi.

- J'ai vu qu'il y avait pas mal de projets comme Recybeton qui sont capables de produire ce genre de choses.

- Mais là on se heurte encore à la réglementation en fait on va trop vite. Aujourd'hui, on a pas le droit de mettre plus de 30% de granulats recyclés dans une formulation de béton structurel.

- C'est tellement technique que pour pouvoir repartir dans une structure pour des années à venir. Qui met en place ces réglementations ?

- C'est tous les organismes de certification, les bureaux de contrôle, etc.

- Est-ce que ce genre d'organisme sont quand même assez ouverts à ce que les réglementations changent et aillent de paire avec l'évolution du réemploi ?

- Pas tous mais il y en a qui le sont mais après on est rattrapé par la police de la réglementation. C'est comme pour les lois,

tout le monde est d'accord mais si il faut trouver le bon texte qui soit équitable pour tout le monde qui soit bien formulé etc. Ce n'est pas évident.

- Quelles échelles avez-vous sur la France en termes de projet ?

- Là en ce moment on commence à avoir pas mal de projets, environ 20 projets en parallèle, après nous on intervient pas comme des architectes. Ce sont des petites missions mais néanmoins on s'investit beaucoup car il faut faire de la recherche. Chaque projet, chaque mission, il y a rien qui coule, il faut se démener pour essayer de convaincre tout le monde de créer des démonstrations, c'est à la fois super intéressant mais aussi assez fatigant. Après on est beaucoup sur Paris, Île de France, Bordeaux, Nantes et sur Lyon et un peu dans le sud est aussi.

- Comment vous arrivez à gérer les stockages, les transports ?

- Nous on fait que de l'ingénierie et du conseil. Après on cadre les choses pour que l'entreprise de dépose ou qui valorise ait les moyens de stocker. Soit elle a un stockage chez elle, soit elle a des stockages qui sont déportés. Il y a aussi des entreprises de curage et démolition qui ont des centres en périphéries des villes et elles envoient leur matériaux là-bas et après il y a les acquéreurs qui viennent pour les chercher.

- Oui donc votre mission c'est vraiment l'accompagnement.

- Oui c'est de créer tout le processus et sinon parfois il y a de la place sur les sites donc on définit avec la maîtrise d'ouvrage une zone sur le site pour stocker. Notre mission c'est de créer le processus. Après identifier les acteurs qui vont le réaliser et de suivre tout ça. En parallèle oui pour des petits trucs on essaye de faire du prototypage avec nos makers qui ont des espaces de stockage.

- C'est super intéressant. Je m'étais fait une liste de questions sous le coude. Mais je pense qu'on a quand même bien balayé toutes les questions.

- Si tu as d'autres questions tu peux me les envoyer par mail si tu veux il n'y a pas de soucis.

- Si jamais vous cherchez des stagiaires c'est tout bénéf pour moi dans le sens où je me forme, j'apprends des choses et je participe à quelque chose que j'aime faire même si je ne connais pas vraiment mais en tout cas moi ça m'intéresserait complètement de participer à ça.

- Pas de soucis quand tu es en quête de stage, tu m'envoies un mail et puis je regarde si on peut prendre un stagiaire à ce moment-là.

- Est-ce que vous avez des bureaux à Bordeaux ?

- Pour l'instant je suis dans un cowork après on va essayer d'ici la fin de l'année d'avoir un bureau et on est entrain de réfléchir à coupler ça avec cette recherche de pôle de maker qui font du bois et de faire une pierre de coup et d'avoir un lieu un peu comme on a sur Paris avec un store, une partie working et une partie plutôt proto.

- A Paris, est-ce que vous travaillez avec Bellastock par exemple ?

- On travaille pas avec eux, mais on est en lien parfois sur des projets souvent ils sont AMO mais plutôt à l'échelle de l'aménagement et nous plutôt à l'échelle du bâtiment ou d'un site du coup on est amené à se parler. Un peu ce que j'ai avec le collectif Cancan qui est aussi AMO sur la Fab et moi je suis AMO à l'échelle de site pour faire transiter les matériaux et les pratiques. On se parle pour créer la démarche ensemble. Après eux, un peu comme Cancan, ils sont très portés sur les événements. Ils ont commencé comme ça. Nous on est pas du tout sur ce modèle pour l'instant.

- C'est super intéressant en tout cas ça va quand même bien m'aider. Mon but dans l'écriture de mon mémoire est d'essayer de mettre en fonction tous les acteurs du réemploi que toi tu côtoies en permanence dans tes projets. Je sais pas si tu as entendu parlé de Stefan Shankland c'est un artiste qui a créé une matière qui s'appelle le Marbre d'Ici bon j'ai essayé de le contacter pour le moment j'ai pas de réponse mais ce qui m'intéresse c'est d'aller voir les artisans, les artistes, les gens qui designent et conceptualisent et d'aller jusqu'à l'autre bout de l'échelle et d'aller voir les gens qui coordonnent tout ça.

- Oui c'est une référence qui a déjà quelques années. Je me souviens nous quand on venait de se créer on avait un peu la démarche que tu fais maintenant, qui a fait quoi etc en bouquinant les divers ouvrages d'Encore Heureux et de Rotor.

- Oui exactement c'est l'état de l'art que j'ai fait au dernier semestre et qui m'a permis de voir sur quoi je voulais travailler. En tout cas merci beaucoup ça va bien m'aider.

- N'hésite pas à me solliciter en tout cas.

- Oui, même si ça t'intéresse que je t'envoie mon travail.

- Oui carrément tu m'envoies ton mémoire.

- Merci beaucoup et à bientôt.

- À bientôt.

L'INTERVIEWÉ : SÉBASTIEN TABOURIN
SES COORDONNÉES : ST@ATELIERDELALANDETABOURIN.COM
QUI EST-IL : CO-FONDATEUR DE DELALANDE TABOURIN

MOTS CLÉS :
ANTICIPATION / FREINS ASSURANTIELS / REBUT / PROCESSUS
/ SENSIBILISATION / MATIÈRE NOBLE / DÉCHETS DE CARRIÈRES
/ INDUSTRIALISATION / ENVIRONNEMENT PROCHE

CITATIONS :

« A la fin du cycle de briqueterie, il y a de la chamotte, c'est la brique concassée et broyée. Pour ce projet de réhabilitation, on voulait du béton-brique en réemploi à 100%, donc de belles idées au début. Mais en France on n'est pas du tout assez au point. On avait le droit qu'à 3% de chamotte réemployée dans les agrégats de béton. Donc 3%, je peux te dire que ton béton il est gris, sans aucune nuance de rouge. Alors qu'en Belgique, c'est 40% je crois. »

« Sur une carrière de granite de Bretagne, on s'est rendu compte qu'ils avaient 95% de perte à l'extraction et à la transformation, ce qui crée des collines de déchets alors qu'en fin de compte ce sont les pierres le plus denses et les plus dures. Mais comme ce sont des commandes publiques, dès qu'il y a une tache sur le granite, le maître d'ouvrage n'aime pas. Donc tu as un bloc entier qui est mis de côté et catégorisé comme déchet. C'est une source énorme de matière dans les carrières. Il y a pas mal de carrières qui créent comme ça des tonnes et des tonnes de déchets de pierres qui ne serviront jamais. C'est vraiment de la matière noble. »

« On recycle de la pierre de Bretagne pour un projet de logement quasiment in situ car la carrière est à 30 km. Ton réemploi ou ton recyclage peut être in situ si tu as la matière sur site à proprement parlé. Ceux qui font du béton de site par exemple, il faut avoir assez de terre sur place. Si tu fais un bâtiment qui fait 2000m², c'est plus compliqué. Ta démarche c'est de faire un bâtiment qui correspond à un territoire. »

« Les ressources d'aujourd'hui ont toujours été les carrières de pierre, les scieries, les briqueteries mais les ressources de demain seront les déchets de déconstruction. Les ressources de la ville sont infinies, il faut en profiter. »

« Il faut construire des architectures qui considèrent l'environnement proche, qui soient proche de leurs contextes. A l'époque, une ville était grise car la pierre locale était grise, une ville était rose car construite avec des briques donc chaque ville avait son identité par rapport aux matériaux locaux utilisés. Aujourd'hui tout se ressemble. Il faut essayer de se rapprocher du contexte en prenant des ressources proches. En Bretagne, qui est le plus gros bassin de granite en France, ils n'utilisent pas le granite breton. 80% du granite vient du Portugal ou de Chine, parce qu'il est beaucoup moins cher, alors qu'ils en ont à 10km. C'est l'industrialisation qui a provoqué la concurrence des prix. »

« On prend les déchets des carrières, de scieries ou des briqueteries. Ce sont des éléments que personne ne veut, un peu comme les fruits moches. Tu vas voir ton client, tu lui dis que tu peux mettre des matériaux nobles dans le projet pour le même prix qu'un matériau standardisé et aseptisé, ce qui est bénéfique. D'un côté, le patron de la carrière ça ne lui sert à rien, ça lui prend de la place et il s'en débarrasse. D'un autre côté, ton client paye beaucoup moins cher un matériau noble qui a des vraies caractéristiques. On a appris à faire ça sur le tas. Ça vient au fur et à mesure. »

CE QUE JE RETIENS :

Confrontation à la réalité des normes de construction et du bâtiment. Les carrières sont d'énormes bassins de ressources à la fois utilisées et à la fois oubliées. Pas de réemploi de structure pour le moment. Réemploi in situ assez rare. Faire correspondre l'architecture avec son territoire. Ressources de la ville infinies. Beaucoup plus de libertés sur les marchés privés. Appels d'offre qui prennent en compte les circuits courts, le réemploi et les

matériaux bio-sourcés. Mettre en avant le caractère vivant de la matière. Sensibilisation des maîtrises d'ouvrage. Construire des processus. Sortir de la standardisation sur le chantier est compliqué mais possible. Sortir de l'automatisation du choix des matériaux par l'architecte. Création de circuits de ressources parallèles. Reconsidérer le déchet. Il faut adapter chaque projet à la ressource disponible.

RETRANSCRIPTION DE L'ENTRETIEN

[Demande d'enregistrement].

- Enchanté

- De même. Alors attends que je me remémore un peu, tu es étudiante c'est ça ?

- Voilà, je suis actuellement en train d'écrire mon mémoire de master et je suis à l'école de Bordeaux. Je suis en 4eme année et ça fait 1 an que j'ai débuté l'écriture de mon mémoire qui se déroule sur 3 semestres.

- Ah oui c'est énorme !

- Oui, mais c'est pas mal car on est vraiment bien cadré. On a une grosse partie méthodologie qui prend du temps, environ 6 mois. J'écris mon mémoire sur le recyclage et le réemploi des matériaux de construction et sur les déchets inertes de démolition. Donc j'ai commencé à faire quelques entretiens, mon objectif c'est d'aller un peu questionner ce qui se fait sur le terrain, et de sortir un peu du contexte afin de récolter des informations. Donc c'est pour ça que je vous ai contacté car la démarche de votre atelier me semble vraiment intéressante par rapport à mon sujet d'écriture. J'ai vu sur votre site internet que vous aviez collaboré avec Ana St-Pierre sur un projet.

- Ah oui tu l'as eu ou pas encore ?

- Alors, en fait j'ai fait mon stage de licence chez SCAU à Paris, pendant 1 mois et c'est là que je l'ai rencontré. Son travail m'a beaucoup intéressée. Les recherches qu'elle faisait étaient vraiment intéressantes. Pour mon mémoire de licence, j'ai décidé de travailler sur le réemploi de la brique. C'était vraiment un court mémoire mais c'était intéressant, je me suis rendue compte qu'il y avait quand même pas mal de limites à cette pratique et que la brique redevenait seulement un parement de façade ou un objet et pas vraiment un élément structurel pour l'architecture et qu'elle n'était pas réemployée pour ses qualités structurelles. J'ai donc recentré un peu mon sujet de recherche pour mon mémoire de master et j'ai accentué mes recherches sur le réemploi ou le recyclage des éléments structurels donc principalement sur la revalorisation des gravats issus des démolitions.

- Ah oui cool !! On aime bien ça nous, enfin on aime bien, on se confronte quand même beaucoup à la réalité des normes de la construction et du bâtiment. Tu arrives avec de belles idées de recyclage mais il faut se battre. C'est marrant parce qu'on fait un projet pile en ce moment, avec Ana justement où l'on recycle des déchets de briqueterie. A la fin du cycle

de briqueterie, il y a de la chamotte, c'est la brique concassée et broyée. Pour ce projet de réhabilitation, on voulait du béton-brique en réemploi à 100%, donc de belles idées au début. Mais en France on n'est pas du tout assez au point. On avait le droit qu'à 3% de chamotte réemployée dans les agrégats de béton. Donc 3%, je peux te dire que ton béton il est gris, sans aucune nuance de rouge. Alors qu'en Belgique, c'est 40% je crois

- Ah oui c'est fou !! Parce qu'en fait c'est possible, mais c'est juste les barrières misent en place.

- Ah oui tu ne vis pas dans le bon pays !

- Après moi je suis belge donc ça va quand même !

- Ah c'est vrai ?

- Du coup je peux changer aisément. Mais c'est vrai que j'ai cru comprendre que la Belgique était quand même plus avancée que nous.

- C'est cool que ce soit un sujet qui t'intéresse. J'ai l'impression que plus le temps avance plus c'est un sujet qui intéresse dans les écoles, alors je sais pas si ça vient des profs ou des élèves.

- Alors là pour le coup c'est vraiment moi et je t'avoue que pour le moment dans la promo il n'y a pas beaucoup de personnes qui bossent sur ces sujets. Il y en a qui travaillent sur le réemploi ou le recyclage mais beaucoup de travaux se concentrent sur le second oeuvre et pas vraiment sur la matière en elle-même. Par exemple il y a une nana dans mon groupe qui travaille sur le recyclage des peintures. J'ai cru comprendre qu'il y a beaucoup de freins concernant le recyclage de la matière minérale notamment et que c'était lié à beaucoup de réglementations.

- Oui après tu as beaucoup de pistes quand même. On va chercher à droite à gauche pour tous nos projets. Sur une carrière de granite de Bretagne, on s'est rendu compte qu'ils avaient 95% de perte à l'extraction et à la transformation, ce qui crée des collines de déchets alors qu'en fin de compte ce sont les pierres le plus denses et les plus dures. Mais comme ce sont des commandes publiques, dès qu'il y a une tache sur le granite, le maître d'ouvrage n'aime pas. Donc tu as un bloc entier qui est mis de côté et catégorisé comme déchet. C'est une source énorme de matière dans les carrières. Il y a pas mal de carrières qui créent comme ça des tonnes et des tonnes de déchets de pierres qui ne serviront jamais. C'est vraiment de la matière noble. Donc on dit qu'il faut arrêter l'extraction de la pierre et que la ressource minérale n'est

pas infinie, mais tu as des accumulations énormes. Donc tu peux quand même avoir déjà des sources de matières à moindre cout et responsable. Après c'est toujours pareil si tu fais ça dans le Sud par exemple tu as le transport vers le chantier ensuite. Il faut faire du local en fait. Je ne sais pas si tu connais les architectes PNG ?

- Non.

- Ça devrait t'intéresser. PNG ce sont des archi un peu portés sur le patrimoine et la conservation du patrimoine. Un des associés notamment est architecte du patrimoine, diplômé de l'école de Chaillot. Ils sont basés à paris. Quand tu es architecte responsable du patrimoine bâti, tu t'occupes d'une région à plein temps pour tout ce qui est réhabilitation des monuments, etc. Et un de leur projet va te plaire, c'est le musée du Fort l'Ecluse. Pour ce projet là, ils font la réhabilitation et l'extension d'un château. Ils ont recyclé les ruines du château pour leur projet. Donc c'est un système de gabions, sur mesure sauf quels gabions sont composés des ruines de pierre du château trouvées sur site.

- Ah oui ! Magnifique !

- Il n'y a pas une pierre qui a été ramené en fait. Tout est in situ. Toutes les pierres ont été transformé sur place en gabions.

- Ah oui effectivement ! C'est une question que je me pose, à l'atelier vous vous arrivez à faire des projets de recyclage ou réemploi in situ ?

- Non, parce que pour l'instant notre première commande publique est assez récente. Sur le projet avec Ana oui, car c'est du second œuvre mais on n'arrive pas encore à faire de la structure. Pas encore, mais c'est le but. La structure c'est vraiment le but. Comment Wang Shu par exemple.

- Oui je l'ai étudié !

- Mais avant d'arriver à ce niveau là il y a pas mal de taff. Ils n'ont pas les mêmes normes non plus. Le réemploi in situ est assez rare c'est pour ça que je te montre ce projet de PNG, là en plus c'est de la pierre assez noble donc c'est réutilisable en direct.

- Oui, il y a tout un diagnostic qui est fait avant de réemployer les pierres ?

- Oui bien sur, la c'est un monument historique donc c'est pas le même diagnostic que nous. C'est un château donc c'est différent. On recycle de la pierre de Bretagne pour un projet de logement quasiment in situ car la carrière est à 30 km. Ton réemploi ou ton recyclage peut être in situ si tu as la

matière sur site à proprement parlé. Ceux qui font du béton de site par exemple, il faut avoir assez de terre sur place. Si tu fais un bâtiment qui fait 2000m², c'est plus compliqué. Ta démarche c'est de faire un bâtiment qui correspond à un territoire. Par exemple, PNG pour un projet, ils se sont rendu compte qu'il y avait une scierie juste à côté de leur site donc ils sont allés les voir. Les personnes de la scierie leur ont donné tous les aspects techniques des éléments conçus dans la scierie. Ensuite l'agence a dimensionné les éléments du bâtiment en fonction de ce que la scierie d'à côté pouvait produire. Le point de départ, c'est de dire que la forme du bâtiment, c'est le milieu et l'artisanat. Et ne pas faire de la forme pour de la forme.

- Oui en fait c'est une démarche qui est encore plus importante que juste s'intégrer à l'environnement. Là, c'est aussi une adaptation aux acteurs qui sont à côté et c'est génial !

- Tu fais un peu ce que faisais les romains à l'époque. Ce n'est pas nouveau le réemploi et le recyclage. Ana te le dire mieux que moi. Mais dans le temps on prenait pour reconstruire à côté. Aujourd'hui, avec le béton c'est super compliqué de faire ça, tu as pleins de ferrailages donc on ne peut plus rien en faire. Il y a une suite à écrire.

- Oui on est là pour ça!

- Je ne sais pas si tu as vu le livre du Pavillon de l'Arsenal, d'Encore Heureux.

- Oui j'ai suivi tout leur travail.

- Ils parlent de Rotor, l'agence belge. Les ressources d'aujourd'hui ont toujours été les carrières de pierre, les scieries, les briqueteries mais les ressources de demain seront les déchets de déconstruction. Les ressources de la ville sont infinies, il faut en profiter. A l'époque ce n'était pas le même contexte avec l'architecture du post modernisme en béton il n'y avait pas cette conscience écologique mais ce n'est pas de leur faute. Mais aujourd'hui, tu arrives avec tes belles idées de recyclage mais tu auras toujours tes fondations en béton quoi que tu veuilles. Tu n'as pas le choix parce que tu as architecte et que tu as des assurances, sans ça tu ne peux pas construire. Tu as beaucoup plus de liberté sur les marchés privés que sur le marché public. Le marché public met trop de bâtons dans les roues pour avancer.

- Justement, comment vous gérez le rapport avec la maîtrise d'ouvrage ? Est-ce qu'il faut les convaincre de ces pratiques ou est ce qu'il y a quand même une prise de conscience de leur part ?

- Nous, on a commencé les appels d'offre publics depuis juillet dernier et même depuis juillet on sent qu'il y a une

évolution. Dans les appels d'offre il y a de plus en plus de demandes de circuits courts, de réemploi, de matériaux bio-sourcé. Parfois, c'est un peu du greenwashing, mais oui il y a une conscience déjà là. L'appel d'offre qu'on a gagné à Orléans, c'est une grosse réhabilitation d'un bâtiment historique existant, donc tu n'as pas non plus la place énormément d'expression architecturale en terme de réemploi. La maîtrise d'ouvrage voulait tout péter et tout refaire. Mais on leur a dit qu'il y avait déjà tout sur place et que ce n'était pas la peine de tout démolir. En temps que région Centre Val de Loire, ils ne peuvent pas se permettre autant de gaspillage. On a fini par les convaincre. Mais ce n'est même pas une question de coût. Pour le moment il y a beaucoup de demande de matériaux bio-sourcé mais finalement ça concerne juste l'isolant, ou alors c'est une demande pour construire en ossature bois mais c'est pas du tout écologique. Il faut construire des architectures qui considèrent l'environnement proche, qui soient proche de leurs contextes. A l'époque, une ville était grise car la pierre locale était grise, une ville était rose car construite avec des briques donc chaque ville avait son identité par rapport aux matériaux locaux utilisés. Aujourd'hui tout se ressemble. Il faut essayer de se rapprocher du contexte en prenant des ressources proches. En Bretagne, qui est le plus gros bassin de granite en France, ils n'utilisent pas le granite breton. 80% du granite vient du Portugal ou de Chine, parce qu'il est beaucoup moins cher, alors qu'ils en ont à 10km. C'est l'industrialisation qui a provoqué la concurrence des prix. La plus grosse carrière de granite de Bretagne par exemple, leur principale commande c'est Lyon. Mais bon la conscience évolue quand même.

- Comment vous vous êtes arrivés à travailler sur la matière comme ça ?

- Nous on était à l'ESA et on a eu un prof avec mon associé qui nous a un peu sensibilisé à ça. A la poétique de la matière, le touché, l'odorant, etc. C'est un peu mon mentor, c'est Carl Fredrik Svenstedt. Lui il travaille beaucoup la pierre massive. Après on a fait un projet, on a visité des carrières et quand tu visites une carrière et qu'on te dit qu'il y a 80% de pertes, tu te dis qu'il y a quand même un truc à faire. On souhaite mettre en avant la matière, créer des espaces où il y a de la couleur, des aspérités, des rugosités, de la matière vivante. Après chacun sa démarche. Mais nous on aime bien mettre une matière en valeur, c'est assez logique comme réflexion puisqu'on souhaite construire avec des matériaux locaux. Travailler la matière noble c'est un peu plus chère que mettre en façade du Trespa ou des panneaux composites, donc il faut sensibiliser les clients.

- Ça veut dire que dans votre démarche d'architecte c'est une anticipation à 100% ?

- Bien sûr, c'est beaucoup plus de travail en amont. On passe

autant de temps qu'à l'école à faire l'analyse de site, l'analyse historique, l'histoire du lieu, l'âme paysagère de lieux, l'artisanat proche, etc. Pour que ton architecture ait du sens. C'est beaucoup de recherches en amont. En faisant ça tu apprends plein de choses. Tu complètes ton profil d'architecte aussi et tes connaissances. Les briques par exemple, on en parlait avec Ana, elles sont agencées avec du mortier, et tu ne peux pas les réemployer tant qu'il y a ce mortier. Il y a une entreprise qui via une machine a réussi à séparer le ciment de la brique. Beaucoup de bâtiments à Paris par exemple ont été construits avec des murs cloisons en brique, avec du plâtre par dessus mais elles étaient en brique. C'est compliqué c'est tout un processus, tu ne peux pas te battre sur tous les fronts. Et puis tu as des clients qui eux ont un planning. Tu n'as pas le temps de faire autant de démarches, de recherches, d'avis techniques. Donc parfois il faut savoir trouver le juste milieu.

- Ce qui est intéressant dans ce que tu m'expliques c'est qu'il y a une part d'innovation tout au long du processus. Est-ce que ce sont des processus que les artisans arrivent déjà à faire ou est-ce que ce sont des processus que vous mettez en place au fur et à mesure ?

- Ça les dépasse les ouvriers ! Dès que tu sors de la standardisation ils trouvent ça compliqué. Mais ça se fait, mais c'est compliqué. Les artisans, ils te regardent avec des gros yeux, ils ne comprennent pas ce que tu leur demande. C'est comme avec les clients, il faut les mettre dans le moule, il faut leur apporter cette conscience là. A part quand tu tombes sur des mecs qui connaissent et qui savent que ça va leur apporter un plus-value.

- Cette démarche coûte-t-elle plus chère ?

- Ça dépend, mais je t'assure que dans la majorité des cas on n'est pas vraiment plus cher. Après c'est beaucoup plus de travail pour l'architecte, parce que je n'ai pas qu'à cliquer sur un bouton pour avoir du Trespa jaune ou orange. Mais ça se fait. A la place de payer 1600€/m³ de granite, on le paye 60 euros. La matière ils nous l'offre en fait, c'est cadeau, c'est 0. Nous on vient chercher les blocs de pierre dans la colonne de déchets, c'est pas quelque chose qui rentre dans leur circuit. Tu crées un autre circuit. Et ils te facturent juste le déplacement de la machine qui va chercher les blocs dans la colonne déchets. Tu payes juste la manœuvre. En plus le patron de la carrière adore. Surtout que tu lui enlèves la zone de déchets qui s'entassent et qui n'est pas exploitable pour lui.

- Tu me parles beaucoup de carrières mais est-ce que vous arrivez à aller chercher les gravats issus de la ville pour le recyclage ou le réemploi ?

- Alors c'est un de nos sujets pour lequel on a contacté Ana au début. Parce que je suis persuadé que ça peut marcher.

Mais je ne sais pas encore par quel chemin s'y prendre. Mais je suis sûre que demain ce sera possible. Mais sur site on n'a jamais encore eu l'occasion de réussir à faire ça mais par contre j'en rêve. Mais par exemple, il faut que soit tu démolisses tout le bâtiment pour avoir la matière nécessaire. Aujourd'hui je n'ai pas l'impression qu'il y ait beaucoup de solutions apportées, à part le gabion où il n'y a pas beaucoup de libertés. Le béton c'est trop compliqué. Le béton de site par exemple c'est trop compliqué il faut avoir la quantité de terre sur site et beaucoup de communes interdisent l'excavation de terre. Le plus dur c'est de recycler le granulats de site in situ. Quand il y a un contrôle sur la source qui est toujours la même c'est moins compliqué mais si c'est du in situ, il faut tout contrôler sur place et là c'est compliqué. Il y a le schéma du réemploi dans lequel tu vas chercher les rebuts dans les carrières pour les inclure dans un projet et il y a le schéma d'aller chercher in situ dans la ville.

- Dans vos projets quels types de revalorisation vous mettez en place ?

- On prend les déchets des carrières, de scieries ou des briqueteries. Ce sont des éléments que personne ne veut, un peu comme les fruits moches. Tu vas voir ton client, tu lui dis que tu peux mettre des matériaux nobles dans le projet pour le même prix qu'un matériau standardisé et aseptisé, ce qui est bénéfique. D'un côté, le patron de la carrière ça ne lui sert à rien, ça lui prend de la place et il s'en débarrasse. D'un autre côté, ton client paye beaucoup moins cher un matériau noble qui a des vraies caractéristiques. On a appris à faire ça sur le tas. Ça vient au fur et à mesure.

- Parce qu'en évitant la standardisation à chaque projet ce n'est pas les mêmes assemblages, les mêmes compositions, etc ?

- Non c'est galère, à chaque fois tu dois te réinventer. C'est pas le même process, par exemple la pierre de granite n'est pas la même pierre que la carrière de Noyant qui extrait du calcaire car la pierre de Noyant ne peut pas se superposer car en compression elle casse. Le granite, tu fais ce que tu veux dans tous les sens. A chaque projet il faut s'adapter mais c'est ça qui est cool ! Tu apprends à chaque fois, tu rencontres pleins de gens qui sont passionnés. Nous on rêve que d'une chose c'est d'avoir un projet en Bretagne, pas loin de la carrière pour faire que du local. On rêve aussi d'un projet pour pouvoir réemployer en centre ville in situ, mais comment faire je n'en sais rien pour le moment. Demain, tu me dis j'ai un bâtiment et je le détruis et qu'est-ce que je fais de ces gravats ? Là, tout de suite, maintenant je n'en sais rien. Au niveau structure, je ne sais pas faire. Aujourd'hui, je ne trouve pas d'autres schémas que le gabion. Pour le béton recyclé c'est pareil, toi en temps qu'architecte tu es au bout du processus, tu es au bout de la chaîne. Tu achètes le béton, donc tu n'as pas la main sur le béton en tant que tel. Tu vas juste prescrire un

produit mais tu vas pas avoir la main dessus.

- Tu penses que standardiser du béton recyclé ça perd de sa valeur ?

- Si il y a un schéma qui existe non. Par exemple si tous les déchets de démolition de Paris vont dans un endroit où il y a un processus, en interne à Paris, de fabrication de béton recyclé et d'après ça repart sur les chantiers de Paris alors ça c'est cool. Après il y a les problèmes de garanties, d'assurance, et ça c'est compliqué face au clients. Mais c'est à nous architectes de les sensibiliser aussi. J'ai une réunion qui m'attend, je vais devoir te laisser.

- Okay je comprends, en tout cas merci beaucoup d'avoir répondu à mes questions. C'était un échange très intéressant qui va m'aider pour mon mémoire. A bientôt peut-être.

- Avec plaisir, bonne journée.

L'INTERVIEWÉ : MORGAN MOINET

SES COORDONNÉES : MORGAN@REMIXREMIX.FR

QUI EST-IL : CO-FONDATEUR DE REMIX

MOTS CLÉS :OPÉRATIONNEL / ACCOMPAGNEMENT / SOLUTIONS / MARCHÉ
MOTIVÉ / COMPÉTENCES / TECHNICITÉ / DIAGNOSTIC / SOURCER
/ TEMPORALITÉ / SECOND ŒUVRE**CITATIONS :**

« La base de notre travail c'est d'être directement opérationnel donc on accompagne nos clients. On a une activité structurée en trois parties qui est l'essentiel de nos activités : AMO, AMOE, et formation- information. »

« Paradoxalement les gens qui viennent nous chercher ou qui ont besoin d'un service comme le nôtre, ce sont des gens qui sont déjà convaincus et qui ont besoin de notre compétence. Ils ont déjà envie de faire du réemploi. Parfois ils ont des doutes, des questionnements sur combien ça va leur coûter ou quoi, mais tous viennent déjà te chercher parce qu'ils se disent "On pense que c'est bien mais on ne sait pas faire et on veut être aidé", sans exception. Le marché est de plus en plus motivé, a envie, il y a de plus en plus de gens qui s'y intéresse. »

« Il y a de plus en plus de BE environnements qui s'y mettent. Donc eux, ils viennent tout de suite faire croître le cercle mais je dirais, des BE dont c'est l'activité exclusive, je pense qu'on est 10 en France. Après tu as les gens qui font de la déconstruction, de la ressource, qui gèrent des plateformes internet, etc. Là, tu passes peut-être à 100-150 personnes. Si tu prends les gens qui commencent à bosser sur le sujet alors que c'était pas leur activité historique et principale, par exemple un BE environnement qui fait du fluide ou de la thermique, et qui se met au réemploi alors là il y en a plein, tu passes à 200 structures peut-être. »

« La structure c'est très probablement un peu plus difficile que pour du second œuvre et ça fait peur surtout. D'un

point de vue technique, les compétences existent pour lever tous les freins, que ce soit de caractérisation des structures, de résistance de la matière, de résistance au feu, de vieillissement, etc. Je pense qu'il existe des gens compétents pour les résoudre. Et puis les assurances aussi sont en train d'évoluer très vite là dessus. Elles veulent être rassurées. Elles ont besoin de pouvoir mesurer le risque et ça se fait avec des statistiques qui permettent de calculer la probabilité d'occurrence du risque. »

« L'idée c'est que dans un bâtiment qui va être curé ou démolit, on fait un catalogue des matériaux qui ont un potentiel de réemploi avec un ensemble d'informations sur ces matériaux. C'est que ce diagnostic ressources doit d'une part servir à pouvoir trouver des exutoires et des destinations pour les matériaux et il doit d'autre part permettre d'aider l'entreprise qui va démonter à proposer un prix et ensuite démonter les choses de la bonne manière. »

« Quand tu ne sais pas, tu cherches la personne qui sait, tu lui demandes etc. Une fois que tu es dans le milieu, il y a toujours quelqu'un qui peut t'aider à trouver la solution. Je pense qu'il faut bien formuler le problème pour pouvoir fabriquer la réponse. Une partie du métier c'est aussi un travail de recherche de tous ces gens qui savent et qui peuvent te donner des informations. C'est un bon moyen d'acquérir des compétences dans la mesure où le cadre universitaire n'est pas encore adapté pour ça aujourd'hui. »

CE QUE JE RETIENS :

Importance de la veille pour tenir à jour l'évolution du secteur et des acteurs. Marché moyennement structuré mais tous les acteurs sont reliés. Les compétences existent. Approche systémique et hiérarchique. Prioriser le réemploi in situ. Le recyclage dans un dernier temps. Manière dont on peut sourcer les matériaux extérieurs pour les intégrer au projet. Diagnostic ressources très important. Les plateformes internet prennent une com-

mission sur la vente. Temporalité de réemploi toujours très différente suivant les projets. Résolution des problèmes techniques liés au réemploi avec l'architecte et le client. Beaucoup de travail de recherche. Réemploi structurel encore très compliqué. Réemploi structure peut se faire par découpage d'éléments structurels. Marché pas encore structuré.

RETRANSCRIPTION DE L'ENTRETIEN

[Demande d'enregistrement]

- Enchantée.

- De même.

- Tu es dans l'agence chez Remix ?

- Non, là c'est les bureaux d'Encore Heureux.

- D'accord.

- En fait, on a nos bureaux à l'étage d'en dessous, mais on a pas de salle de réunion. Donc on utilise les salles de réunion de l'agence.

- Parce que tu travailles avec eux pour Remix ?

- Oui, je vais t'expliquer un peu comment on fonctionne. En fait, Remix c'est une filiale d'Encore Heureux, c'est une entreprise qui appartient en partie à Encore Heureux et en partie à moi. Après on travaille ensemble au quotidien, et c'est un peu particulier car Encore Heureux est un des clients de Remix, parmi d'autres sur les sujets de réemploi mais forcément avec un lien très fort puisque les dirigeants sont les mêmes. Les associés d'Encore Heureux sont mes associés au sein de Remix donc on prend les décisions stratégiques ensemble et on a nos bureaux au même endroit et accessoirement on mange ensemble tous les jours.

- Oui, donc vous vous côtoyez beaucoup.

- Tous les jours.

- C'est bien au moins le cercle de travail est court et cela doit faciliter les projets.

- Complètement. On a à peu près 30% des projets Remix qui sont en collaboration avec Encore Heureux et 70% qui sont des projets avec d'autres clients comme des architectes ou des maîtrises d'ouvrage.

- D'accord, et toi tu as été diplômé de en quelle année ?

- J'ai été diplômé en 2015.

- Est ce que tu avais fait ton PFE aussi sur la thématique du réemploi ou juste le mémoire ?

- Alors le PFE moyen, on l'a fait à deux avec un pote. On avait hyper envie, mais on avait des profs qui n'étaient pas

très réceptifs et qui nous ont un peu bridés pendant tout le semestre. A la fin, il ne restait pas grand chose de réemploi, donc voilà au début on était parti dans un délire à fond de faire une Ressourcerie, dans des bâtiments anciens que avec des matériaux issus du site, mais les profs n'étaient pas trop intéressés et nous on dit "franchement si vous voulez votre diplôme, faites un truc plus classique".

- Ah bon ? C'est étonnant ! Mais c'est vrai qu'il reste encore une génération de profs en école qui ne sont pas vraiment motivés par ce genre de sujet.

- Oui mais de moins en moins. Mais nous, on avait eu cette idée en se disant que c'était génial et on avait été en parler avec un de nos autres profs qu'on aimait beaucoup, qui nous inspirait. Au moment de présenter notre idée de projet, on est arrivé gonflé à bloc, et en 5 min, on s'est fait démonter, le prof n'était juste pas motivé de nous suivre là-dessus.

- Vous n'avez pas eu le choix de prof ?

- Non, on avait déjà choisi nos profs avant. On était venu le voir, il nous avait dit oui pourquoi pas mais tous les autres profs trouvaient ça nul. Après les choses changent, maintenant je connais plein de gens qui enseignent et encadrent des PFE et qui trouvent ça hyper intéressant. Mais il y a 6 ans maintenant, il ne fallait pas trop en parler. Pour mon mémoire, pareil. J'avais été voir plusieurs profs et tous m'avaient dit que ce n'était pas ouf. Heureusement, je suis tombé sur une prof qui n'y connaissait rien mais qui était super motivée. Elle m'a directement dit oui. On a trop aimé bosser ensemble parce qu'elle était autant passionnée que moi, elle me posait plein de questions. A chaque fois que j'arrivais avec un nouveau truc que j'avais découvert, elle allait me chercher la question d'après en me disant d'aller au delà et du coup j'ai passé mon mémoire à aller plus loin que les idées que j'avais eu.

- C'est génial ça !

- Maintenant je suis son travail avec les étudiants et c'est trop bien. Parfois je me dis que j'aimerais bien retourner à l'école.

- Tu m'étonnes !

- Raconte-moi un peu où tu en es.

- Alors moi, je suis en deuxième année de master. Je suis en S9 à Bordeaux. J'ai fait toute ma licence et mon master à Bordeaux. En troisième année, on a eu un stage d'un mois à faire et je suis montée sur Paris faire mon stage à l'agence

SCAU. Je ne sais pas si tu connais ? C'est une grosse agence avec 7 associés, plus de 70 personnes dans la boîte. Ils ont des projets de fou et ils travaillent avec une fille en thèse qui s'appelle Ana St-Pierre.

- Ah mais je vois très bien qui c'est, je la connais oui.

- Voilà, donc elle est sortie de l'ENSAD et elle travaille sur l'héritage des gravats, pour sa thèse, sur la mémoire historique des matériaux. Son travail m'a beaucoup intéressé, il y avait plein d'échantillons de matériaux à l'agence. Je suis rentrée à Bordeaux et je devais écrire un mémoire de licence. Donc je me suis intéressée au réemploi de la brique. Ce sujet m'a vraiment passionnée et m'a ouvert au sujet du réemploi de manière générale. Avec la brique j'ai fait le constat que c'était assez compliqué de la réemployer tel quel, notamment pour des éléments structurels. Donc j'ai élargi mes recherches pour mon mémoire de master en travaillant sur les gravats de démolition. Là ça fait un an et demi que je travaille sur la réversibilité des gravats et sur leur possible recyclage. C'est un peu compliqué car il se passe beaucoup de choses sur le béton et les granulats recyclés, etc mais sur la matière gravats en temps que tel, c'est un peu compliqué. Donc j'ai un peu étudié toute la filière du réemploi, par exemple, le travail de Stefan Shankland, je sais pas si ça te dit quelque chose, c'est un artiste qui a créé du béton à partir de gravats de démolition in situ etc.

- Ah oui, c'est pas lui qui a fait les Marbres d'Ici ?

- Oui, exactement.

- Moi ce qui m'intéresse vraiment, c'est le renouvellement de la ville sur elle-même par le recyclage. C'est la valorisation de tout ce qu'on va obtenir après démolition. Parce qu'aujourd'hui, la déconstruction n'est pas encore implantée à 100% sur tous les sites en renouvellement. Je me questionne sur comment réutiliser les déchets pour faire de nouvelles ressources, de nouveaux matériaux. Je soutiens au mois de juin mon mémoire.

- Ah ouais c'est hyper long, nous c'était seulement 6 mois de mémoire.

- Oui nous on a le premier semestre dédié à la recherche du sujet et de la problématique pour poser des bases. Le deuxième semestre, c'est la mise en place des outils de méthodologie, et le dernier semestre c'est la rédaction à fond. Moi c'est vraiment un sujet qui me botte et j'ai envie de prendre encore plus de temps pour le développer. Là, je vais rester un peu sur la partie concernant les gravats pour mon mémoire et pour la partie PFE, j'aimerais travailler sur les thématiques du béton recyclé.

- Donc béton dans le béton c'est ça ?

- Oui voilà, travailler sur ces thématiques et voir si je peux essayer de travailler avec un ingénieur parce que ma directrice de séminaire aussi est prof-ingé à Toulouse.

- Ah oui, ce serait une super bonne idée !

- Pour avoir plus de connaissances techniques et pour pas juste dire "Voilà c'est bien on va mettre 30% de gravats, on va faire un super béton propre" mais en fait moi techniquement je n'y connais pas grand chose.

- Il y a un prof de séminaire à Malaquais qui est hyper cool, qui s'appelle Robert Leroy qui fait beaucoup travailler ses étudiants sur la matière et tous les ans sur des sujets super variés. C'est quelqu'un que je connais bien car on a bossé sur des sujets en commun. Tous les ans il a des sujets variés comme le micellium, des structures porteuses en pierre avec une approche contemporaine, du bois précontraint, etc. Il faudra peut-être lui poser la question. Je peux te mettre en contact avec lui ou sur le site de Malaquais tu vas trouver ses coordonnées. Robert Leroy. En plus c'est un enseignant passionné. Tu peux le contacter de ma part.

- Okay je vais le contacter.

- Est-ce que tu as prévu un entretien un peu directif avec des questions ?

- Oui, j'ai une fiche avec des questions. Il y a plusieurs thématiques. La première, c'est un peu la pratique du réemploi, Notamment ta pratique au sein de Remix en essayant de comprendre ce que vous faites etc. Ta structure m'intéresse beaucoup parce que le conseil aux maîtrises d'ouvrage, je trouve ça super important et c'est vrai qu'il n'y a pas beaucoup de structures qui le font.

- Tu nous as découvert comment d'ailleurs ?

- Sur internet ! Je connaissais déjà ton nom puisque j'ai lu ton mémoire sur le site matériauxréemploi.com.

- Qui appartient maintenant à Remix d'ailleurs !

- Ah d'accord ! Je vous ai trouvé comme ça en faisant des recherches sur internet mais ça m'a étonnée de ne pas vous avoir trouvé avant !

- Oui, alors le truc un peu particulier c'est qu'on a pas fait de communication autour de la création de Remix, qui est une boîte qui a 2 ans quand même parce que lorsqu'on a commencé, on avait déjà des projets en cours et on voulait stabiliser des méthodologies solides. On a 2 salariés en ce

moment. Donc on fait avec notre réseau proche et on a du travail. Donc on a un site internet pour l'envoyer aux maîtrises d'ouvrage mais on ne fait pas de communication.

- D'accord je comprends, oui j'ai finalement trouvé votre site internet de fils en aiguille. Pour revenir à l'entretien, la troisième thématique du questionnaire sera portée sur les gravats, afin de savoir si c'est un type de déchet auquel vous êtes sensible. Pour le moment la conclusion que je fais sur les gravats, c'est que vraiment au sein des gravats, ce qui est le plus recyclé c'est les granulats de béton pour les routes notamment. Or moi ce qui m'intéresse vraiment, c'est le recyclage pour la partie structurelle d'un nouveau bâtiment. Les enrobés, les routes, on a compris que c'était possible, on sait le faire. Ce qui m'intéresse c'est tout ce qui concerne la partie structurelle. Comment on crée un matériau structurel à partir de déchets qui deviennent des ressources. Les premières questions concernent Remix, ce qui t'a motivé à créer une structure qui fait du conseil, qui établit des méthodologies pratiques, plutôt que d'intégrer ou créer une agence d'architecture classique ?

- Alors je pense qu'il y a un peu les deux, donc mes motivations personnelles et ensuite nos motivations conjointes avec Encore Heureux. Le fait que je sois associé dans Remix c'est ma décision mais la création de Remix ça s'est fait à 2 enfin à 5 puisqu'on était 5 associés au moment de la création de Remix : Julien Chopin ayant quitté l'agence, on est 4 associés maintenant au sein de Remix. En fait il y a 3 associés chez Encore Heureux. Avant Remix, je faisais du consulting en réemploi parce que c'est un sujet qui me passionne depuis longtemps. J'ai commencé à m'intéresser au sujet en 2014 quand j'ai fait mon stage de master chez Encore Heureux au moment où ils préparaient l'exposition Matière Grise, et je me suis dit "okay c'est un sujet passionnant qui pose plein de questions, il y a beaucoup de choses à apprendre". Donc écrire un mémoire, c'est un bon moyen de commencer à apprendre et puis après j'ai monté le groupe de veille sur Facebook et après j'ai créé le site matériauxréemploi.com. Toutes ces choses m'ont permis d'avoir des infos sur le sujet et d'apprendre des trucs donc c'était génial. Après j'ai bossé un tout petit peu en agence et c'était cool. Puis j'ai commencé à faire du consulting quand je suis arrivé à Paris en 2018. J'ai créé le site internet en 2018. Au début, j'avais deux petites missions, je bossais encore en agence et je faisais des missions à côté. Après Encore Heureux était un de mes clients donc la ça a commencé à être un peu plus costaud. Ça m'occupait à mi-temps et de fil en aiguille, un jour ils m'ont proposé de monter un bureau d'étude réemploi ensemble. J'avais envie de changer d'échelle, de pouvoir faire plus de projets, des projets plus ambitieux, ça me passionnait. J'avais pas envie de faire autre chose. Encore Heureux a beaucoup étudié le sujet avec l'exposition et le livre "Matière grise", ils avaient pas mal construit de projets avec des échelles différentes,

avec des matériaux de réemploi. Le pavillon circulaire par exemple, la maison du projet Morlant, etc. Voilà, et de fil en aiguille il y a eu de plus en plus de gens qui sont venus les voir en leur disant "nous on aimerait bien aussi faire du réemploi, est-ce que vous pouvez nous aider?". Sauf que l'objectif de l'agence d'architecture Encore Heureux c'est de faire de la maîtrise d'œuvre architecturale et pas du conseil en réemploi donc la structure n'était pas adaptée. Encore Heureux ne voulait pas intégrer une compétence spécifique au réemploi dans leur agence d'architecture donc à ce moment-là on a repris contact. Les huit mois avant qu'on monte Remix, ils me sous-traitaient un projet de recherche assez important qui s'appelle Métabolisme urbain qui est un projet de recherche sur le réemploi dans un groupement avec sept autres personnes. De fil en aiguille, ils se sont dit "Tiens si on veut monter un BE, on a peut-être la bonne personne sous le coude". Quand ils m'ont proposé de monter un BE, j'étais trop content. C'était aussi une volonté que j'avais moi mais j'avais pas les compétences en création, gestion d'entreprise, et eux ils ont une structure qui est solide, c'était beaucoup plus simple comme ça.

- C'est super intéressant ! Je me pose un peu la question aussi de la suite après mon diplôme, de savoir aussi si j'ai envie d'intégrer vraiment une agence d'architecture ou si j'ai envie de rentrer dans une structure de consulting, de conseils, ce genre de chose, ça a l'air vraiment super intéressant !

- Ce sont vraiment deux activités différentes. On me demande très souvent si ça ne me manque pas de dessiner, et clairement non enfin je ne pense pas. En fait j'apprends tellement de choses au quotidien et c'est hyper motivant. Et puis, je suis tout le temps avec des architectes. Le midi je mange avec des architectes, on parle tout le temps d'archi, donc j'ai pas complètement coupé le cordon avec ça et en plus de ça, une partie importante de nos clients sont des architectes et quand nos clients sont des maîtrises d'ouvrage, on fait l'interface entre eux et leurs archi donc finalement je passe plus de temps avec des archi que si j'étais en agence d'archi.

- Oui, et puis tu valorises aussi la recherche dans ce métier. Tu participes clairement au développement de certaines thématiques dans ce métier aussi.

- Carrément, mais je pense qu'en France on est encore un peu au ralenti la dessus. C'est rare qu'on reconnaisse le BE pour son apport dans un projet. Ce qui est beaucoup plus le cas en Suisse par exemple avec les BE structure notamment ou les ingénieurs. En Suisse, tu as même des ingénieurs stars comme tu as en France des Jean Nouvel, des Starck, etc. En Suisse, tu as des ingénieurs pour qui les archi se battent pour les avoir sur leurs projets. Ils savent que ce sont des mecs qui vont faire décoller leurs projets. En France tu retiens toujours les architectes mais pas souvent les ingénieurs pour leurs

apports dans les projets.

- C'est vrai ! Comment ça se passe en ce moment ? Est-ce que vous êtes toujours en train de faire l'état de l'art de ce qui se passe dans le réemploi ? Est-ce que vous êtes entré dans le vif du sujet ?

- Alors on continue à faire de la veille, notamment pour le site matériauxréemploi.com qu'on tient à jour régulièrement et on fait de la veille juridique aussi parce que ça évolue vite.

- La veille c'est-à-dire ?

- La veille média et la veille juridique, c'est un terme professionnel on va dire, c'est se tenir au courant d'un sujet. Sauf que même dans la pratique de la veille, il faut avoir des outils pour automatiser la pratique et t'assurer que tu as accès à toutes les données. Tu as des entreprises qui font de la veille média pour le compte de leur client. Pour te donner un exemple, c'est Coca Cola qui veut savoir ce que la presse dit sur eux, donc ils vont payer une boîte pour choper toute l'information sur Coca Cola dans les médias. Il y a autre chose qui se fait beaucoup, c'est la veille concurrentielle. C'est Coca Cola qui veut savoir tout sur Pepsi, donc ils payent la même personne pour tout savoir sur Pepsi, et vu qu'ils ont déjà été payé par Pepsi pour faire de la veille sur Pepsi, ils ont juste à te revendre ce qu'ils ont déjà vendu à Pepsi. Enfin voilà, c'est ça le principe. Donc la veille média, c'est une activité professionnelle dans laquelle on a mis en place des petits automatismes très simples. Le groupe de veille sur Facebook qui nous sert à ça tu vois. C'est une communauté de 7 000 personnes qui partagent de l'actualité sur le réemploi donc on reçoit une notification à chaque fois que quelqu'un poste de l'information. C'était le tout premier outil de veille que j'ai mis en place quand j'étais encore en train d'écrire mon mémoire. On était trois potes au début, avec la volonté de partager des informations, maintenant il y a 7 000 personnes donc c'est assez puissant en terme de veille. Quand tu es 4 c'est déjà pas mal, quand tu es 10 c'est cool, quand tu es 100 c'est bien et quand tu es 1 000 c'est vraiment beaucoup. Donc avec 7 000, tu as toujours quelqu'un qui tombe sur le dernier article de je ne sais pas qui sur le réemploi. C'est assez puissant, et ce qui est génial c'est qu'il est accessible à tous. Les gens partagent et nous les premiers, ça nous arrive de poser des questions dessus. On a mis en place des petits logiciels qui t'envoient des mails automatiquement quand il y a une nouvelle occurrence d'un mot clé qui apparaît sur internet, afin de faire de la veille automatisée.

- Okay c'est super intéressant !

- Donc cette veille on la gère toujours, mais on l'a un petit peu automatisé pour que ça ne nous prenne pas trop de temps. La base de notre travail c'est d'être directement opérationnel

donc on accompagne nos clients. On a une activité structurée en trois parties qui est l'essentiel de nos activités : AMO, AMOE, et formation- information.

- D'accord, comment trouvez-vous vos clients ? C'est plutôt vous qui les cherchez ? Où c'est plutôt eux qui veulent inclure du réemploi dans leur projet et qui se demande comment faire ?

- Alors il y a un peu des deux. Déjà, nous on va pas forcément chercher des clients. On a des clients privés qui viennent nous chercher ou alors il y a un BE avec qui on est copain qui bosse sur un projet ou ils sont allés chercher un architecte qu'on connaît et qui nous recommande. Ça c'est plutôt concernant des commandes directes même s'il y a un intermédiaire ou un relais. Les privés c'est essentiellement ça. Les marchés publics, pour le coup, c'est plutôt nous qui allons chercher la commande mais qui est basée sur une demande de la maîtrise d'ouvrage publique. Quand elles ont besoin d'un AMO réemploi, elles le mettent en ligne sur une plate-forme et tout le monde peut répondre. Donc voilà, c'est un peu des deux.

- Donc sur le marché public, vous n'êtes pas dans une démarche d'essayer de convaincre une maîtrise d'ouvrage à effectuer un certain pourcentage de réemploi dans un projet ?

- Non, c'est ça qui est assez rigolo. Paradoxalement les gens qui viennent nous chercher ou qui ont besoin d'un service comme le nôtre, ce sont des gens qui sont déjà convaincus et qui ont besoin de notre compétence. Ils ont déjà envie de faire du réemploi. Parfois ils ont des doutes, des questionnements sur combien ça va leur coûter ou quoi, mais tous viennent déjà te chercher parce qu'ils se disent "On pense que c'est bien mais on ne sait pas faire et on veut être aidé", sans exception. Le marché est de plus en plus motivé, a envie, il y a de plus en plus de gens qui s'y intéressent.

- Okay, mais tu qualifierais comment par rapport au nombre de maîtrises d'ouvrage classiques qui ne s'intéressent pas au sujet ?

- Ça serait vraiment difficile, mais pour te donner une idée, les indicateurs que tu as quand tu es une jeune structure, c'est la croissance de la structure, l'augmentation de demande de candidatures, etc. Le marché est de plus en plus motivé, a envie, il y a de plus en plus de gens qui s'y intéressent. Par exemple, le nombre d'étudiants qui nous appellent parce qu'ils écrivent un mémoire sur ces thématiques. Il y a un mois, on s'est dit qu'il fallait qu'on recrute une personne et là finalement, on se dit qu'il faut qu'on en recrute deux. Si on regarde nos concurrents et nos confrères, c'est la même chose. On connaît un BE qu'on aime beaucoup qui utilise la formule "Très chers confrères mais néanmoins concurrents",

parce que la plupart de nos concurrents sur le papier sont des copains en fait.

- Tu connais Ruse ?

- Oui carrément !

- Okay, j'ai aussi interviewé Aymeric.

- Je l'ai connu il y a trois ou quatre ans je pense, c'est un petit milieu, se connaît tous.

- Il y a combien de structures comme vous justement qui font du conseil sur Paris ? C'est de l'ordre de 5, 10 ou plus ?

- Il y a de plus en plus de BE environnements qui s'y mettent. Donc eux, ils viennent tout de suite faire croître le cercle mais je dirais, des BE dont c'est l'activité exclusive, je pense qu'on est 10 en France. Après tu as les gens qui font de la déconstruction, de la ressourcerie, qui gèrent des plateformes internet, etc. Là, tu passes peut-être à 100-150 personnes. Si tu prends les gens qui commencent à bosser sur le sujet alors que c'était pas leur activité historique et principale, par exemple un BE environnement qui fait du fluide ou de la thermique, et qui se met au réemploi alors là il y en a plein, tu passes à 200 structures peut-être.

- Okay, donc tu sens que ça grandit vraiment. Toi depuis que tu es sorti de l'école, au final vers 2015, tu fais ça ?

- Oui, depuis un ou deux ans avant qu'on monte Remix. Mais au début tout le monde disait que c'était génial mais que personne n'y arriverait. Dans ce milieu, il est hyper important d'être consciencieux sur l'apport de chacun dans ce milieu car il y a eu d'autres projets que ceux d'Encore Heureux dès le début en parallèle comme Bellastock par exemple qui a poussé le sujet très très fort et très très tôt. Des gens comme Ruse, Redificare, qui ont commencé assez tôt aussi sur le sujet et qui ont vachement développé les pratiques. Vers 2017 ça s'est accéléré. J'ai très envie d'y croire. J'ai vraiment le sentiment que ça va aller en s'amplifiant.

- Au sein de Remix, pour un peu revenir à la thématique qui m'intéresse, vous faites exclusivement du second œuvre ?

- Alors, pour l'instant on a exclusivement travaillé sur du second œuvre. Enfin là, en ce moment on est sur notre premier projet où l'on démonte pour récupérer la structure bois. On a des sujets qui pop-up assez fort sur les structures métalliques et qui sont encore en phase d'étude mais avec des équipes de maîtrise d'œuvre très motivées. On bosse pas mal avec un bureau d'étude de charpente métallique sur le sujet pour savoir comment on peut faire du réemploi de structure métallique donc voilà, mais sinon oui on a

essentiellement travaillé sur du second œuvre.

- Okay. Concernant le gros œuvre, est-ce que c'est parce qu'il y a trop de difficultés ? Est-ce que vous avez essayé et vous vous êtes confrontés à certaines limites ?

- La structure c'est très probablement un peu plus difficile que pour du second œuvre et ça fait peur surtout. D'un point de vue technique, les compétences existent pour lever tous les freins, que ce soit de caractérisation des structures, de résistance de la matière, de résistance au feu, de vieillissement, etc. Je pense qu'il existe des gens compétents pour les résoudre. Et puis les assurances aussi sont en train d'évoluer très vite là dessus. Elles veulent être rassurées. Elles ont besoin de pouvoir mesurer le risque et ça se fait avec des statistiques qui permettent de calculer la probabilité d'occurrence du risque. Donc c'est de savoir si je fais 100 fois un truc, combien de fois ça peut ne pas marcher, c'est juste ça qui les intéresse. Si tu le traduis en chiffre, ils veulent savoir si j'assure 1 000 fois 1 000 euros de trucs et qu'il y a 1 fois un problème, combien ça me coûte. Donc si tu arrives à leur démontrer que ta structure ne va pas tomber et bien pour eux ça passe dans la bonne case, et ils vont te suivre. Et puis si ça casse et bien ils auront perdu une somme donnée mais au moins ils auront fait payer 1 000 personnes. Ça c'est le principe des assureurs qui marchent par capitalisation je crois. Je pense que c'est juste que ça fait plus peur à la structure car ça porte et que si ça tombe c'est vraiment très grave. Et puis souvent ça coûte plus cher aussi et forcément une fois que tu as monté ta structure, si elle est défaillante, c'est vraiment que c'est plus compliqué de changer la structure que des éléments de second œuvre. Mais pour moi c'est exclusivement un frein culturel, peut être de manque d'expérience ou de pratique. Mais à mon avis, on va vite passer outre.

- Okay, et concernant le second œuvre, quelle boucle vous arrivez à créer d'économies proches et locales ? Est-ce que le réemploi in situ existe et est-ce que vous le développez ? Dans quel rayonnement vous arrivez à faire projet ?

- Alors nous, pour prendre les opérations en cours, on a une approche systématique, qui est hiérarchique, qui est de dire qu'il faut prioriser le réemploi in situ. Si on peut pas ou si pour certains éléments on peut pas, on s'intéresse au réemploi ex situ, et au recyclage dans un dernier temps. Et on s'intéresse toujours quand on accompagne nos clients, à la manière dont on peut sourcer, donc acheter des matériaux extérieurs à l'opération pour les intégrer au projet.

- Okay.

- Là, on a une opération où le client a voulu donner les matériaux qu'il ne réemployait pas pour lui. Donc on va effectivement réemployer les matériaux et les associations

récupèrent ceux qu'on ne réemploie pas, des sanitaires, des faux plafonds, du plancher technique, de la moquette, des luminaires, etc. Et après, il y a aussi des choses qui sont réemployées pour lui comme du plancher technique, des rails de chemins de câble, des rails de faux plafonds, etc.

- Quelle est la démarche, les étapes à suivre avec le client que vous avez ? Est-ce que vous vous servez aussi des plateformes internet de ressourcerie comme Baccacia par exemple ? Est-ce que vous arrivez à faire du direct en interne ?

- En fait, jusqu'à maintenant on n'a pas du tout utilisé les plateformes. Après ça viendra je pense, on connaît très bien les gens de Cycle Up avec qui on travaille sur d'autres sujets, mais on n'a jamais utilisé leur plateforme. On utilise maintenant leur outil de pronostics "Diag It", on commence tout juste à l'utiliser et bientôt on utilisera plus que ça. C'est un outil de diagnostic ressources, qui est très bien et qui est encore en développement. Pour l'opération dont je te parle, on a mis en ligne sur métariauremploi.com et sur d'autres réseaux le fait qu'on donnait des matériaux et on a créé un annuaire d'associations qu'on connaît en Ile de France qui font des chantiers en ce moment. Notre client nous a aussi envoyé des noms d'associations avec lesquelles il a déjà bossé. On a donc envoyé des diagnostics ressources à tout le monde en disant qu'on avait des matériaux. La raison pour laquelle on bosse pas avec les plateformes, c'est qu'elles se rémunèrent sur la vente, elles prennent une commission sur la vente donc dès lors que tu fais un don, elles n'ont pas beaucoup d'intérêt.

- Après cela est-ce que vous participez aussi à la déconstruction ? Est-ce que vous faites aussi des diagnostics pour aider à la déconstruction ?

- Alors nous on fait des diag ressources justement. L'idée c'est que dans un bâtiment qui va être curé ou démolit, on fait un catalogue des matériaux qui ont un potentiel de réemploi avec un ensemble d'informations sur ces matériaux. Ce diagnostic ressources doit d'une part servir à pouvoir trouver des exutoires et des destinations pour les matériaux et doit d'autre part permettre d'aider l'entreprise qui va démonter à proposer un prix et ensuite démonter les choses de la bonne manière.

- Oui je comprends et il y a beaucoup d'entreprises qui sont formées à ça ?

- Alors c'est pas toujours évident mais il y en a de plus en plus. Je peux te donner un chiffre mais dans 6 mois il sera obsolète. Mais en Ile de France, je connais 2 entreprises qui sont vraiment très très fortes là-dessus et dont c'est l'activité principale. C'est un peu particulier car il y a beaucoup de gens qui sont très bons sur le démontage de matériaux à caractère patrimonial et qui vont faire que ça. Mais moi

ceux qui m'intéresse le plus, ce sont ceux qui travaillent sur les matériaux contemporains. Tu connais le site Opalis.be ?

- Oui je connais !

- Donc sur Opalis tu peux essayer un peu de quantifier le nombres d'entreprises. Et après sur les sujets de réemploi de matériaux contemporains c'est compliqué de chiffrer. Mais je pense qu'il y en a moins que sur les éléments patrimoniaux. Il y en a plein qui commencent à se dire c'est un sujet intéressant et qu'il faut s'y mettre mais il faut un peu de temps, plusieurs chantiers entre le moment où tu te dis que tu as envie de t'y mettre et le moment où tu fais vraiment des chantiers assez importants.

- Justement quelle est la temporalité à partir du moment où tu arrives sur chantier et tu fais un diag ressources et le moment où tu as réussi à réintroduire tous les éléments possibles ?

- C'est hyper variable suivant les opérations !

- D'accord.

- C'est hyper hyper variable. Là on a un tout petit projet en cours de déconstruction, la maison du projet Morlant. On est en train de la déconstruire, donc on a fait le diagnostic, tout a été vite car le planning était serré. 2 mois après le diagnostic, le bâtiment est en train d'être déconstruit et les matériaux vont être donnés tout de suite pour être réemployés dans les 6 mois. Donc la boucle va durer moins d'un an je dirais.

- Quelle place avez-vous au sein des projets qui réutilisent les matériaux que vous réemployez ?

- C'est hyper variable aussi. Parfois, on a des projets pour lesquels on vient nous chercher juste pour aider les maîtrises d'œuvre à intégrer le réemploi, dans le nouveau projet.

- Okay, donc là tu es finalement en contact direct avec des architectes qui se questionnent sur comment réemployer en amont dès le début de projet.

- Oui carrément, là on est bureau d'étude réemploi, on résout les problèmes techniques liés au réemploi au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre et ça c'est notre cœur de métier en fait.

- Et toi, comment as-tu réussi à intégrer tout ça, j'imagine qu'il faut avoir certaines connaissances techniques sur les matériaux, ce n'est pas forcément des connaissances sur lesquelles on est formé en école d'archi ?

- Le terrain avant tout. Quand tu ne sais pas, tu cherches la personne qui sait, tu lui demandes etc. Une fois que tu es dans le milieu, il y a toujours quelqu'un qui peut t'aider à trouver

la solution. Je pense qu'il faut bien formuler le problème pour pouvoir fabriquer la réponse. Une partie du métier c'est aussi un travail de recherche de tous ces gens qui savent et qui peuvent te donner des informations. C'est un bon moyen d'acquérir des compétences dans la mesure où le cadre universitaire n'est pas encore adapté pour ça aujourd'hui. Par exemple, sur le fait d'intégrer une porte coupe feu dans un bâtiment, ce qu'on demande au BE réemploi, c'est pas tant de créer la solution mais de bien poser le problème, aller chercher toutes les personnes qui ont un petit bout de la réponse et de fabriquer la réponse. Tu vas en discuter avec un pompier, avec un gars qui fait de la thermique, des tests au feu, tu vas en discuter avec un bureau de contrôle, qui va t'expliquer quelles sont les règles que tu dois respecter, pourquoi elles sont là, pourquoi elles existent. Tu peux aller voir quelqu'un qui a des connaissances techniques sur la propagation du feu, il va te donner pleins d'infos. Puis tu vas voir l'assureur et tu lui dis toi ce qui te fait flipper, et en fait tu as les infos de tout le monde, et tu fabriques ta réponse.

- Parce que je suis aussi très intéressée par le recyclage des éléments gros œuvre et c'est vrai que je ne trouve pas beaucoup de structures qui le font, est-ce que toi par exemple au seins de Remix c'est quelque chose qui vous intéresserait plus tard dans quelques années, ou est-ce qu'il faudrait séparer les BE gros œuvre ou second oeuvre parce que les marches à suivre sont différentes ?

- Alors on a pas trop la culture du béton chez Remix par exemple, et moi peut-être encore moins. Ça ne m'attire pas de prime abord et les bétons recyclés, moi personnellement ce sont des sujets qui ne me passionnent pas mais je trouve ça super bien que des gens s'intéressent à ces sujets. Pour l'instant j'ai jamais vu d'exemple de projets ou je me suis dis "Ah ouais quand même, ils ont tué le game, et peut être que demain ça sera bien de faire du béton". Pour l'instant, la part d'éléments recyclés dans le béton total est infime que finalement c'est juste du béton neuf avec un petit peu de recyclé. Même des béton, dits bétons verts, leurs impacts carbone est tellement catastrophique comparé au bois, qui va capturer du CO2 et même comparé aux métaux. Après moi, les sujets que je trouve super intéressants sur les bétons et qui m'attirent le plus, c'est plutôt les sujets sur la récupération des composants de béton, des voiles entiers, des escaliers, etc.

- Oui donc déconstruire le béton plutôt que de le démolir ?

- Oui exactement, là il y a des exemples concrets. Bellastock avait fait un truc il y a quelques années qui était tout petit en terme d'échelle, c'était un garage à vélo. Ils avaient découpé des voiles béton qu'ils avaient posé au sol à la verticale, ils avaient fait pleins de tests d'assemblage pour les réutiliser tel quel.

- J'ai essayé de les contacter justement et j'ai du mal à les avoir.

- Oui, ils sont hyper buzy, t'as essayé sur quel email ?

- J'ai essayé deux monsieurs.

- Quentin et Antoine ?

- Oui voilà c'est ça. J'ai eu leur adresse pro par une de mes profs.

- D'accord, Quentin gère la communication et Antoine gère pas mal l'interface avec les étudiants. C'est des copains oui. Mais ils bossent bien et du coup ils sont pas trop dispo. Mais il faut renvoyer un mail.

- Et concernant la pratique des grands groupes ?

- Oui mais il y a un truc un peu particulier dans le développement des grands groupes, des français surtout, je me questionne beaucoup à titre perso mais c'est un autre sujet. Mais quand tu regardes l'histoire de leur développement en fait, la structuration historique des grands groupes c'est des gens qui fonctionnent par rachat donc ils ont assez peu historiquement innovés. Lafarge c'est un petit peu particulier, mais les entreprises comme Bouygé ou Vinci, ils ont assez peu innové dans l'histoire mais ils ont racheté toutes les petites et moyennes boîtes qui étaient fortes. Donc c'est un système de conglomerats, c'est une grappe de raisins, c'est plein de petits raisins qui sont de petites entreprises.

- Okay je comprends, c'est une belle métaphore.

- J'en suis pas convaincu mais en tout cas c'est ça. C'est un ensemble de filiales avec une maison mère. Si tu as une idée de ouf et que tu veux revendre ta boîte, tu peux aller voir Vinci et leur dire que tu as une idée de ouf avec un certain nombre de salariés, et si ton idée est prometteuse c'est fait. Ils fonctionnent beaucoup comme ça, et maintenant ils ont un nouveau concept c'est l'intrapreneuriat. Pour que ça leur coûte moins cher si t'as une idée de ouf, ils vont te salarié à développer l'idée, c'est une autre manière qui est très à la mode depuis 10 ans. Ça existe dans plein d'autres domaines d'activité. Souvent les gens qui vendent des boites comme ça n'ont pas la compétence technique, le réseau ou les moyens financiers pour faire exploser une super idée parce que ça coûte un peu de sous d'avoir une super idée dans le domaine du béton.

- Oui bien sûr.

- Donc l'avantage c'est que si tu as une super idée mais tu ne peux pas pas la développer, quand tu es racheté par Bouygé ce n'est plus la même histoire. Et tu peux être racheté et rester

à la direction de ta boîte et développer le nouveau béton de l'avenir. C'est souvent ce modèle là.

- Oui je comprends. Je ne sais pas trop où je vais avec cette thématique.

- Moi ce qui m'a l'air intéressant en discutant avec toi, c'est que tu vas chercher les infos à droite et à gauche car tu vas te fabriquer un panier de connaissances, pleins de points de vue différents. Tu vas pouvoir te forger ta propre opinion, consolider ton objet d'étude et ça c'est quand même puissant quand tu es étudiant et que tu cherches à comprendre pleins de trucs.

- Oui, là ce qui est cool c'est que les profs voient que je suis super motivée et passionnée par le sujet. Mais c'est vrai que j'ai globalement l'état de l'art de tout ce qui se passe en second œuvre et c'est super intéressant mais concernant les éléments de structure j'ai du mal à trouver des choses.

- Il y a quelques projets que j'ai trouvés super intéressants en structure notamment d'un projet en Allemagne dont j'arrive jamais à me souvenir du nom.

- Après si c'est un nom allemand je veux bien comprendre.

- Je sais même plus, mais en gros ils ont fait un truc pas mal c'est qu'ils se sont rendus compte qu'en Allemagne à la fin de la Seconde Guerre mondiale, il y avait beaucoup d'immeubles en préfabriqué de béton. Ils ont donc développé un module d'habitation de maison individuelle à partir des modules types des barres en préfabriqué. Esthétiquement je trouve le projet assez cool, mais ce qui est génial c'est qu'ils ne découpent pas, il ne recoulent pas de béton, ils prennent des éléments déjà existants. Et c'est ça qui m'intéresse à fond dans le réemploi. C'est pour ça que les sujets de béton et gravats je les connais moins et qu'ils m'intéressent moins donc je suis moins curieux et ce n'est pas sur ces sujets que j'ai envie de développer mes compétences opérationnelles on va dire, mais là quand tu vois ce projet, tu te dis quand même qu'il peut se passer des trucs vraiment bien avec le béton. Attends je vais essayer de te retrouver ça parce qu'on l'a intégré dans un projet de recherche.

- Oui c'est vrai que je n'ai pas encore pris en compte cette partie déconstruction d'éléments entiers comme une possibilité pour faire projet, de découpe de grands pans de béton et de ce qu'on peut faire avec. De toute façon, le jour où on ne construit plus en béton sur cette planète est un jour qui appartient à un autre siècle, donc essayer de comprendre et de capter comment on peut le rendre le plus neutre possible est une bonne chose.

- Carrément ! J'ai envie de ne pas être pas d'accord mais au

fond je le suis. En vrai tu as absolument raison, c'est sûr que ce n'est pas demain qu'on arrêtera de faire du béton et je pense qu'on a quand même une possibilité de prescrire ou pas du béton en tant que concepteur.

- Oui complètement.

- Alors attends je te trouve le projet en Allemagne. Voilà ça s'appelle The Recreate Project. C'est dans trois pays. Mais à confirmer !

- Okay merci je vais regarder ça. Il me reste peut-être une petite question un peu technique. Je n'ai toujours pas fait mon stage de master et l'idéal serait que je le fasse après mon PFE. J'aimerais le faire dans une structure qui participe aux thématiques de réemploi qui m'intéressent. Est-ce que vous, vous avez la possibilité de prendre des stagiaires ?

- Nous, on a toujours un stagiaire chez Remix depuis six mois et maintenant ce sera tout le temps, donc on prend des stages de trois mois minimum plutôt que six mois on préfère. Conventionnés, rémunérés au taux horaire classique de stagiaire minimum, voilà. Donc n'hésite pas à envoyer un CV, une lettre de motivation et un book, hyper important. Donc voilà, hésite pas. On fait toujours trois mois avec une option six mois. Tu as l'air d'avoir bien cerné le sujet, donc nous quand on a des étudiants qui sont motivés et qui connaissent bien le sujet franchement c'est trop cool !

- Oui et puis je sais que j'ai envie de me professionnaliser là dedans et je sais qu'après mon diplôme je ne passerai pas à côté de ces thématiques donc si je peux commencer dès maintenant c'est cool.

- Oui, ça semble vraiment être une bonne idée, donc oui envoie nous ton CV, pas de soucis. Envoie moi ça directement par mail.

- Merci beaucoup en tout cas, c'était superbe pouvoir communiquer avec toi et à bientôt j'espère !

- Oui et moi je serai hyper preneur que tu m'envoies ton mémoire si tu veux bien quand tu auras fini ! On est hyper content de pouvoir les regarder, les lire. Les étudiants fabriquent vachement de connaissance sur les sujets et on oublie de le dire parce qu'on pense que c'est que le monde professionnel qui innove et qui recherche et qui comprend mais en fait les étudiants énormément aussi. Et c'est génial ! Dans les écoles il se pose plein de trucs de ouf.

- Oui carrément avec grand plaisir ! Merci pour ton aide !

- On se tient au courant en tout cas. Merci.

L'INTERVIEWÉ : LOÏC BERTHOU-GUYADER

SES COORDONNÉES : LOIC.BERTHOU-GUYADER@LAFARGE.COM

QUI EST-IL : RESPONSABLE DÉVELOPPEMENT AGGNEO BRETAGNE ET PAYS DE LOIRE / RECYCLAGE, VALORISATION & ÉCONOMIE CIRCULAIRE

MOTS CLÉS :

SECTEUR STRUCTURÉ / TOUS LES ACTEURS CONCERNÉS / ÉVOLUTION POSITIVE / RECYCLAGE IN SITU CONTRE-PRODUCTIF / MOYENS INDUSTRIELS / RESPONSABILITÉ MOE ET MOA

CITATIONS :

« Donc la norme jusqu'à présent prévoit de pouvoir incorporer dans un béton 30% d'infractions de gravillons de bonne qualité de type 1. »

« On a déjà démontré en France qu'on savait parfaitement valoriser l'ensemble des gravats, hors béton, en sous couches-routières. Aujourd'hui l'ensemble des granulats de sous couches routières proviennent d'éléments recyclés. Lafarge là dedans est tout petit et il y a énormément d'acteurs de proximité qui font des granulats recyclés. Vous avez beaucoup d'artisans terrassiers qui ont ces produits des démolitions et qu'ils valorisent à proximité des chantiers. Les métiers du terrassement et de la démolition du bâtiment au sens large valorisent déjà cette ressource au moins à 90/95 %. »

« Par nature, un granulats va être vendu maximum 10 euros la tonne donc vous n'avez pas la faculté de faire venir des matériaux extérieurs à un grand rayon. Parce que pour produire un granulats recyclé, il faut l'analyser, le recycler, le suivre, le contrôler au niveau qualité donc les prix des graves à destination des techniques routières sont tellement faibles que ça ne laisseras pas de place pour un grand transport en amont ou en aval. L'ensemble des acteurs fonctionne comme ça. Le marché est comme ça quel que soit le site ou le granulats. »

« L'efficacité de la revalorisation des gravats en sous-couches est extrêmement forte sur le marché français parce que beaucoup de gens s'y sont mis. Aujourd'hui, le constat qu'on peut faire c'est que pour être recyclé, les périmètres et les boucles d'économie circulaire sont extrêmement courtes, parce qu'on travaille sur des matériaux pondéreux et qu'on a pas les moyens de s'offrir le transport sur plus de 30 km. »

« Lafarge commence à avoir une bonne expérience du granulats recyclé à Nantes. Aujourd'hui, on produit 150 000 tonnes de granulats par an, la matière première de ces granulats on la capte à l'échelle uniquement de Nantes Métropole donc ça veut dire qu'en moyenne la matière première a parcouru à peu près 10 kilomètres

avant de venir dans nos centres. On revend 95% de ces granulats une fois recyclés, à destination des chantiers de Nantes Métropole. C'est vous dire le caractère extrêmement local de cette boucle. »

« Les démolisseurs sont équipés de groupes mobiles de concassage, ce n'est pas le matériau qui se déplace jusqu'à l'installation de traitement mais c'est l'installation de traitement qui se déplace sur le gisement. C'est le mode de fonctionnement actuel, je pense que l'essentiel des granulats recyclés en France le sont grâce aux groupes mobiles qui se déplacent sur le gisement et non l'inverse. On est déjà dans le raisonnement "Faisons de nos villes des carrières à ciel ouvert et essayons de valoriser ce qui peut l'être". Mais très clairement les granulats recyclés à destination des techniques routières qualitativement ce n'est pas très compliqué à faire, alors qu'il faudrait réemployer beaucoup plus massivement le béton dans le béton. »

« Lafarge, on a toute notre valeur ajoutée dans ces nouvelles techniques de recyclage car en étant cimentier et bétonnier, on peut mettre l'ensemble de nos qualités, réflexions et recherches pour essayer de mettre en place des boucles de qualités suffisantes. Quand bien même les industriels sont motivés et il faut aussi faire avancer cette problématique avec les maîtrises d'ouvrage qui doit expliciter clairement son besoin ou sa volonté d'incorporer des granulats recyclés dans les bétons afin que les entreprises sur chantier soient volontaires. Il y a un certain nombre d'étapes à passer, le client, les fournisseurs, les entreprises, les ouvriers. Chaque étape doit être encadrée. L'aspect normatif est majeur parce qu'un promoteur qui s'engage sur la qualité d'une construction doit être suivi par des assurances. »

RETRANSCRIPTION DE L'ENTRETIEN

[Demande d'enregistrement]

- J'ai fait mon stage de troisième année à l'agence SCAU à Paris. Dans cette agence, il y avait une doctorante qui faisait sa thèse sur la revalorisation des gravats, pour la construction de nouveaux matériaux de second œuvre principalement. Son travail m'a beaucoup donné envie et j'ai écrit mon mémoire de licence sur le réemploi de la brique. Je me suis un peu heurtée au fait que pour les éléments structurels c'était un compliqué de réemployer de la brique. Je me suis alors intéressée aux gravats issus des démolitions et je me heurte un peu toujours à certaines limites. Les gravats sont difficilement réutilisables en temps que tel, les informations que je trouve concerne vraiment les gravats de béton, qui plus est non armés mais j'ai du mal à trouver des informations sur des gravats de brique, de pierre, de tout ce qui est mélangé. Donc moi j'aimerais me concentrer vraiment sur la partie technique et structure que je ne connais pas vraiment. Je manque un peu de connaissances techniques et ce qui m'intéresse vraiment c'est la question de la revalorisation de la ville sur elle-même à partir des ressources qu'elle a en son centre. Plutôt que d'aller puiser ailleurs. Et c'est vrai qu'il n'y a pas beaucoup de choses qui se font aujourd'hui sur les éléments structurels.

- Il y a deux choses que j'ai noté en lisant votre guide d'entretien, c'est que de un vous insistez sur le réemploi et d'autre part dans votre présentation vous indiquez le mélange gravats, bricailons. On est d'accord qu'on parle des déchets de la déconstruction au sens large ?

- Oui!

- Donc essentiellement des minéraux, ou reconnus comme tel donc pierre, béton, brique ?

- Ce sont vraiment les déchets inertes de la démolition des éléments structurels des bâtiments.

- De l'infrastructure du bâtiment ?

- Oui tout à fait.

- Alors moi à ce titre, je ne sais plus si on en avait parlé la première fois qu'on avait discuté. Est-ce que vous avez entendu parler de l'ensemble des travaux du Recybéton, concernant le réemploi du béton dans le béton ?

- Oui tout à fait.

- Donc la norme jusqu'à présent prévoit de pouvoir incorporer

dans un béton 30% d'infractions de gravillons de bonne qualité de type 1. Je ne suis pas un spécialiste de la qualité mais bon tous ces travaux du Recybéton vous l'avez intégré dans vos recherches ?

- Oui je l'ai parcouru. Ça m'a permis de voir ce qui se passait en France aussi et les différents projets mais ça se concentre sur le béton et c'est pour ça que j'ai un peu du mal à trouver des informations sur les gravats en temps que tel. Le tas de gravats quoi. Tout ce que je constate autour de l'entité des gravats se concentre beaucoup sur le béton et le recyclage du béton dans le béton.

- Oui car c'est là où les ressources sont nombreuses. Alors j'ai bien entendu que les enrobés ne font pas partie du scop mais néanmoins l'énorme avantage de l'enrobé lorsqu'il est recyclé, c'est la réactivation du bitume à hautes températures. Le liant est réactivé donc c'est un processus extrêmement vertueux. Il faut vraiment imaginer que l'enrobé qui peut être récupérer aujourd'hui, sa destination finale doit être de faire de l'enrobé et ça tombe sous le sens donc c'est autant de bitume en moins consommé et approvisionné en France donc ça je serai tenté de dire qu'aujourd'hui l'enrobé se recycle très bien en nouvel enrobé. Quand on prend l'ensemble du processus c'est à peu près ce qui se fait de plus vertueux donc il ne faut rien changer là dedans. Concernant les gravats au sens large, on a effectivement du béton, mais aussi, vous n'y avez pas fait allusion mais lorsqu'on déconstruit une route, on a les couches d'enrobés superficielles et en dessous on a une couche granulaire de matériaux, généralement de carrière, qui vont représenter entre 20 à 50 cm mais qui eux vont être altérés par un peu de présence de terre, de fine, qui ont connu un petit peu l'eau. Donc c'est des matériaux qui entrent dans les spectre des gravats. Donc ces matériaux là, on va dire que c'est des matériaux qui proviennent de carrières au moment où la route a été construite. C'est une typologie que vous allez retrouver dans vos gravats au sens large. Ensuite, il y a des blocs qui ont servi à faire des maisons, des parpaings, qui sont des matériaux qui supportent parfaitement la compression lorsqu'ils sont posés verticalement pour en faire un mur, ce sont des matériaux qu'on va devoir valoriser dans le tas de gravats dont on parle. Il peut y avoir des moellons de construction de maisons, qui sont de plus en plus rares car il y a très très peu de maisons qui sont encore construites aujourd'hui en pierre. Vous avez aussi des briques, structurantes, qui sont comme le parpaing, qui sont parfaites pour être mises les unes sur les autres mais qui ne vont pas être résistantes en flexion. Puis vous avez le béton. Alors, le béton par nature, il est inerte. Donc quelque part, je sors le béton de l'ensemble de cette masse qui est à l'intérieur des gravats. L'ensemble de

ces gravats, hors béton, à ma connaissance et à ce stade de nos développements. On a déjà démontré en France qu'on savait parfaitement valoriser l'ensemble des gravats, hors béton, en sous-couches routières. Aujourd'hui l'ensemble des granulats de sous couches routières proviennent d'éléments recyclés. Lafarge là dedans est tout petit et il y a énormément d'acteurs de proximité qui font des granulats recyclés. Vous avez beaucoup d'artisans terrassiers qui ont ces produits des démolitions et qu'ils valorisent à proximité des chantiers. Les métiers du terrassement et de la démolition du bâtiment au sens large valorisent déjà cette ressource au moins à 90/95 %. Je ne vois plus de fonds de champs remblayés avec des déchets de constructions. L'efficacité de la revalorisation des gravats en sous-couches est extrêmement forte sur le marché français parce que beaucoup de gens s'y sont mis. Aujourd'hui, le constat qu'on peut faire c'est que pour être recyclé, les périmètres et les boucles d'économie circulaire sont extrêmement courtes, parce qu'on travaille sur des matériaux pondéreux et qu'on a pas les moyens de s'offrir le transport sur plus de 30 km. Lafarge commence à avoir une bonne expérience du granulat recyclé à Nantes. Aujourd'hui, on produit 150 000 tonnes de granulat par an, la matière première de ces granulats on la capte à l'échelle uniquement de Nantes Métropole donc ça veut dire qu'en moyenne la matière première a parcouru à peu près 10 kilomètres avant de venir dans nos centres. On revend 95% de ces granulats une fois recyclés, à destination des chantiers de Nantes Métropole. C'est vous dire le caractère extrêmement local de cette boucle. Quand vous comparez ça à d'autres typologies de recyclage ou d'autres matériaux recyclés, le marché des matériaux inertes de déconstruction a fait en sorte de les valoriser aujourd'hui de la bonne manière.

- Est-ce que vous pensez aussi que c'est le cas dans les autres villes où Lafarge est implantée ?

- Alors, ce n'est pas du fait de Lafarge si vous voulez. A Nantes on a la chance d'avoir un site à l'intérieur du périphérique qui est extrêmement bien placé. Il faut vous ayez cette règle en tête que les matériaux pondérés comme les gravats sont tellement peu valorisés et les granulats naturels utilisés en roche massive sont tellement peu valorisés, que ça ne permet pas de grande boucle de circuit circulaire. Par nature, un granulat va être vendu maximum 10 euros la tonne donc vous n'avez pas la faculté de faire venir des matériaux extérieurs à un grand rayon. Parce que pour produire un granulat recyclé, il faut l'analyser, le recycler, le suivre, le contrôler au niveau qualité donc les prix des graves à destination des techniques routières sont tellement faibles que ça ne laisse pas de place pour un grand transport en amont ou en aval. L'ensemble des acteurs fonctionne comme ça. Le marché est comme ça quel que soit le site ou le granulat. Ayez en tête qu'aujourd'hui 95% des gravats doivent être recyclés au niveau national et c'est fait pas une multitude d'acteurs. Il

y a nous industriels qui sommes détenteurs d'installations classées pour l'environnement donc on est bien suivi et contrôlé par la DREAL et à côté de ça vous avez une multitude d'acteurs, des transporteurs, des artisans ou des entreprises de travaux publics, des démolisseurs, etc. Les démolisseurs sont équipés de groupes mobiles de concassage, ce n'est pas le matériau qui se déplace jusqu'à l'installation de traitement mais c'est l'installation de traitement qui se déplace sur le gisement. C'est le mode de fonctionnement actuel, je pense que l'essentiel des granulats recyclés en France le sont grâce aux groupes mobiles qui se déplacent sur le gisement et non l'inverse. On est déjà dans le raisonnement "Faisons de nos villes des carrières à ciel ouvert et essayons de valoriser ce qui peut l'être". Mais très clairement les granulats recyclés à destination des techniques routières qualitativement ce n'est pas très compliqué à faire, alors qu'il faudrait réemployer beaucoup plus massivement le béton dans le béton. En comptant sur les granulats de type 1 tels que recommandés par Recybéon, il faut que la ressource soit triée en amont. Pour que soit produit des granulométrie 4.20 ou 4.12, mais cela va générer des co-produits qui ne pourront pas être forcément réemployés dans le béton donc ces co-produits il faut essayer de les valoriser en techniques routières directement qui seront peut être un peu moins faciles à valoriser qu'une grave 0.30 ou 0.80. Lafarge, on a toute notre valeur ajoutée dans ces nouvelles techniques de recyclage car en étant cimentier et bétonnier, on peut mettre l'ensemble de nos qualités, réflexions et recherches pour essayer de mettre en place des boucles de qualités suffisantes. Quand bien même les industriels sont motivés et il faut aussi faire avancer cette problématique avec les maîtrises d'ouvrage qui doit expliciter clairement son besoin ou sa volonté d'incorporer des granulats recyclés dans les bétons afin que les entreprises sur chantier soient volontaires. Il y a un certain nombre d'étapes à passer, le client, les fournisseurs, les entreprises, les ouvriers. Chaque étape doit être encadrée. L'aspect normatif est majeur parce qu'un promoteur qui s'engage sur la qualité d'une construction doit être suivi par des assurances.

- Vous n'avez pas besoin de les convaincre ?

- Les gens généralement sont pour. J'ai un souvenir d'un lycée qui était fait en partenariat avec le conseil régional qui souhaitait la mise en œuvre de granulats recyclés. Mais au final, se rendant compte des différentes étapes n'a pas souhaité le faire jusqu'au bout. Donc la maîtrise d'ouvrage doit expliciter clairement son besoin ou sa volonté d'incorporer des granulats recyclés dans les bétons afin que les entreprises soient volontaires, que le maçon soit volontaire et que le fournisseur aussi afin de fournir des granulats recyclés au maçon. Il y a un certain nombre d'étapes à passer. En temps qu'industriels je n'ai pas le droit de mettre sur le marché des produits qui sont hors normes. Vous avez tout

un tas de sujets où la norme va vous contraindre même très faiblement. Notamment sur les taux d'incorporation. Pour vous donner un exemple, je me suis intéressé au réemploi de la terre crue en construction. Mais il n'existe pas de norme aujourd'hui. Je prends partie de valoriser une terre dans laquelle je vais retrouver des éléments métalliques parce que dans n'importe quelle terre vous avez tout un tas d'éléments métalliques ou autre. Si demain il y a un souci sur la durabilité de la construction, sur un problème sanitaire, je n'ai pas de normes donc c'est impossible pour moi de faire ce projet là quand bien même j'ai envie de le faire. Aujourd'hui je me refrène car je n'ai pas le cadre réglementaire qui m'autorise.

- Est-ce que vous pouvez vous adresser directement aux organismes normatifs ou aux bureaux d'étude qui créent les notes ou ce genre de choses ?

- Ce sont des démarches nationales qui sont engagées justement par des acteurs qui ont des intérêts nationaux, donc moi à mon niveau je ne peux que déplorer l'absence de normes. Ce sont des instances souvent nationales, avec beaucoup d'experts, ce sont des expertises extrêmement pointues. Ce n'est plus mon sujet. Par contre, le réemploi du béton dans le béton est extrêmement valorisé, on sent que ça bouge, Lafarge est assez fort à Bordeaux, dans le sud de la France, à Lyon. A Bordeaux le prix des granulats naturels est assez cher puisque il y a certaines ressources de proximité et il y a certaines typologies de granulats qui viennent d'un peu plus loin, donc à Bordeaux, les granulats peuvent être assez coûteux. Comparativement les granulats recyclés sont moins chers, ce qui fait que le bétonnier a intérêt à l'inclure dans ses formules. Il ne faut pas sous-estimer le travail de modification des formulations du béton. Ça requiert des éléments de qualité particulière, ça requiert l'ajout d'adjuvants, ça requiert un suivi qualité sur le chantier différent. Donc ce n'est pas anodin et le fait d'ajouter du granulat recyclé dans le béton n'est pas quelque chose de neutre pour le bétonnier. Il y a pas mal de recherches et de suivi opérationnel pour le faire. Je pense qu'il faut qu'on le développe encore dans les années futures. La norme 206, donc la norme sur les granulats recyclés destinés au béton, va évoluer au 1er janvier 2022 pour augmenter la part de granulats recyclés incorporés dans les bétons. Je pense que la partie normative et la partie assurance sont parfaitement lancées sur les rails concernant le réemploi des granulats recyclés dans le béton. Mais tout le monde s'y met, les industriels pour produire les granulats recyclés de type 1 et les artisans pour mettre en œuvre ces bétons recyclés.

- Cela doit ruisseler sur tous les acteurs concernés.

- Exactement, le constat que je fais, c'est que le réemploi est extrêmement attendu par les parties prenantes, par l'ensemble des acteurs. Mais il est extrêmement compliqué à mettre en

œuvre dans nos métiers. Il faut savoir déposer les matériaux correctement, bien les conserver et créer les boucles qu'il faut.

- Avec la brique il y a des gens qui le font mais c'est vrai pour qu'une brique soit réemployée, il faut suivre tout un nombre de règles. Cela paraît presque impossible et en tout cas encore moins pour des éléments structurels. A partir du moment où on parle de matériaux de gros œuvre, c'est le recyclage qui prend le pas sur le réemploi.

- Exclament. Alors il y a une chose à laquelle vous ne faites pas allusion, c'est de la terre. La terre, on a la faculté de lui donner une deuxième vie, on a la faculté d'en refaire une terre fertile. Vous la mélangez avec du compost, vous l'aérez, vous la malaxez. Plutôt que d'aller piquer de la terre végétale en campagne ce qui est une hérésie totale, vous avez la faculté de reproduire une terre à vertus agronomiques. C'est aussi une sorte de réemploi, une deuxième vie, une possibilité de revalorisation. Parce que le constat qu'on fait aussi aujourd'hui c'est qu'il y a beaucoup de déblais de la ville issus des excavations qui finissent à la campagne. Quand il y a un projet d'aménagement qui prévoit un peu d'espaces verts, la ville va chercher à la campagne des terres végétales alors que ça semblerait plus opportun de conserver ces déblais inertes à proximité de la ville en y ajoutant des composts produits par la ville pour en refaire des terres fertiles. Mais bon, c'est un autre sujet.

- Quelle part vous représentez, en temps qu'industriel, par rapport aux petits acteurs dans la boucle circulaire ? Est-ce que vous faites partie de ceux qui recyclent le plus car vous avez énormément de moyens et de poids financier ? Est-ce que vous avez aussi des liens avec eux ? Est-ce que vous partagez des choses avec eux, comme des espaces de stockage, des machines, des manières de faire ? Est-ce que vous sentez qu'il y a une balance assez équilibrée entre les différentes échelles ?

- Alors on est obligé de re-segmenter un peu plus. Si vous voulez, pour le métier des carriers, ce n'est pas forcément un marché extrêmement concentré. Les 3 ou 4 leaders nationaux comme Collas, Vinci, Lafarge ou Eiffage représentent 60% du granulat naturel produit en France. Donc ça veut dire qu'il reste encore énormément de place pour des acteurs moyens ou plus petits. Les métiers de la route et de l'enrobé, c'est un marché extrêmement concentré. Eiffage, Vinci, Collas se partagent 90% du marché. Concernant le recyclage de l'enrobé c'est aussi extrêmement concentré, vous allez retrouver selon le même ratio, 90% de la fabrication d'enrobés recyclés dans ces groupes là. Concernant la partie gravats démolition, il y a des chantiers où par exemple, où après démolition du bâtiment, les gravats vont être recyclés sur place et vont être directement réintroduits dans les fondations du bâtiment qui sera construit en lieu et place. On ne peut pas faire plus court.

Néanmoins en terme de valorisation, l'expérience montre que ce n'est pas les meilleures fabrications de granulats recyclés car beaucoup d'éléments restent stockés sur le chantier et les prestataires des démolition et évacuation vont remettre sur le marché des tonnes de granulats recyclés souvent de faible qualité et à bas prix, ils offrent plutôt pas mal de contres références. Vous avez noté que Lafarge a essayé de marquer ses produits avec une marque Aggneo, c'est simplement pour se différencier de certains acteurs qui produisent et vendent des éléments de mauvaise qualité. Si on a souhaité le marquer, c'est clairement qu'on avait la nécessité de montrer que le granulat recyclé pouvait être de bonne qualité et que nous, industriels, on mettait nos services qualités à contribution pour garantir à nos clients une certaine qualité d'usage. Mais pour répondre à votre question sur le panel d'acteurs, ayez en tête que l'investissement dans un groupe mobile de concassage-criblage pour faire des granulats recyclés à destination de la route, ce n'est pas un gros billet et qu'il y en a énormément sur le marché. Vous pouvez donc négocier les prix de concassage-criblage à partir du moment où vous avez votre tas de matériaux à recycler. Donc la technique est à la portée de beaucoup d'entreprises même moyennes ou petites. J'ai fait le constat que les entreprises ont pris l'habitude de fonctionner avec des granulats recyclés donc en temps que bétonnier qui est envie de capter cette ressource pour la mettre sur mes chantiers, je vais devoir me bagarrer contre eux pour récupérer cette ressource. Quelque part c'est excellent, car on commence à donner de la valeur aux déchets. Si on est deux à vouloir se ronger le même os, les prix vont augmenter. Ces matériaux-là vont retrouver de la valeur parce qu'on sera plusieurs à vouloir se les accaparer.

- Avec Aggneo vous établissez un cadre réglementaire aussi de vos produits ?

- Notre promesse client c'est de dire qu'on revalorise tout ce qui peut l'être. Il y a un engagement au niveau de la recherche et de ce qu'on peut faire des déchets. Mais aussi au niveau du suivi réglementaire, on ne dévie pas de la ligne. Au niveau qualité aussi, on produit du granulat depuis de nombreuses années donc on connaît les besoins de nos clients. On a des plans de contrôle concernant la production des granulats naturels et ces plans de contrôle sont strictement calqués pour les granulats recyclés.

- Une fois le béton recyclé créé, est-ce que la boucle de recyclage est infinie ? Techniquement est-ce qu'à un moment la pratique de revalorisation s'arrête ?

- C'est une très bonne question. Déjà, on sait qu'on émet du carbone à la fabrication du ciment présent dans le béton. On émet du carbone parce que l'on utilise un four pour faire chauffer à 1 500 degrés pour décarbonater le calcaire qui produit du clinker, qui est la matière première du ciment.

Pour ces fours là, le cimentier va chercher à alimenter sa thermie avec tout un tas de combustibles alternatifs. A la cimenterie De St Pierre La Cour en Mayenne, qui est la plus grosse cimenterie de Lafarge en France, 75% de la thermie est déjà assurée par des combustibles issus du déchet. Il n'est pas question d'utiliser un plastique qui pourrait être revalorisé en plastique. Il est juste question de détourner des tonnes de plastique qui vont aller à l'enfouissement et qui ne sont pas d'assez bonne qualité pour être recyclées en plastique. C'est vrai aussi pour certains cartons souillés, des résidus de mobilier ou des résidus de bois souillés. On s'attache vraiment à utiliser des ultimes qui vont normalement à l'enfouissement. Chez Lafarge, on a pour objectif de porter toutes nos cimenteries, en moyenne, à 85 ou 95% de combustibles alternatifs, à horizon 2030. On sait aussi qu'on va devoir passer par une séquestration du carbone à la sortie de notre processus de décarbonisation du calcaire pour devenir neutre en carbone à l'horizon 2050. On fait aussi des recherches pour valoriser ce CO2 qui sort, en méthane par exemple afin de créer du méthanol ou des carburants pour l'aviation. Il y a pas mal de processus industriels qui existent. Le deuxième point, c'est qu'une fois le béton couler, il va réabsorber un petit peu de CO2 atmosphérique. Il va capter du CO2 dans l'atmosphère sauf que ce phénomène demande un certain nombre d'années, environ 30. On essaye aujourd'hui, avec notre projet FastCarb, de recarbone les bétons avec les granulats recyclés. C'est une expérimentation dont les conclusions ne sont pas encore faites. Tout cela pour vous dire que le granulat recyclé à pour vocation de recapter une partie du CO2 nécessaire à la fabrication primaire du béton duquel il est issu.

- Est-ce que pour le béton recyclé, les techniques de mise en œuvre sont les mêmes ?

- Il n'y a pas de contraintes particulières à un béton qui va intégrer 30% de granulats recyclés lors de la mise en œuvre. Il doit avoir les mêmes caractéristiques en termes de rhéologie ou de résistance par exemple. Il doit avoir exactement les mêmes caractéristiques, la norme l'oblige.

- Ce qui est positif c'est que les entreprises qui le mettent en œuvre ne doivent pas faire l'effort de changer leurs techniques sur chantier.

- La question qui se pose aujourd'hui c'est : Peut-on faire du béton à base de 100% de béton recyclé ? Je pense que c'est jouable. Un bétonnier s'engage sur un matériau qui ne va pas bouger avec le temps. J'ai la certitude qu'un béton intégralement composé de granulats recyclés conviendra parfaitement à faire des ouvrages à faibles expositions ou faibles structures. Plus on va aller dans des classes d'exposition élevées ou des classes d'exigence structurelles fortes, peut être qu'à un moment le béton recyclé ne conviendra plus.

Mais avant qu'on obtienne 50 ou 85% de granulats recyclés dans le béton, il va falloir du temps. La marque Aggneo a été lancée ici à Nantes en 2013, à cette occasion on s'était amusé à faire un béton avec 100% de granulats recyclés, c'est un petit mur, mais il est toujours là.

- Quel est le schéma classique de la mission principale que vous avez chez Aggneo ? Vous accompagnez tout le processus de revalorisation ?

- On a 4 sites de recyclage. On est monté en compétence sur un certain nombre de sujets, en termes de traçabilité par exemple. Aggneo est une marque qui est dédiée aux granulats recyclés. Lafarge est en train de se structurer pour devenir une société qui va porter l'économie circulaire et la valorisation des déchets, avec notamment le programme qui s'appelle Geocycle. Aujourd'hui, au sein du marché des gravats, les petites, moyennes et grosses entreprises démontrent tous les jours qu'il est possible de revaloriser l'essentiel des gravats en technique routière et en incorporation dans le béton. Il existe aussi une réglementation assez importante dont on a pas parlé, c'est la Responsabilité Élargie des Producteurs, rendant responsables de la gestion de la fin de vie d'un matériau son producteur. A compter du 1 janvier 2022, elle va être élargie aux matériaux de construction, ce qui va encore plus réglementer et valoriser les fins de vie des matériaux utilisés dans le BTP. Ce qui va aussi permettre d'obtenir des financements pour des projets de revalorisation innovants. Cela va permettre de passer une étape supplémentaire dans la revalorisation des déchets.

- Fonctionnez-vous en flux tendu concernant les stocks de granulats à recycler ?

- Concernant les granulats recyclés on a toujours des stocks, on fonctionne pas en flux tendu. Sauf qu'il existe certain contre exemple. Un maître d'ouvrage par exemple, qui va travailler au sein d'une ZAC, va absolument vouloir que la démolition produise des granulats recyclés à incorporer dans les bétons de son futur projet d'aménagement. Sauf que ça c'est extrêmement contre-productif. Il faut vraiment que ces acteurs fassent tout leur possible pour que les matériaux de déconstruction ou démolition soient inclus dans une filière de proximité qui garantisse la mise à disposition de granulats de qualité qui permettra de faire du béton de proximité, dans un périmètre restreint. Mais cette volonté de valoriser les déchets d'un chantier en in situ, c'est extrêmement compliqué à gérer. L'industriel ne va pas multiplier sur son site les stocks de matériaux. La revalorisation de la ville sur elle-même ne se fait pas à l'échelle d'un bâtiment mais à l'échelle de la ville. Par nature, les phases de déconstruction ou de démolition interviennent bien en amont de la phase de construction donc il ne faut pas vouloir stocker dans un coin un granulats recyclé en attendant que le béton soit produit,

ça n'a pas de sens. Par contre, la responsabilité d'un maître d'ouvrage c'est de prendre en compte la démolition dans la reconstruction. Afin que les matières premières soient effectivement utilisées par les filières, en passant par les plateformes et les professionnels qui vont leur donner de la valeur. En tant qu'architecte, il faut que vous ayez les idées claires par rapport au bâtiment que vous allez démolir et les déchets produits. Il faut questionner l'industriel sur sa mise en conservation de la matière première afin de générer des granulats recyclés pour les futurs chantiers. C'est la question aussi que doivent se poser un maître d'œuvre ou un maître d'ouvrage. Ce sont des questions complexes mais je pense qu'on est vraiment sur le bon chemin, ça avance très vite ! Il y a un aspect fiscal dans toutes choses. Sur le marché anglais par exemple, le granulats naturel se voit impacté par une taxe à la tonne qui coûte 2 livres à la tonne. En France, on a l'équivalent qui s'appelle la TGAP qui est facturée sur tous les granulats naturels à hauteur de 21 centimes d'euros la tonne. C'est-à-dire que quand vous achetez un granulats naturel vous devez payer 21 centimes d'euros à la tonne, ce que vous n'allez pas payer pour un granulats recyclé. Si on veut aider le granulats recyclé, on peut surfacturer le granulats naturel. Cet aspect fiscal a une vraie incidence sur les possibilités. Un autre changement considérable concerne le changement du secteur du BTP au profit du bois. Il y a de moins en moins de carrières donc elles sont de plus en plus loin. Il y a moins d'interactions. Un matériau pondéré comme le granulats va voyager de plus en plus loin or le granulats naturel est le produit le plus consommé en France après l'eau. 1 français moyen consomme de l'ordre de 6 à 7 tonnes de granulats par an. Du fait des carrières de plus en plus éloignées, il y a de plus en plus d'intensité logistique pour pouvoir approvisionner les marchés, d'où l'intérêt de créer des carrières urbaines et de maximiser les ressources de la ville.

- D'accord, je comprends. C'est très intéressant d'avoir votre point de vue et votre expertise. Je vous remercie d'avoir pris le temps de répondre à mes questions.

- Je t'en prie. N'hésite pas à m'écrire si tu en as d'autres.

- Merci beaucoup. Je vous souhaite une bonne journée.

- Au revoir.

L'INTERVIEWÉ : NICOLAS CRUAUD

SES COORDONNÉES : NICOLAS.CRUAUD@NEOLITHE.FR

QUI EST-IL : CO-FONDATEUR ET PRÉSIDENT DE NÉOLITHE

MOTS CLÉS :

GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS / NOUVEAU PROCÉDÉ / INNOVATION / INVENTIVITÉ / RECYCLAGE / INDUSTRIEL / FICHES TECHNIQUES / FOURNISSEUR MATÉRIAUX / FORMULATIONS TECHNIQUES

CITATIONS :

« Notre cœur de mission, c'est d'aller chercher l'ordure ménagère, pas le déchet de chantier, mais le déchet de la poubelle ménagère et d'en faire un granulats mais on a commencé par les déchets de chantier car c'était plus simple. »

« On prend donc des DIB de chantier non inertes, non dangereux, sur le chantier, issus des démolitions, déconstructions et constructions. Tous les mixtes de plastique, bois, isolants, les déchets en mélange. Ils passent sur un centre de tri, qui va séparer la fraction "recyclage" du reste et la moitié du flux va être considérée comme refus de tri et ce refus de tri va être enfoui ou incinéré. C'est ce refus de tri dont on s'occupe. Ce sont des bouts de bois, de laine de verre, de plastique, etc mais souvent des petits morceaux puisque les gros morceaux auront été sortis facilement. Ils passent ensuite dans notre système et on en fait un granulats pour la construction. »

« Dans notre région il y a beaucoup de pierres calcaires par exemple, qui sont des déchets issus du Cétacé et des dinosaures qui se sont fossilisés avec le temps. Mon père s'est donc demandé si on ne pouvait pas faire pareil avec nos déchets. Il a re-conceptualisé le procédé tel il y a 3 millions d'années, et c'est comme ça que ça lui est venu. »

« Dans la poudre de déchets, tu vas avoir 15% de plastique, 20% de bois, 35% de minérale, avec du plâtre et ce genre de choses. Le plastique tu ne vas pas pouvoir rentrer dedans avec le liant car il n'est pas poreux, mais l'intérêt c'est que vu que tu vas avoir des tout petits éléments tramés très finement et tu vas te servir du plastique comme une charge minérale. A cette taille là, tu arrives à considérer que toutes les particules de ton mélange sont des charges qui sont un peu indépendantes de leur matière. Si tu prends le bois, lui l'intérêt de le rendre aussi fin c'est que tu vas pouvoir réagir en totalité avec la matière, le liant va pouvoir pénétrer la particule et figer par l'intérieur. Tu te rapproches beaucoup plus d'une minéralisation de la matière. Ensuite tu obtiens une pâte que tu peux extruder sous pression, donc tu vas obtenir des petits blocs qui sont des granulats. »

« Cela n'aurait pas eu spécialement d'intérêt d'utiliser des déchets inertes de chantier type gravats car le modèle économique ne l'aurait pas permis. Le DIB normalement, tu dois payer 150 euros la tonne pour le faire enfouir dans les décharges adaptées. Le déchet inerte, tu enfouies ça en carrières ça te coûte 10 euros la tonne, donc le procédé ne peut pas rentabiliser sur 10 euros la tonne. Concernant les gravats, rien que de les broyer tu vas utiliser toute ton enveloppe budgétaire, donc ça me semble compliqué. »

« Le recyclage est supérieur à la fossilisation. Ce sont tous les deux des formes de valorisation de la matière mais le but reste de faire du plastique à partir de plastique plutôt que de faire un caillou à partir de plastique, tu perds en valeur. Donc la matière est d'abord triée, on en tire les fractions recyclables et ensuite on applique le principe de fossilisation, seulement sur ce qui est le déchet ultime. On récupère ce qui ne peut plus être trié, ce mélange qui pollue tout. Le problème étant que tu n'arriveras jamais à désolidariser le plastique du reste. On est pas concurrentiel avec le recyclage, mais avec l'enfouissement et l'incinération en proposant une solution moins chère, innovante et durable. »

« On est donc équipementiers. On vend des fossilisateurs. C'est le centre de tri qui l'utilise de manière fixe et en aura toujours besoin et qui va vendre le granulats à la centrale à béton, aux routiers, etc. »

« Les déchets vont partir du chantier pour le centre de tri, ensuite ça va aller soit en recyclage soit en fossilisation sur le centre de tri. Les granulats vont être envoyés à la centrale à béton du coin, tout ça dans un périmètre de 10km environ et la centrale à béton va alimenter le chantier à côté, à la limite du premier chantier qui t'a donné le sac de DIB. »

RETRANSCRIPTION DE L'ENTRETIEN

[Demande d'enregistrement]

- Quand je suis tombée sur votre site internet, j'étais plutôt contente de trouver quelqu'un qui fait ce qui m'intéresse pour mon mémoire. C'est vrai que j'ai bien lu sur votre site que votre travail ne concernait pas seulement des déchets inertes.

- Non c'est mieux que ça ! La réutilisation de gravats pour les projets "Recybéton" et tout ça c'est des choses connues, nous on essaye d'attaquer un peu le sujet et de faire plus compliqué.

- Du coup, comment vous en êtes arrivés là techniquement ?

- On prend donc des DIB de chantier non inertes, non dangereux, sur le chantier, issus des démolitions, déconstructions et constructions. Tous les mixtes de plastique, bois, isolants, les déchets en mélange. Ils passent sur un centre de tri, qui va séparer la fraction "recyclage" du reste et la moitié du flux va être considérée comme refus de tri et ce refus de tri va être enfoui ou incinéré. C'est ce refus de tri dont on s'occupe. Ce sont des bouts de bois, de laine de verre, de plastique, etc., mais souvent des petits morceaux puisque les gros morceaux sont sortis facilement. Ils passent ensuite dans notre système et on en fait un granulats pour la construction. L'idée générale qui nous a amenés à cette solution-là, c'est l'idée de mon père qui est tailleur de pierre à la base et qui s'est dit que finalement nous on est de, vous je ne sais pas où vous êtes, vous êtes de quel coin à la base ?

- Bordeaux.

- Bordeaux, okay. Nous on est Val-de-Loire. Dans notre région il y a beaucoup de pierres calcaires par exemple, qui sont des déchets issus du Cézacé et des dinosaures qui se sont fossilisés avec le temps. Mon père s'est donc demandé si on ne pouvait pas faire pareil avec nos déchets. Il a re-conceptualisé le procédé tel il y a 3 millions d'années, et c'est comme ça que ça lui est venu. Notre cœur de mission, c'est d'aller chercher l'ordure ménagère, pas le déchet de chantier, mais le déchet de la poubelle ménagère et d'en faire un granulats mais on a commencé par les déchets de chantier car c'était plus simple.

- Oui, en plus il y a de la demande.

- Donc en deux mots, pour vous expliquer le procédé, y'a trois grandes étapes : on prend le déchet en mélange, on va le broyer jusqu'à obtenir une fine, une poudre entre 0 et 500 microns, c'est l'étape de réduction. Cette poudre, on va la faire réagir avec notre liant. Donc on a formulé des liants spécifiques pour bien réagir avec le déchet. Ce liant

il va faire deux choses sur le déchet : il va rendre inerte la poudre du déchet et il va créer la structure minérale qui permet de donner des propriétés mécaniques et physiques aux granulats anthropocènes. Donc à la fin de ce processus, on a une espèce de pâte à modeler minérale.

- Okay je comprends bien. Mais comment le liant que vous ajoutez à la poudre de déchets par exemple plastique, rend minérale cette poudre de plastique ?

- Alors le plastique c'est particulier pour le coup on ne peut juste pas agir dessus. Dans la poudre de déchets, tu vas avoir 15% de plastique, 20% de bois, 35% de minérale, avec du plâtre et ce genre de choses. Le plastique tu ne vas pas pouvoir rentrer dedans avec le liant car il n'est pas poreux, mais l'intérêt c'est que vu que tu vas avoir des tout petits éléments tramés très finement et tu vas te servir du plastique comme une charge minérale. A cette taille là, tu arrives à considérer que toutes les particules de ton mélange sont des charges qui sont un peu indépendantes de leur matière. Si tu prends le bois, lui l'intérêt de le rendre aussi fin c'est que tu vas pouvoir réagir en totalité avec la matière, le liant va pouvoir pénétrer la particule et figer par l'intérieur. Tu te rapproches beaucoup plus d'une minéralisation de la matière. Ensuite tu obtiens une pâte que tu peux extruder sous pression, donc tu vas obtenir des petits blocs qui sont des granulats.

- Okay d'accord.

- Donc tu te sers du plastique comme une charge minérale, à cette taille là tu arrives à considérer que toutes les particules sont des charges qui sont un peu indépendantes de leur matière. Mais par contre par exemple, si tu prends le bois, lui l'intérêt de le rendre aussi fin c'est que tu vas pouvoir réagir en totalité avec la matière, c'est dire que le liant va pouvoir pénétrer la particule du fait de sa porosité et figer par l'intérieur. Là, tu te rapproches beaucoup plus d'une minéralisation de la matière. Il y a des éléments, le plastique en particulier, où tu ne peux pas pénétrer dans la matière.

- Oui je comprends très bien. Après, vous obtenez une pâte...

- Oui, donc après tu as une pâte que tu peux extruder sous pression, donc tu vas obtenir des petits blocs qui sont des granulats.

- Okay, sacré processus... Et les granulats ont-ils des propriétés mécaniques pour pouvoir fabriquer des éléments structurels pour l'architecture ?

- Alors on bosse dessus en ce moment, on a eu des agréments

du CSTB sur tout ce qui est béton non structurel et on va aller chercher tout ce qui est béton préfabriqué car tu n'es pas autant contraint par les normes. Le béton préfabriqué ce qui est bien c'est juste que tu as juste besoin de montrer une performance du béton en sortie d'usine, tu n'as pas besoin d'avoir une formule précise. Donc tu peux faire des éléments structurels en préfabriqué. Là on est en train d'aller chercher des agréments pour les éléments structurels avec du béton prêt à l'emploi de manière traditionnelle pour l'année prochaine et également tout ce qui est sous couche routière. Parce que la sous couche consomme on va dire 70% des cailloux qui sont produits.

- Okay c'est fou votre procédé. Tu m'as dit que vous aviez commencé avec des déchets de chantier, quels types de déchets ?

- C'est vraiment un mixte dont je te parle, c'est 20% de bois, 15% de plastique, etc.

- Oui d'accord ce n'est pas que des déchets inertes à la base.

- Cela n'aurait pas eu spécialement d'intérêt d'utiliser des déchets inertes de chantier type gravats car le modèle économique ne l'aurait pas permis. Le DIB normalement, tu dois payer 150 euros la tonne pour le faire enfouir dans les décharges adaptées. Le déchet inerte, tu enfouies ça en carrières ça te coûte 10 euros la tonne, donc le procédé ne peut pas rentabiliser sur 10 euros la tonne. Concernant les gravats, rien que de les broyer tu vas utiliser toute ton enveloppe budgétaire, donc ça me semble compliqué.

- Oui je comprends. Et après ça, vous revendez vos granulats ou vous fabriquez vous même le béton ?

- Alors nous, notre positionnement est plus en amont dans la chaîne. On est donc équipementiers. On vend des fossilisateurs. C'est le centre de tri qui l'utilise de manière fixe et en aura toujours besoin et qui va vendre le granulat à la centrale à béton, aux routiers, etc.

- Okay, j'imagine que vous avez dû poser des brevets sur le processus de fossilisation ?

- Oui, on a des brevets sur le procédé et sur le liant on est en secret de formulation.

- Parce que ce qui est génial, c'est que la fossilisation se déplace techniquement partout?

- Alors oui l'idée au début, c'était de se dire qu'on va faire un truc mobile qui va aller de chantier en chantier mais maintenant on est un peu plus fixe. Nous, on construit les machines chez nous en modules et on les déplace chez nos

clients un peu clés en main. Par exemple un centre de tri, il va avoir besoin d'un ou deux fossilisateurs et il va me les commander. Ensuite, je vais l'installer en 2 jours une fois que je les ai fabriqués et ensuite ils vont plus bouger parce que le centre de tri aura toujours besoin de ces machines. Ils ne vont pas se balader d'un centre à l'autre.

- Okay, est-ce que ce sont que les centres de tri de vos clients ?

- Oui parce qu'on a pas vocation à traiter le déchet avant qu'il soit trié. Tu vois, y'a des mecs qui pensent qu'ils vont tout pouvoir passer dans le fossilisateur, mais ce n'est pas le but du jeu. Le recyclage est supérieur à la fossilisation. Ce sont tous les deux des formes de valorisation de la matière mais le but reste de faire du plastique à partir de plastique plutôt que de faire un caillou à partir de plastique, tu perds en valeur. Donc la matière est d'abord triée, on en tire les fractions recyclables et ensuite on applique le principe de fossilisation, seulement sur ce qui est le déchet ultime. On récupère ce qui ne peut plus être trié, ce mélange qui pollue tout. Le problème étant que tu n'arriveras jamais à désolidariser le plastique du reste. On est pas concurrentiel avec le recyclage, mais avec l'enfouissement et l'incinération en proposant une solution moins chère, innovante et durable.

- Du coup vous répondez aux problématiques d'enfouissement surtout et d'incinération ?

- Oui bien sûr. Nous on est pas concurrentiel avec le recyclage, on est concurrentiel avec l'enfouissement et l'incinération.

- Okay, c'est très intéressant.

- Et on est moins cher en plus!

- Tout bénéf !

- Après les centres de tri, une fois qu'ils ont fossilisé les déchets, qu'est ce qu'ils font des granulats ?

- Les premières années, le temps que le marché s'acclimate, c'est nous qui étions directement en relation avec Lafarge, Eurovia, Préfabéton qui en ont besoin. Maintenant, on va trouver les clients pour ce fossilisateur et puis le fossilisateur va vendre à ces clients là qu'on aura identifiés.

- Et par exemple Lafarge il questionne pas votre produit ? Il considère que vous avez les mêmes granulats que des granulats naturels ?

- En fait, on a mis en place un système qualité avec des fiches techniques des produits. Tu vas prouver que la qualité est bien stable dans le temps, puis ils ont déjà fait des tests avec pour vérifier que les bétons qu'ils faisaient en sortie

marchaient bien. Après que ta base soit du déchet à la base ou n'importe quoi, ils s'en moquent. Ce qu'il veulent c'est les propriétés du produit fini.

- Okay. A la base, moi, je m'étais intéressée au réemploi de la brique et je me suis rendue compte après mes différentes recherches qu'on ne peut pas réemployer structurellement une brique et du coup j'ai élargi mes recherches et considéré les gravats comme une matière à part entière. Sans nécessairement le trier. Et je me rends compte avec mes recherches que finalement, un sac de gravats va finir par être trié et que les éléments les plus recyclés sont les déchets de béton. Mais ce qui est intéressant dans votre processus c'est que vous considérez pleins de déchets ensemble, et que la mixité des matières et des déchets fait partie intégrante de votre processus. C'est un sac de DIB qui est fossilisé comme si on pouvait prendre un sac de gravats dans lequel il y a de la pierre, du béton, du plâtre, de la brique, etc. Et ça est-ce que ce serait possible, une sorte de fossilisation sur ces éléments là ?

- Actuellement ça doit être beaucoup plus simple puisque tu es déjà sur un minéral mais par contre je pense que c'est le modèle économique qui pêche. Parce que si tu veux faire ça tu vas passer, enfin en tout cas à notre façon, par une étape de réduction, tu vas broyer tout ça finement, et rien que le broyage fin t'as dépensé toute ton enveloppe budgétaire. Parce que comme je te disais, le DIB tu l'enfouies c'est 150 euros tonne, la l'inerte tu payes 10 euros tonne, donc tu auras même pas payé ton broyage que tu n'as déjà plus d'argent pour le reste. Donc même si tu as besoin de moins de liant dans le procédé etc, j'y crois pas trop. Voilà, je sais pas si tu peux voir mais voilà à quoi ça ressemble un reflux de DIB de chantier.

- (Photo montrée à l'écran)

- Oui je vois okay merci. Et ce sac de DIB vous l'achetez à qui ?

- On est payé pour les prendre en fait. Les fameux 150 euros/tonnes. Le gars à la base, il a le choix entre envoyer ses déchets chez Suez à 150 la tonne ou envoyer ses déchets dans un système de fossilisation pour le même prix.

- Qui récupère ces DIB sur les chantiers ?

- C'est les collecteurs/trieurs. C'est les centres de tri.

- Donc ce sont les centres de tri qui font le lien entre les chantiers et vous ?

- Oui, les centres de tri sont payés pour récupérer ton déchet et après lui il doit payer Suez pour aller enfouir. Donc c'est sur cet argent là que le gars peut payer la fossilisation.

- Vous arrivez à collecter à quelle échelle ? Sur quels rayons ? Départemental ? Est-ce que vous arrivez à récupérer des déchets à quelles échelles ? Parce que j'imagine que le centre de tri c'est à peu près comme les centres de tri publics pour particuliers ? Donc j'imagine que c'est super sectorisé. Donc ce sont des échelles qui sont assez petites.

- Oui alors pour t'expliquer où nous en sommes. Alors aujourd'hui on a un fossilisateur qui tourne à côté d'Angers. Il tourne en démo, il sert à montrer à tous les gens qui viennent visiter le centre de tri comment ça marche. Et là on est en train de signer des commandes pour en livrer 4 l'année prochaine, ils vont rayonner sur grand max 50km. Parce que tu ne vas pas balader le déchet sur 150km. Comme les carrières etc, c'est forcément des choses très locales.

- Par rapport à mon questionnement du renouvellement de la ville sur elle même dans mon mémoire, est ce que vous êtes capable de cartographier le chemin complet que va faire le sac de BID du chantier jusqu'à son recyclage là où il sera réutilisé après fossilisation ?

- En gros, c'est du cas par cas. Les déchets vont partir du chantier pour le centre de tri, ensuite ça va aller soit en recyclage soit en fossilisation sur le centre de tri. Les granulats vont être envoyés à la centrale à béton du coin, tout ça dans un périmètre de 10km environ et la centrale à béton va alimenter le chantier à côté, à la limite du premier chantier qui t'a donné le sac de DIB. Donc tu vois typiquement nous on discute bcp avec les promoteurs car ils veulent intégrer ces boucles là dans leur modèles. Donc eux, il veulent à la fois prescrire sur leurs chantiers la fossilisation et prescrire dans les matériaux de construction les matières fossilisées. Pour essayer de créer ces boucles locales finalement.

- Okay, prenons l'exemple d'un grand chantier où il y a une centrale à béton dessus, est-ce qu'il serait possible de mettre un fossilisateur sur ce chantier pour que lorsqu'on démolit, on récupère une partie des DIB, qu'on les fossilise sur site et qu'ensuite on les retransforme direct ? Sur une boucle en in situ sur chantier.

- Oui c'était vraiment le modèle qu'on cherchait à faire au début, dans la théorie ça marcherait bien sur des site où y'a de la démolition forcément parce que tu génères les déchets. Mais par contre, logistiquement c'est pas pratique. Economiquement aussi, ça ne vaut pas le coup. Ça ne vaut pas le coup sur le côté recyclage dont je te parlais parce que finalement le passage au centre de tri, il te valorise une grosse partie de la matière pour du recyclage brut alors que le tri sur chantier sera pas capable de faire autant. Donc on a abandonné cette idée.

- D'accord. Et par rapport aux architectes comment ça se passe,

parce que tu me parles de promoteurs mais moi même je me questionne sur le rôle de l'architecte et sur ses champs d'action sur les matériaux dans les projets. C'est vrai que pour l'écriture de mon mémoire, malheureusement je manque un peu de données techniques, est-ce que vous avez des discussions avec les architectes et est ce que ce sont des acteurs que vous allez chercher pour leur montrer et leur présenter votre technologie ?

- Les architectes on les touche un peu du doigt mais pas vraiment. Je dirais que le périmètre qu'on touche le plus large ce sont les promoteurs. Les architectes, il y en a quelques uns qui viennent nous voir parce que ça les intéresse et qu'ils veulent comprendre comment ça marche. Mais déjà les promoteurs en théorie dans le marché sont très loin de moi vu que moi je suis équipementier. Mais je vais jusqu'au promoteur parce que je considère que c'est eux qui tirent le marché dans la bonne direction. Mais j'avoue que si on pouvait aller jusqu'aux architectes ce serait encore mieux. Mais souvent ils sont encore plus éloignés de la réalité des technologies employées.

- Et concernant les autres clients à part les promoteurs comme la maîtrise d'ouvrage public etc ?

- Les clients publics, oui on essaye de rayonner pas mal sur eux. Tout ce qui est métropole. Car eux il y a cette problématique d'architecture durable et une problématique sur les ordures ménagères qui est une grosse compétence métropole, la "compétence déchet", donc tu leur montres des boucles qui leur font extrêmement plaisir.

- D'accord. Parce que j'imagine en plus que les centres de tri dépendent de la métropole ?

- Ça dépend de quel déchet. Les centres de tri par exemple, sur les déchets de chantier, ils dépendent de privés. Et tout ce qui va être reflux de poubelles jaunes ou noires, là c'est totalement public. C'est ça notre modèle économique, car c'est le gros de notre marché. Nous en 2023, le but c'est d'avoir un fossilisateur qui traite de l'ordure ménagère en totalité. On y arrive...

- Et est-ce que vous avez présenté votre technologie à des salons, des rencontres ?

- On fait pas mal de salons. On a fait quelques salons accès 'startup', des salons 'déchets', on a pas fait vraiment de salon 'ville durable'.

- Est-ce que vous avez déjà eu la possibilité d'aller sur des chantiers où les granulats anthropocènes de votre technologie étaient utilisés ?

- Oui, on a fait un premier chantier sur une maison qui s'appelle "concept empreinte", une maison à côté de chez nous à Angers, où le constructeur a associé tout un tas de nouvelles technologies. Donc il y avait nous, Circouleur, aussi de l'impression 3D d'isolant. Il y avait 5 ou 6 innovations dans le système. Donc on avait fait les fondations de cette maison.

- Donc du coup les granulats que vous avez à la sortie de la machine, ils ont quelles granulométrie ?

- C'est au choix, on ne saura pas faire le sable mais on saura faire 6/10 soit 6/20 soit 6/30. Des 1/5 enfin tout ce que tu veux.

- Et sur ce chantier, la maison est maintenant habitée ?

- Oui, c'est une maison qui va être vendue, donc c'est une maison aussi qui sert de vitrine pour montrer qu'on peut tout faire et qu'il faut juste se lancer. Parce que c'est le genre de truc qu'on attendrait d'un Eiffage ou d'un Vinci, mais c'est un petit local qui le fait parce qu'il en a marre de ne pas avancer.

- Vous avez mis combien de temps pour développer cette technologie ?

- On a lancé la société en 2019, on était encore à l'école. On s'est embauché en 2020 et on a commencé à embaucher en 2020. Maintenant on a la techno et on est 33 dans la boîte. Donc en un peu moins de 2 ans.

- Comment saviez vous que cette technologie allait marcher ?

- Tu sais pas, tu en es convaincu mais il y a des jours où tu doutes quand même très fortement. Après il faut essayer de convaincre des investisseurs, même eux savent qu'il y a de grandes chances que ça ne marche pas.

- Est-ce que vous avez fait des tests à petites échelles avec votre père avant ou vous avez directement prototypé cette grande machine ?

- Ah non non, forcément tu commences à petites échelles, en labo etc. Mais même l'échelle labo coûte un peu d'argent donc dans tous les cas il faut en chercher avant même d'avoir quoi que ce soit.

- Okay, est-ce que votre processus pourrait être répliquable à l'infini ? Si on casse votre dalle de béton qui a été faite à partir de granulats anthropocènes ?

- Tu as pas besoin nécessairement de le replacer dans le processus mais tu peux juste le réutiliser en temps que gravats pour le coup. Là, tu casses mon granulats, tu as d'autres granulats. Donc c'est mieux que si tu devais le repasser dans

la machine.

- Oui vu qu'il a été chargé minéralement, on va dire qu'il reste minéral le reste de sa vie. Du coup comment gérer la partie concernant la poudre de plastique car elle peut être considérée comme un déchet en soi ?

- Le problème c'est que tu arriveras jamais à désolidariser le plastique du reste des autres déchets c'est surtout ça en fait. C'est pour ça que c'est un refus de tri qu'on récupère car après tu peux plus trier donc tu as un condensé de pleins d'éléments et de composants différents indissociables. Le problème c'est que c'est ce mélange qui pollue tout le reste.

- Okay.

- Je suis désolé, il va falloir que je te laisse. Si tu as d'autres questions hésite pas par mail.

- Oui, je pense que je vais essayer de reprendre tout ce que je raconte dans mon mémoire et je vais voir comment je peux câbler ça avec ce que vous faites et je suis sûre que j'aurai d'autres questions.

- Merci !

- Merci beaucoup en tout cas et à bientôt peut être, bonne soirée.

- Bonne soirée à toi aussi.

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

*Tu gravas les gravats
de cet hideux mot grave à dire.
De plus, ton cas tu aggravas,
car tu refusais de sourire.
Ma voix grave a lancé son ire :
« Va ! Bouffi, toi à l'air gras, va ! »*

Hugo, V. (1877). *L'art d'être grand père.*

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR



ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

GRAVE-ACTE ! LA RÉVERSIBILITÉ DES GRAVATS DE DÉMOLITION

ELOÏSE MÉMOIRE DE MASTER - SOUTENU LE 9 JUIN 2022 - SOUS LA DIRECTION DE GÉRALDINE GINESTET
VAN STEENKISTE MÉMOIRE MENTION RECHERCHE - SOUTENU LE 24 JANVIER 2023 - SOUS LA DIRECTION D'ALINE BARLET
SÉMINAIRE 'ARCHITECTURE, INGÉNIERIE, ENVIRONNEMENT ET VILLE DURABLE'
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE ET DE PAYSAGE DE BORDEAUX