



HAL
open science

Les matériaux de l'architecte : vers la requalification d'un savoir-faire

Flavien Marteau

► **To cite this version:**

Flavien Marteau. Les matériaux de l'architecte : vers la requalification d'un savoir-faire. Architecture, aménagement de l'espace. 2016. dumas-01804169

HAL Id: dumas-01804169

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01804169v1>

Submitted on 31 May 2018

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.

Copyright

Mémoire de séminaire : conditions de consultation

Ce document est protégé par le droit d'auteur (art. L. 112-1 du Code de la propriété intellectuelle).

L'auteur du document accorde les droits d'usages suivant :

	OUI	NON
Consultation sur place	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Impression	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diffusion Intranet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diffusion Internet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exposition	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Publication non commerciale	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE
DE TOULOUSE**

Mémoire de recherche
Environnement, paysage, architecture

Cycle master

LES MATERIAUX ET L'ARCHITECTE

Vers la requalification d'un savoir-faire

Flavien Marteau

Sous la direction de : Madame Catherine Aventin

Juin 2016

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

Etudiant : Marteau Flavien

Directrice d'étude : Mme Aventin Catherine

Titre mémoire :

LES MATERIAUX ET L'ARCHITECTE,
Vers la requalification d'un savoir-faire.

Mots clés :

- Matériaux de construction – Réemploi – Modularité – Crise écologique –
- Ressources – Recyclage – Démontabilité – Matériaux biosourcés –
- Matière première – Architecte – Cradle to Cradle –

Résumé français :

Ce mémoire de recherche a été élaboré dans l'optique d'abord les contraintes auxquelles l'architecte doit faire face actuellement dans son travail. Je traiterai ainsi de la crise de la matière et des différents enjeux économiques et écologiques qui guettent le développement des matériaux de construction. Face à des contraintes écologiques de plus en plus pesantes et une gestion des déchets toujours plus préoccupante, les matériaux de construction représentent, aujourd'hui, l'un des principaux facteurs qui influencera l'élaboration de nos futures constructions. Cette situation favorise l'émergence de nouvelles philosophies constructives, développées autour de matériaux considérés comme renouvelables et durables. Au cœur de cet élan d'innovation, l'architecte voit son influence et son savoir-faire bouleversés par ces nouvelles méthodes. Il reste, toutefois, maître de son avenir et doit profiter de ce mouvement pour se renouveler.

Résumé anglais :

This dissertation was developed with the aim to approach the constraints which the architect is currently facing in his work. I will deal with the material's crisis and with the various economic and ecological challenges that threaten the development of building materials. In front of more and more heavy ecological constraints and management of increasingly worrying waste, building materials represent today one of the main factors which is going to influence the development of our future constructions. This situation encourages the emergence of new constructive philosophies, developed around materials considered as renewable and sustainable. In the middle of this moose of innovation, the architect sees his influence and his knowledge upset by these new methods. However, he stays the master of his future and has to take advantage of this movement to renew himself.

Remerciements :

En prélude de ce mémoire, je souhaiterais exprimer ma gratitude et mes remerciements tout particulier à ma directrice d'étude Mme Catherine Aventin. Par son implication, son aide et ses conseils tout au long du développement de cette étude, elle m'a guidé et permis de réaliser ce travail de recherche.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

SOMMAIRE

1. TOUT VIENT DE LA TERRE.....	8
1.1 L'INFLUENCE DANOISE	8
1.2 TOUT EST UNE QUESTION DE MATIERE.....	9
1.3 ENTRE PASSE ET AVENIR : LE PRESENT.....	10
2. LES ORIGINES D'UNE CRISE.....	12
2.1 L'HOMME PRE-ECOLOGIQUE	12
2.2 LE RAPPORT DUAL ENTRE HOMME ET NATURE	15
2.3 QUAND L'HOMME EXPLOITE LA NATURE.....	19
3. SAUVONS LA MATIERE.....	23
3.1 UNE CRISE DE LA MATIERE.....	23
3.2 LA CONSTRUCTION FACE AUX DOUTES.....	27
3.3 L'ARCHITECTE MAITRE DE LA MATIERE GRISE.....	32
4. RESTAURER LA MATIERE GRISE.....	36
4.1 L'HERITAGE DU PASSE.....	36
4.2 EXPLORER LE POSSIBLE IGNORE.....	45
4.3 « CRADLE TO CRADLE ».....	54
5. ... ET TOUT Y RETOURNE	65
TABLE DES MATIERES.....	72
INDEX DES FIGURES	74
INDEX DES REFERENCES.....	76
BIBLIOGRAPHIE.....	78
ANNEXES	80

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

1. TOUT VIENT DE LA TERRE...

La notion d'habiter un lieu ou un espace symbolise une problématique intemporelle à laquelle l'Homme est perpétuellement confronté au cours de son histoire. Pour pouvoir habiter, il se retrouve dans l'obligation d'interagir de façon plus ou moins directe et brutale sur la Nature qui compose son environnement. Afin de rendre un espace habitable, il doit alors procéder à une multitude de changements sur l'organisation initiale du territoire. Ces modifications se déclinent suivant les époques, les modes de vie, les croyances ou tout simplement par rapport à ses différents besoins. Dans cette évolution, l'action humaine s'effectue à deux vitesses. Tout d'abord, par la requalification d'espaces naturels en zones urbanisées, l'Homme impose alors son empreinte en gagnant du terrain sur la Nature afin d'assouvir un besoin d'expansion toujours plus important. Une fois l'appropriation de ces terres effectuée, il puise à nouveau dans la Nature pour trouver les matériaux qui lui permettra de confectionner son habitat. Bien qu'il la détruise peu à peu, il a fait de la Nature son unique ressource lui permettant de survivre et de se développer. Ce constat met alors en lumière le fait que l'Homme a un besoin vital de la Nature pour survivre et perdurer. Toutefois si cette affirmation est irréfutable dans ce sens, il n'est pas certain que la réciproque soit la même. Cela nous amène donc à avoir une réflexion plus générale sur la relation que doit entretenir l'Homme vis-à-vis de la Nature lorsqu'il développe son habitat. C'est en gardant cette réflexion à l'esprit que j'ai souhaité aborder ce travail de recherche.

1.1 L'INFLUENCE DANOISE

Au travers de ce mémoire, je souhaite, avant tout, poursuivre un travail d'investigation commencé il y a deux ans, lors de ma précédente formation au Danemark. Sortant de deux années d'études dans le domaine du génie civil en France, ma poursuite d'étude dans le nord de l'Europe devait me permettre d'approcher le métier d'architecte en réalisant un « *bachelor degree* » en architecture et management de la construction. Cette formation, basée avant tout sur le rôle de maître d'œuvre de l'architecte, m'a réellement permis de prendre conscience des possibilités et du pouvoir de décision que possède l'architecte dans son travail. En parallèle de ce côté technique brut, j'ai eu la possibilité de découvrir une nouvelle façon d'aborder et d'intégrer les questions liées à l'écologie et au développement durable au cœur du projet architectural. Cette forte influence écologique que l'on retrouve dans l'architecture nordique m'a alors incité à me pencher davantage sur cette question et sur les bénéfices que peut en tirer l'architecte dans son travail.

En élaborant une réflexion écologique dès les premières esquisses, les pays nordiques ont fait des préoccupations environnementales un élément moteur du projet architectural. On retrouve ainsi cette forte empreinte au cœur de chacune des phases du projet. Cela se matérialise, par exemple, par une importante réflexion sur l'implantation et l'orientation du bâtiment. Les rayons du soleil pouvant se faire très rare en hiver, cette question devient alors primordiale pour favoriser une bonne intégration et une bonne gestion des consommations énergétiques de l'édifice. Cette réflexion écologique va bien plus loin lorsqu'il s'agit de choisir les matériaux utilisés pour construire le bâtiment. Analyse du cycle de vie des matériaux ou étude de leurs caractéristiques énergétiques, rien n'est laissé au hasard pour rendre le bâtiment le plus écologique et durable possible.

Influencé par cette forte idéologie écologique, j'avais entrepris, à l'époque, une première étude sur l'évolution des matériaux de construction au travers des époques. Aujourd'hui, je souhaite inscrire ce nouveau travail de recherche dans la lignée de mes précédents travaux. Les enjeux liés aux matériaux de construction sont tels, qu'ils obligent de plus en plus les architectes à reconsidérer leurs savoir-faire dans le domaine de la construction. J'aspire ainsi à poursuivre une réflexion sur ce thème qui sera, je pense l'une des principales préoccupations avec laquelle l'architecte devra composer dans le futur.

1.2 TOUT EST UNE QUESTION DE MATIERE

Ce mémoire de recherche se développera donc suivant trois grands axes de réflexions : les préoccupations environnementales, la gestion des matériaux de construction et enfin le rôle que peut avoir l'architecte face à ces problématiques. Ces trois pistes représentent actuellement les grands enjeux qui entourent le monde de la construction et son avenir. Tout au long de cette étude, je vais donc essayer d'analyser et de comprendre ces enjeux dans l'optique de confronter ensuite différentes hypothèses de recherche avec des travaux innovants initiés par des architectes.

Il sera principalement question des préoccupations environnementales auxquelles notre monde est actuellement confronté. Dans une époque où l'activité humaine impacte jour après jour un peu plus son environnement, nous sommes les premiers héritiers des dommages collatéraux causés par l'activité des générations passées. Si des réflexions concrètes sont en train d'émerger pour essayer de combattre le réchauffement planétaire, ces actions passées ont également des impacts directs sur la façon dont nous bâtissons notre future. Sur ce sujet, plusieurs questions seront abordées :

- Comment et pourquoi en sommes-nous arrivés là ?
- En quoi notre modèle de développement est-il préjudiciable pour notre avenir ?
- Quelles sont les répercussions directes sur notre façon d'habiter et de construire ?

Le second axe de réflexion concerne la gestion des matériaux de construction. Véritable point de discorde, les matériaux de construction se retrouvent aujourd'hui au centre des plus grandes préoccupations dans le monde du bâtiment. Le constat est simple : pour construire il faut des matériaux, pour produire ces matériaux, il faut de la matière et beaucoup d'énergie. Si ces deux dernières ressources viennent à manquer, on se retrouve face à un problème de taille, une montagne de matériaux élaborés sans véritable plan de gestion pour l'avenir et une multitude de questions :

- Pourquoi devons-nous faire face à une crise de la matière ?
- Pourquoi est-il primordial de reconsidérer nos méthodes de production ?
- Existe-t-il des solutions alternatives pour le futur ?

Si les deux premiers axes de recherche sont davantage portés sur la Nature et les ressources qu'elle peut produire, la dernière piste de réflexion se recentre sur l'élément, qui, par son évolution et ses conquêtes, est venu bousculer le cours des choses : l'humain. Bien que nous soyons tous un peu acteur dans l'élaboration de notre monde et de l'avenir que nous souhaitons lui donner, une personne plus qu'une autre peut interférer sur notre futur par son travail et ses choix : l'architecte.

Bien entendu, en affirmant cela je n'éleve pas l'architecte au rang de super héros des temps modernes, capable de nous guider vers un avenir resplendissant. Toutefois je souhaite apporter une réflexion sur un métier qui fait partie de l'un des secteurs d'activité les plus concernés par les préoccupations environnementales. Dans une époque où la place de l'architecte est souvent remise en question, il devient important, à mon sens, de révolutionner de fond en comble ce métier pour lui redonner ses lettres de noblesses et une meilleure visibilité vis-à-vis du grand public. Là encore, cette réflexion sera guidée par différentes interrogations sur la nécessité de reconsidérer l'usage de la matière grise :

- Pourquoi l'architecte se doit d'évoluer dans un secteur en constante mutation et qui ne l'attendra pas?
- Quels impacts réels peut-il avoir sur les préoccupations environnementales ?
- Comment l'architecte peut-il insuffler un souffle nouveau sur la construction ?

1.3 ENTRE PASSE ET AVENIR : LE PRESENT

« *Ce n'est qu'avec le passé que l'on fait l'avenir* »¹, telle pourrait être la devise de ma démarche de recherche. En réalisant cette étude, je souhaite donner une place importante à la temporalité et aux répercussions intergénérationnelles de nos actes. Afin de mener à bien cette recherche, ce mémoire sera décomposé en trois parties principales. Au fil de ces parties mes méthodes d'investigations seront différentes. La première partie confrontera principalement les analyses de lectures que j'ai pu faire sur les sujets abordés. Au cours de la seconde partie, j'illustrerai davantage mes propos avec des données et statistiques relevés par les services compétents de l'Etat. Enfin la dernière partie sera consacrée à un travail sur site, avec éventuellement une rencontre avec des architectes qui innovent et proposent des solutions alternatives dans la conduite de leurs projets.

L'étude débutera, tout d'abord, par un regard porté sur notre passé pour tenter de comprendre et de déchiffrer l'évolution de notre civilisation. Cette partie sera essentiellement basée sur une confrontation de différents textes scientifiques, proposant des explications relatives à la naissance de notre crise écologique. Avec cette première analyse, je souhaite aussi m'intéresser à notre façon d'habiter à une époque où la crise écologique ne faisait pas encore partie de nos mœurs et où l'Homme réussissait à cohabiter avec la Nature. Cette réflexion me mènera alors au développement d'une première hypothèse de recherche :

- Est-il possible de transposer les techniques anciennes de construction au cœur de nos projets actuels ?

S'il n'est évidemment pas question ici de délaisser notre monde moderne pour retourner à une époque préhistorique, je souhaite interroger les principes de base définissant les constructions de l'époque comme l'économie de ressources, l'utilisation exclusive de matériaux issus du monde végétal ou minéral et la possibilité de concevoir un édifice suivant une stratégie de déconstruction et de réemploi.

¹ ANATOLE FRANCE – (1885) « *Le livre de mon ami* »

La seconde partie de mon exposé abordera l'héritage que nous avons reçu de ce temps passé. Il sera alors question de notre monde actuel et des répercussions que nous subissons aujourd'hui. Les propos se recentreront sur l'un des secteurs au centre de cette nouvelle problématique environnementale : la construction. Au cœur de ce domaine, je m'intéresserai particulièrement à la question de la production et de la gestion des matériaux de construction. Afin de compléter mon raisonnement, j'appuierai mon exposé avec des données techniques sous formes de diagramme, statistique etc.

Ce paragraphe me permettra d'introduire deux autres hypothèses de recherche. La première vise à aborder la question liée à la gestion des déchets et à la fin de vie des matériaux ou des objets qui ont été conçus sans véritable stratégie d'avenir. Bien souvent dépassé par les nouvelles méthodes de production, que l'Homme a lui-même développé, cette partie permettra de remettre la réflexion humaine et la matière grise au centre du débat.

- Comment l'architecte peut-il donner une nouvelle vie à des matériaux en fin de vie ?

La dernière hypothèse me permet d'apporter une réflexion plus générale sur l'ensemble des éléments abordés dans les deux premières parties. Elle me donne également la possibilité d'ouvrir un débat qui vient prolonger les différents constats et conclusions qui seront établis tout au long de ce mémoire.

- Pouvons-nous envisager d'intégrer la Nature au centre de nos processus de fabrication ?

La dernière partie de ce mémoire sera consacrée à l'analyse de trois études de cas présentant chacune une application, plus ou moins avancée des hypothèses précédemment énoncées. Par ailleurs, comme le domaine de la construction et de l'architecture ne relève pas seulement de la simple construction neuve de bâtiments, j'ai souhaité que ces projets présentent des solutions constructives à différentes échelles et répondant à des contraintes variées. Ainsi, dans un premier temps : les bureaux Joliot-Curie au Havre, seront analysés pour leur capacité à employer essentiellement des matériaux biosourcés et pour leur conception modulaires à l'échelle d'un bâtiment entier. Le second cas d'étude ; le siège administratif et pôle éducatif de Bil ta Garbi à Bayonne, propose une solution ingénieuse de réemploi de matériaux à l'échelle d'un dispositif architectural. Enfin, la dernière étude nous emmènera à l'échelle du matériau et de la matière avec l'analyse du concept de Cradle to Cradle. Au sein de ces analyses, je présenterai d'abord les principes constructifs et les différentes idées approchées au cœur de chaque projet. Par la suite, je m'intéresserai à leur mise en œuvre et à leurs aspects en général ainsi qu'à la contribution apportée par l'architecte dans leur élaboration. Enfin, l'étude de chaque cas aboutira à une présentation des points forts et des faiblesses liée à ces principes alternatifs. D'un point de vue général, cette démarche doit me permettre d'approcher des éléments de réflexion afin de répondre à la problématique suivante :

En quoi les enjeux liés aux matériaux de construction peuvent-ils participer à la requalification du savoir-faire de l'architecte ?

2. LES ORIGINES D'UNE CRISE

L'art de construire résulte de l'assemblage de différents matériaux, suivant des techniques de construction appropriées et qui a pour but de produire un édifice. Exploiter et maîtriser cet art nécessite avant tout de la matière grise, c'est-à-dire des connaissances bien spécifiques tant sur le lieu, que l'on souhaite investir, que sur les méthodes à employer pour combiner les éléments entre eux. La production de tels édifices avait pour objectif initial de satisfaire les besoins vitaux des Hommes. Par la suite, ce savoir-faire s'est développé et s'est enrichi au rythme de l'évolution humaine et de ses différents modes de vie.

2.1 L'HOMME PRE-ÉCOLOGIQUE

2.1.1 Branchages et pierres

Les premières constructions, érigées du temps de l'homme préhistorique, se limitaient à la réalisation de simples abris/huttes (Fig.1) pouvant apporter sécurité et protection à ses habitants. Ces derniers étant nomades, ces abris étaient temporaires, ils n'avaient donc pas pour vocation de perdurer dans le temps une fois que la tribu avait déserté les lieux. Dans cette optique, les bâtisseurs de l'époque, qui étaient également les occupants du lieu, assemblaient des matériaux trouvés sur place, comme des branchages ou des pierres dans l'optique de pouvoir désassembler facilement l'édifice lors de leur départ. Avec cette stratégie de construction, l'Homme n'impactait pas l'environnement dans lequel il évoluait, les matériaux empruntés à la terre n'étaient pas transformés et pouvaient retrouver leurs places dans la nature après utilisation. Par ailleurs, ces mêmes matériaux utilisés une fois, pouvaient être réutilisés pour une autre chose ou pour la construction d'un nouvel abri dans l'optique d'un futur passage de la tribu.

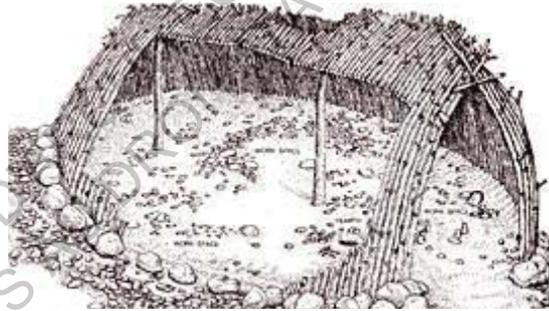


Fig. 1 : Premiers abris/huttes.

Le passage de la préhistoire au néolithique va être le symbole d'un changement majeur dans la façon de vivre des populations. Délaissant peu à peu ses traditions de chasseur/cueilleur, l'Homme se met alors à cultiver les terres et à élever son propre bétail, c'est le début de l'agriculture mais aussi de la sédentarisation des populations.

« La maison, toujours faite par l'habitant, s'était agrandie ; elle avait perdu sa portabilité devenue inutile ; elle s'ajuste à ses voisines et, de circulaire, devint quadrangulaire, d'abord par son organisation interne, puis par ses liaisons extérieures »².

Avec l'abandon du nomadisme, c'est toute une société qui commence à s'organiser sur un territoire donné. L'Homme ne cherche plus à bouger, il veut s'inscrire dans la durée sur un même territoire et cela lui est rendu possible avec l'instauration notamment du droit à la propriété.

² PATRICK PEREZ – « 50 000 ans de maisons pour rien » - (2014) Matière grise. Matériaux / réemploi / architecture – p 23

2.1.2 Les prémisses du vernaculaire

Ce nouveau mode de vie entraîne inévitablement l'apparition de nouvelles pratiques au sein de la société. Si l'agriculture nécessite la maîtrise de l'eau avec l'irrigation, la sédentarisation impose aux hommes de développer des nouvelles façons d'habiter l'espace, c'est la naissance de l'architecture vernaculaire.

À cette époque, les matériaux de construction sont généralement issus des ressources minérales ou naturelles, (Fig.4). Par conséquent, de nouveaux métiers, permettant de se spécialiser dans l'élaboration de ces matériaux accompagnent alors l'émergence de cette architecture. Les métiers liés au travail de la pierre, du bois ou encore de la terre apparaissent ainsi comme les moteurs ayant impulsés la transformation des huttes en de véritables habitats stables et durables. En parallèle de cette maîtrise des éléments primaires, les techniques de constructions évoluent également pour permettre d'améliorer la solidité et la pérennité des nouveaux habitats.

Ces nouvelles pratiques et connaissances constructives sont toutefois développées en fonction du lieu où on se situe et des différents matériaux que l'on peut retrouver sur place. « *Est vernaculaire, ce qui est engendré par et dans la maison, donc absolument territorialisé et faiblement lié à l'espace marchand. Le vernaculaire, c'est ce qui s'invente et se transmet localement [...] Il est un produit de l'espace et non du temps [...] Il prône l'économie de la ressource...* »³.

On retrouve ainsi une forte concentration de constructions en bois dans une grande partie des pays nordiques et des régions tropicales, tandis que les pays d'Afrique, d'Asie centrale ou encore d'Amérique du Sud placent la terre comme le matériau de base de ses habitations. Enfin, les grandes civilisations d'Europe occidentale imposeront la pierre pour la majorité de leurs édifices, une ressource facilement exploitable et à la symbolique forte, comme pour marquer leur volonté de puissance et de domination sur l'échiquier mondial.

L'architecture vernaculaire s'impose alors peu à peu comme une solution viable et efficace pouvant combiner économie de la forme, de la matière mais aussi des énergies. Toutefois, cette architecture a ses limites : « *N'offrant de solutions que dans un contexte territorialisé, l'architecture vernaculaire ne peut servir pour autant de simple réservoir technologique, sorte de catalogue de solutions constructives éprouvées, exportables en tous lieux et toute circonstances* »⁴.

Dans sa quête d'évolution et de développement, l'Homme se doit alors de diversifier et perfectionner ses techniques de mise en œuvre s'il souhaite continuer à employer de tels matériaux naturels. Cette recherche d'évolution est également dictée par la nécessité d'édifier des bâtiments toujours plus grands, plus résistants et capables de s'inscrire dans le temps. Si jusqu'alors les matériaux étaient assemblés selon des méthodes dites « sèches » et sans altérer leurs compositions (simple taille pour le bois et la pierre, compactage et séchage pour la terre) la découverte réalisée par les Mésopotamiens au cours de l'Antiquité va changer la donne.

³ Idem – p 25

⁴ Idem – p 27

2.1.3 Innovations et découvertes

La possibilité de mélanger différents éléments dans le but d'obtenir un matériau plus dur et résistant est apparue vers la fin de l'ère préhistorique. Ainsi, les murs des dernières maisons de cette ère étaient réalisés à l'aide de branches assemblées par clayonnage, technique illustrée sur la Fig.2, que l'on recouvrait avec un mélange de torchis et d'argile afin d'obtenir le résultat présenté sur l'image Fig.3. Ce mélange rendait la maison étanche tout en permettant de protéger efficacement ses occupants.

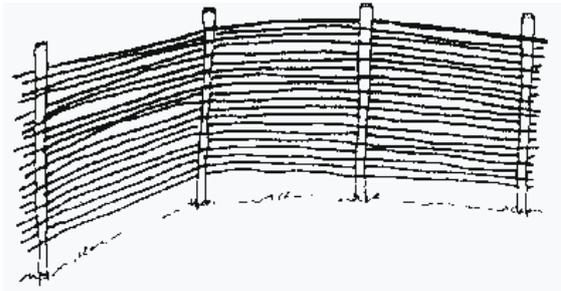


Fig. 2 : Technique de mur en clayonnage.



Fig. 3 : Maisons - fin de la Préhistoire.

Ces premières réalisations marquent le début de l'impact que l'Homme va avoir sur sa façon de construire. Sa volonté de faire évoluer son habitat passe inévitablement par une transformation de la matière avec laquelle il construit. Dans ce domaine, les Mésopotamiens vont être les premiers à réellement aborder ce sujet. Habités à travailler la terre et conscients de la qualité présente dans les briques de terre crues compactées, ces derniers innovèrent en incorporant la cuisson au processus de fabrication de ces briques. Ce procédé de transformation non naturelle de la matière engendrera une augmentation de leur résistance et de leur dureté. Le résultat est un succès et les briques en terre cuite s'imposeront comme un matériau phare dans le domaine de la construction.

Cette étape traduit un important tournant dans notre façon de construire. En intégrant la cuisson au processus de transformation de la matière, on change les propriétés naturelles de la matière en induisant une stabilisation irréversible du matériau. La brique, ainsi créée ne peut plus retrouver sa forme initiale. Ce changement dans le cycle de vie de la matière n'est pas anodin et marque une première révolution dans l'élaboration des matériaux de construction. De plus, et contrairement aux autres matériaux traditionnels, cette nouvelle brique nécessite un liant pour être assemblée avec d'autres éléments. Cette obligation entrainera de nouvelles expérimentations pour trouver le liant adéquat. Ainsi, alors que les mésopotamiens utiliseront du bitume, les Romains réaliseront, eux, des mélanges de chaux avec de la pouzzolane, par exemple.

Cette découverte servira de point de départ à l'ingénieur français Louis Vicat, qui mènera, au début du XIX^e siècle une étude sur la composition artificielle des briques. Ses recherches déboucheront sur l'invention du ciment artificiel, qui sera repris et breveté en 1824 par l'anglais Joseph Aspin. Aujourd'hui, il représente l'un des matériaux les plus utilisés dans le domaine de la construction. En modifiant les caractéristiques propres de la matière qu'il utilise, l'Homme ouvre la voie au recours à l'énergie pour satisfaire ses besoins d'évoluer. Si ce geste peut sembler innocent et sans grande conséquence à l'époque, il induit néanmoins un procédé qui sera largement reproduit à des échelles bien plus importante au début du XX^e siècle.

Ce changement a également un impact sur les matériaux primaires utilisés dans le domaine de la construction, (Fig.4). On peut observer un franc changement de direction à l'aube du XX^e siècle avec l'abandon des matériaux traditionnels ceux issus de la filière pétrochimique et industrielle.



Fig. 4 : Représentation schématique des matériaux utilisés au cours du temps.

Le choix d'opter pour des matériaux de construction nécessitant une importante dépense d'énergie, lors de la production, a placé notre société dans une nouvelle ère. Une ère de modernité, mais surtout une ère d'incertitude, de dégradation écologique ou encore de gaspillage énergétique, mais nous y reviendrons plus tard dans ce mémoire. Si on peut expliquer ce tournant par la simple ambition d'une société de se développer en bénéficiant des innovations et des opportunités que lui offre son époque, on peut trouver une autre explication dans l'histoire de notre civilisation. Le rapport dual entre l'Homme et la Nature est ainsi plusieurs fois pointé du doigt comme pouvant être l'une des raisons qui nous a poussés à agir de la sorte.

2.2 LE RAPPORT DUAL ENTRE HOMME ET NATURE

Dans son évolution, l'Homme a constamment eu à agir avec un élément omniprésent : la Nature. Qu'importe les époques, ce rapport dual est au centre de bien des préoccupations, religions ou autres idéologies. Si la Nature n'a pas besoin de l'Homme pour exister, la réciproque n'est pas forcément juste, l'Homme est même totalement dépendant de la Nature pour pouvoir survivre. Si les premiers hommes ont conscience de ce constat et vivent en respectant la Nature, l'évolution va faire changer les mentalités et le rapport de force.

Au cours de cette partie, je vais me baser sur le texte « *The historical roots of our ecological crisis* »⁵, de l'historien américain Lynn White Jr. Ce texte retrace l'évolution de la relation entre l'Homme et la Nature et propose une explication rationnelle dénonçant l'exploitation de la Nature par l'Homme pour satisfaire ses

⁵ LYNN WHITE JR. (1967) *The Historical Roots of Our Ecologic Crisis*, Science, vol. 155 (n° 3767), pp. 1203-1207 - Trad. personnelle : « *Les racines historiques de notre crise écologique* »

besoins. Plaçant cette relation comme la cause de notre crise écologique actuelle, je souhaite confronter cette vision passée avec le travail réalisé par le jardinier et paysagiste français Gilles Clément, pour qui cette relation ne doit pas être un frein mais un véritable moteur de l'évolution humaine.

2.2.1 *L'Homme face à la Nature*

Avec sa thèse engagée et reconnue de 1967, Lynn White Jr. place le rapport dual et hiérarchique entre l'Homme et la Nature comme le point de départ de notre crise écologique actuelle. Par ce constat, il nous invite à questionner à nouveau la relation que l'Homme entretient avec l'environnement qu'il occupe. Si les concepts liés à l'anthropocentrisme ou à la vision biocentrique de la vie ont fait quelques adeptes, c'est avant tout l'interaction entre ces deux parties qui restent encore aujourd'hui l'un des principaux débats de notre société actuelle.

Au fil de sa réflexion, Lynn White Jr, nous plonge au cœur de la période médiévale, une époque qui va voir apparaître les prémises d'un changement radical dans la relation que l'Homme entretient avec la Nature. À cette époque, l'agriculture représente le principal secteur d'activité dans la société. La mécanisation des engins de récolte n'ayant pas encore pris le pas sur le travail manuel, le travail de la terre est alors réalisé à l'aide de charrues tirées par des bœufs. Chaque paysan cultive son bout de terrain dans l'unique but de répondre aux besoins alimentaires de sa famille, sans démesure et sans dégradation excessive des terres. Cette façon de travailler marque ainsi un certain respect entre l'Homme et la terre qu'il exploite pour sa propre existence. À l'époque, les Chrétiens vivant en ville n'hésiteront pas à assimiler cette connivence à une certaine forme d'animisme païen de la société paysanne. Trouvant ses origines dans l'Antiquité, cette croyance attribue à chaque être vivant ou éléments naturels un être spirituel ou une âme analogue à l'âme humaine. Par conséquent, il représente une sorte de barrière naturelle qui protège la Nature d'éventuel débordement initiés par l'activité humaine.

En établissant un rapprochement entre les croyances païennes et la façon de vivre des paysans de l'époque, White introduit la religion comme l'instigatrice de notre façon d'agir en interaction avec la nature. « *What people do about their ecology depends on what they think about themselves in relation to things around them. Human ecology is deeply conditioned by beliefs about our nature and destiny – that is, by religion.* »⁶. Par ce constat, White suggère que l'Homme est profondément conditionné par ses croyances et que cela se répercute directement sur sa façon de vivre et son avenir.

Cette idée illustre parfaitement le travail engagé du paysagiste Gilles Clément. Dans le monde actuel où la Nature perd jour après jour sa place au sein de notre société, il n'hésite pas à défendre ses croyances en les mettant en place au sein de ses projets. Il apporte ainsi une réflexion sur l'interaction que l'Homme doit avoir avec le milieu naturel. « *Le rôle de l'homme dans son environnement est de comprendre comment celui-ci fonctionne, afin de continuer à faire qu'il fonctionne. L'homme n'étant qu'une des espèces au sein de l'immense diversité de la nature, il ne doit pas*

⁶ Idem – Trad. personnelle : « Ce que les gens font de leur écologie dépend de ce qu'ils pensent d'eux-mêmes par rapport aux choses qui les entourent. L'écologie humaine est profondément conditionnée par les croyances au sujet de notre nature et de la destinée - donc par la religion » – p 1205

s'imaginer qu'il peut se contenter d'exploiter cette diversité sans détruire les mécanismes d'interaction entre les différentes formes de vie sur la planète. »⁷. Pour Clément, l'Homme fait partie de la nature et il se doit d'agir dans son intérêt afin de veiller à ce que celle-ci puisse perpétuellement se renouveler et exister. Ainsi dans sa réflexion, il « [...] *ne sépare pas les humains du reste de l'écosystème* »⁸. C'est pourtant cette séparation, introduite par l'émergence des différentes croyances et religions au cours des époques, que White va pointer du doigt dans son étude.

2.2.2 *L'héritage des croyances judéo-chrétienne*

Le Moyen-Âge est notamment marqué par l'éclosion de la vision judéo-chrétienne dans le monde occidental. Ces religions, basées sur des croyances monothéistes, aspirent à une conception linéaire et non répétitive du temps. Elles se détachent ainsi radicalement des anciennes croyances gréco-romaines et païennes en établissant une séparation franche entre l'Homme et la Nature. Ainsi, ses enseignements visent à définir l'Homme comme un être ayant été créé par Dieu à son image et après l'apparition des animaux. Il est donc une espèce à part entière, supérieure à la Nature. White va définir cet avènement comme une révolution majeure de notre société actuelle. « *The victory of Christianity over paganism was the greatest psychic revolution in the history of our culture* »⁹. Bien que ces nouvelles pensées soient majoritairement répandues par la société chrétienne, c'est dans les campagnes que les premiers changements vont apparaître vers la fin du Moyen-Âge. Cela se matérialise notamment par une évolution des techniques et outils de travail. Les machines pour labourer la terre deviennent plus performantes et efficaces ce qui entraîne un changement radical dans les façons de travailler des paysans. Les récoltes ne sont plus dictées par les besoins de la famille mais par la capacité de récolte des nouvelles machines. Les terrains exploités changent de forme pour faciliter et permettre une meilleure production. L'animisme païen paraît définitivement détruit, laissant la Nature sous la domination de l'Homme.

Cette corrélation entre l'évolution des techniques et le changement dans les méthodes d'exploitation de la Nature s'explique par le début de l'ère moderne. Cette nouvelle ère marque la ferme volonté de l'Occident de développer ses connaissances et compétences dans les domaines des sciences et des technologies. C'est d'ailleurs sous une forte influence de la doctrine chrétienne, que les grands scientifiques de l'époque mèneront leurs travaux de recherche. Impulsés par les enseignements chrétiens et profitants des nombreux travaux menés au Moyen-Âge et dans l'Antiquité par les civilisations grecques ou arabes, les scientifiques modernes vont placer l'Occident au centre des avancées scientifiques et technologiques. Ce rapprochement est d'ailleurs défini par Lynn White Jr. comme le point de rupture dans la relation entre l'Homme et la Nature. « *Western Europe and North America arranged a marriage between science and technology, a union of the theoretical and the empirical approaches to our natural environment* »¹⁰.

⁷ GILLES CLEMENT (2006) *Environ(ne)ment, manières d'agir pour demain* Luca Molinari, p 54

⁸ Idem – p 51

⁹ LYNN WHITE JR. (1967) - Trad. personnelle : « La victoire du christianisme sur le paganisme était la plus grande révolution psychique dans l'histoire de notre culture » Op.cit. – p 1205

¹⁰ Idem – Trad. personnelle « L'Europe de l'ouest et l'Amérique du Nord ont organisé un mariage entre la science et la technologie, une union entre théories et approches empiriques de notre environnement » p 1203

2.2.3 *Quand la science rencontre la technologie*

L'influence des croyances judéo-chrétienne aura eu des répercussions directes sur le travail des scientifiques de l'époque. Cela se traduit notamment par la mise à disposition des sciences modernes dans le développement de nouvelles technologies. La puissance occidentale dans ces domaines bénéficiera également de l'invention de l'imprimerie au milieu du XV^e siècle pour se propager sur le reste du monde. L'Occident devient ainsi le berceau et le centre des technologies modernes.

Cette recherche constante d'évolution et de développement se fait au détriment de la Nature et les premières traces ne vont pas tarder à apparaître. La découverte de l'artillerie fait basculer l'art de la guerre dans une nouvelle dimension. Alors que les premiers canons voient le jour, ce sont des montagnes et des forêts entières qui sont exploités pour permettre l'approvisionnement en minerai de fer ou en charbon de bois. Les érosions, les déforestations ou les premiers nuages de pollution due à la combustion non réglementée du charbon apparaissent alors comme les premiers signes d'une mauvaise exploitation de la Nature. White nous parle ainsi du « *smog problem arising from the burning of soft coal* »¹¹ survenu à Londres en 1285.

L'évolution au dépend de la Nature est en marche et va s'accroître de plus en plus au XVIII^e et XIX^e siècle avec les Révolutions Industrielles qui se succèdent en Europe de l'Ouest. Cet essor de la production industrielle occidentale repose avant tout sur des secteurs clés ayant bénéficiés des progrès scientifiques. L'exemple le plus démonstratif de cette puissance scientifique au service de la technologie est sans aucun doute le développement des machines à vapeur. Avec l'utilisation de cette nouvelle énergie, ce sont tous les secteurs liés aux transports et à la mécanisation des machines qui ont évolué.

La seconde révolution industrielle sera celle de la maîtrise de l'électricité. L'apport électrique dans l'industrie transforme l'image de la ville et des modes de vie. Les usines s'implantent alors aux portes des grandes agglomérations et au plus près des populations devenues de plus en plus urbaines. En parallèle de cette embellie, les secteurs rattachés au pétrole, à l'automobile et à la chimie vont eux aussi connaître une importante mutation.

Couvée par les croyances chrétiennes venues d'Europe de l'ouest et d'Amérique du nord, cette rencontre entre les sciences et les technologies a fait basculer notre monde dans une nouvelle dimension. La course au progrès est lancée, la terre offre une matière en abondance et facilement exploitable, l'émergence de l'industrie et de la production à la chaîne favorise une production de masse toujours plus rapide et efficace. Si ce rapprochement, symbole de la victoire de l'Homme sur la Nature, est désigné par White comme l'instigateur des problèmes écologiques que nous commençons à subir aujourd'hui, il existe une autre donnée qui doit être prise en compte : la croissance exponentielle de la démographie humaine sur terre au cours de cette période.

¹¹ Idem – Trad. personnelle : « problème du brouillard provenant de la combustion du charbon » – p 1204

2.3 QUAND L'HOMME EXPLOITE LA NATURE

2.3.1 Accroissement de la démographie

Le diagramme suivant (Fig.5) nous présente la courbe de croissance de la démographie humaine sur terre. Estimé à environ 170 millions à l'an 0, la population mondiale n'a jamais cessé de croître pour atteindre les 7,3 milliards en 2015. Au regard de ce graphique, on s'aperçoit que cette croissance s'est brutalement accélérée au fil des derniers siècles. « *Progrès scientifiques et sanitaires aidant, la démographie humaine a ainsi pu être multipliée par 14 en à peine trois siècles.* »¹².

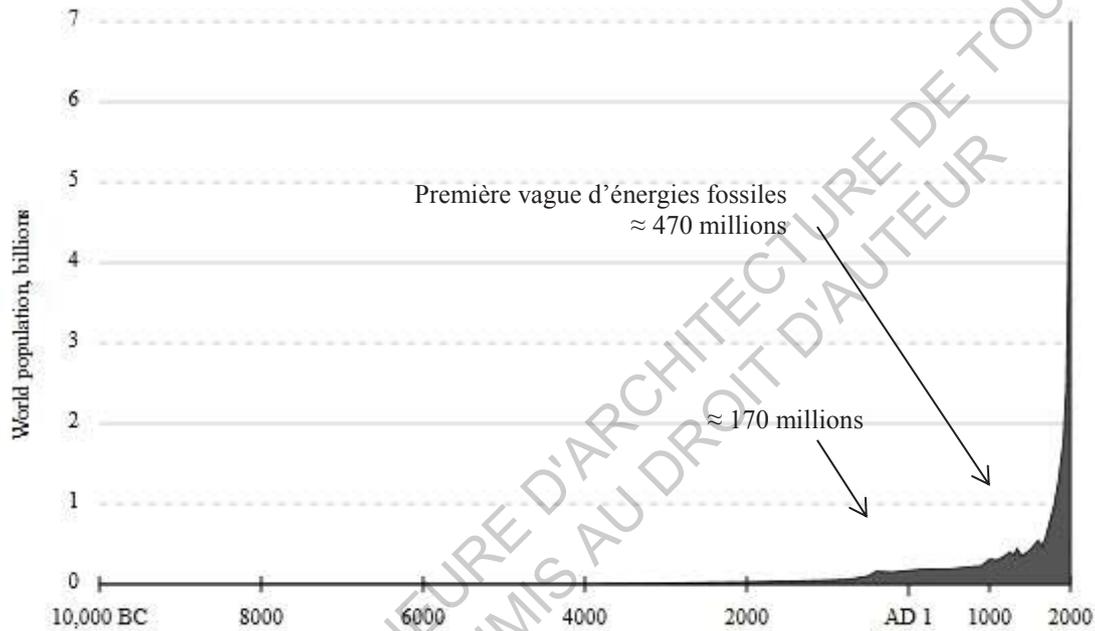


Fig. 5 : Courbe de la démographie humaine

La forte augmentation de la population additionnée aux différentes évolutions induites par les révolutions industrielles a eu une répercussion directe sur notre façon de construire et d'habiter. Ainsi, la mise en lumière de cette évolution entamée au début du XX^e siècle correspond étroitement aux données illustrées dans les parties précédentes.

Dans l'objectif de répondre à cet accroissement phénoménal de la population, les méthodes de construction ont dû suivre le mouvement et embrasser la voie ouverte par l'industrie et la production de masse. L'architecture vernaculaire ne représente plus une solution viable face à ce défi planétaire. Il faut construire vite et en grande quantité pour répondre à une demande qui ne faiblit pas. Cette nouvelle donne suggère également de développer des méthodes de constructions plus générales et normalisées, pouvant être utilisées sur l'ensemble de la planète. Il s'agit là de l'émergence des matériaux issus de la filière pétrochimique et industrielle avec, en chef de file, l'avènement d'un matériau phare : le béton.

¹² HUGUES STOECKEL (2012) *La faim du monde, l'humanité au bord d'une famine globale*, Max Milo, p 27

Le recours à ce nouveau type de matériaux nécessite cependant l'exploitation et la transformation industrielle d'importantes ressources primaires. L'Homme se retourne alors une nouvelle fois vers la Nature et commence à puiser allègrement dans « le stock d'énergie solaire fossile élaboré et engrangé au long de millions de siècles de photosynthèse »¹³. Les gisements offerts par nos sous-sols semblent illimités et facilement exploitable, ce qui entrainera leurs exploitations sans limite. Cette solution hâtive ressemble à une voie de facilité pour pouvoir répondre favorablement à la demande, sur le court terme. Loin d'être une solution d'avenir, ce recours permanent aux ressources primaires de la Terre ne sera pas sans conséquences sur notre environnement et sur nos modes de vie.

2.3.2 Un trésor sous nos pieds

La découverte et l'exploitation de cette importante manne fossile présente sous nos pieds marque le début d'une nouvelle ère. C'est « l'entrée dans l'Anthropocène, l'ère nouvelle ouverte par l'entame du formidable capital d'énergie en sommeil dans les entrailles de la terre »¹⁴. Ce terme proposé par le chimiste et prix Nobel de chimie en 1995, Paul Crutzen, doit permettre d'isoler l'ère géologique qui a débuté lorsque les activités humaines ont commencé à engendrer un changement global sur l'écosystème de notre planète.

Le recours permanent et croissant à ces nouvelles sources d'énergies fossiles a ainsi permis de propulser notre civilisation dans l'ère moderne de l'industrie symbolisée par la période des Trente Glorieuses. « Durant les cinq premières années du XXI^e siècle, le monde a ainsi consommé davantage d'énergie qu'au cours des cinquante premières années du siècle précédent »¹⁵ Ci-dessous (Fig.6), le diagramme illustre également le constat dressé dans la partie précédente concernant l'augmentation de la consommation d'énergie primaire générée par les progrès réalisés au cours des différentes Révolutions Industrielles.

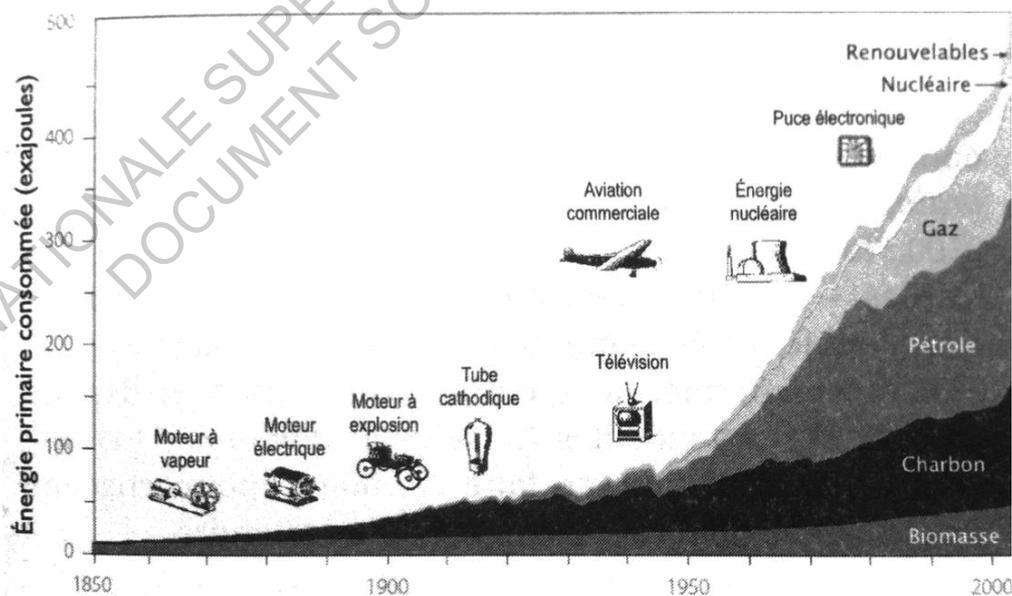


Fig. 6 : Consommation mondiale d'énergie primaire commerciale

¹³ Ibidem

¹⁴ Ibidem

¹⁵ Ibidem

Ce constat dressé par Hugues Stoeckel, auteur du livre précédemment cité, illustre parfaitement la folie énergivore qu'a connue notre monde au cours de cette période. En s'appuyant exclusivement sur les ressources limitées contenues dans nos sols, l'Homme a fait le choix de baser son développement au dépend d'une richesse qui est loin d'être infinie. Cette dépendance est notamment visible en analysant le diagramme suivant, (Fig.7). Il décrit la répartition des énergies consommées dans le monde en 2007. En tout, 86% de ces énergies proviennent directement de ressources primaires non renouvelables à l'échelle de temps humaine.

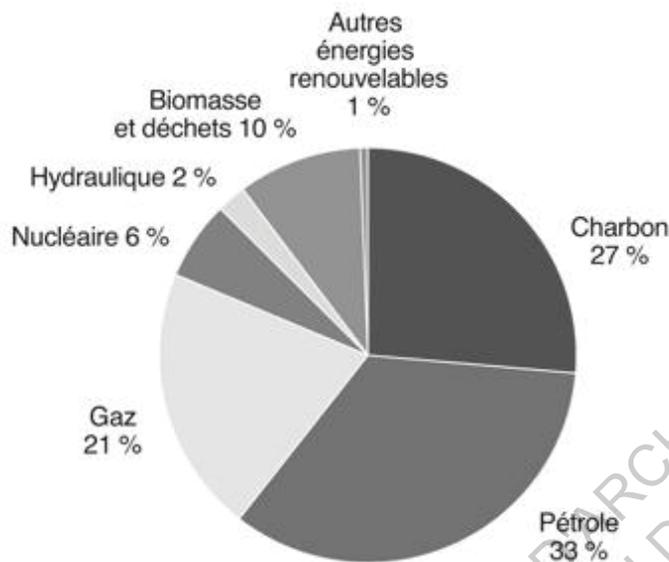


Fig. 7 : Répartition des consommations mondiales d'énergie primaire en 2007.

Les parts minoritaires de ce diagramme caractérisent les ressources renouvelables ou pouvant être considérées comme telles.

Ces ressources sont majoritairement représentées par la biomasse (10%) avec l'exploitation du bois pour le chauffage ou la cuisson. Symbole d'espoir pour le futur, il est cependant bien utopiste de penser qu'un jour ces ressources puissent complètement subvenir à nos besoins et prendre la relève des énergies fossiles dans notre mode de vie.

Ainsi, en optant pour une surexploitation de ces ressources combinées avec une croissance démographique qui ne faiblit pas, nous allons bientôt nous retrouver devant un important défi à relever : faire face à l'épuisement de ces ressources naturelles.

2.3.3 Un défi de taille

Lynn White Jr. nous rappelle au début de son article: « *we usually do not know exactly when, where, or with what effects man-induced changes came* »¹⁶. Cette prise de conscience écologique portée par les effets engendrés par notre activité sur l'environnement n'est apparue que vers la fin du XX^e siècle avec les Révolutions Industrielles. Le terme même d'« *écologie* » fut lui utilisé pour la première fois en 1873 en Angleterre. Cette éclosion tardive s'explique notamment par l'évolution exponentielle des dégradations causées par l'Homme sur la Nature au cours de cette période. Nos actes ont dorénavant des conséquences bien plus importantes que dans le passé. On ne parle plus de simple brouillard de pollution, comme on a pu l'évoquer dans le paragraphe précédent, mais d'un probable dérèglement climatique à l'échelle planétaire.

¹⁶ LYNN WHITE JR. (1967) – Trad. personnelle : « nous ne savons habituellement pas exactement quand, où et par quels effets les changements induits par l'homme ont commencés » Op.cit. – p 1203.

Le désastre écologique engendré par notre surproduction a ainsi fait naître un mouvement écologique dans notre société. Si les premières propositions étaient généralement radicales et peu réalisables, cette idéologie a eu le mérite de placer la question liée à l'environnement au sein de notre réflexion de développement. Ce mouvement se traduit rapidement par la mise en place de « *Sommets de la Terre* » à partir de 1972. Ces rencontres décennales organisées par les Nations-Unies en collaboration avec les plus grands chefs d'Etat du monde ont pour objectif d'identifier les moyens de promouvoir le développement durable dans le monde. Ces rencontres marquent le début d'une véritable prise de conscience écologique pour le futur de notre planète. Si elles ne furent pas toutes des succès, elles ont tout de même permis de mettre en place un programme commun comprenant des règles précises et les démarches à suivre pour améliorer la condition de notre monde. Toutefois, la situation d'urgence ne se faisant pas ressentir à l'époque, ces règles ont plus ou moins bien été respectées par les plus grandes puissances mondiales, nous entraînant ainsi dans une situation toujours plus délicate.

Aujourd'hui, la simple prise de conscience ne suffit plus et d'importants changements doivent être opérés pour maintenir l'espoir d'un avenir pour notre société. Dans la conclusion de son article, « *Nous mangeons du pétrole* »¹⁷, le géologue et écrivain Dale Allen Pfeiffer tire ainsi la sonnette d'alarme et ne laisse que très peu de place à l'incertitude concernant notre futur. Pour lui, seul trois alternatives sont envisageables.

La première concerne « *la plus souhaitable* »¹⁸ et vise à « *choisir en conscience et sans contrainte de diminuer notre population de façon responsable* ».¹⁹ Toutefois cette option se butte aux valeurs même de notre « *impératif biologique de reproduction* »²⁰. De plus les progrès réalisés dans le domaine de la médecine ou les enseignements dictés par les différentes religions vont à l'encontre de cette alternative. Une seconde option, « *la plus détestable* »²¹ viserait à « *imposer des réductions par des lois* »²². Cette hypothèse s'apparente « *à un contrôle de la population par les principes de l'eugénisme* »²³ et il est difficile de concevoir que la société accepterait de se soumettre à une telle idéologie. Enfin, dans le cas où les deux premières solutions n'ont pas fonctionné ou n'ont pas été adoptées, Pfeiffer envisage une ultime issue à notre problème. « *Ceci ne nous laisse qu'un troisième choix, qui présente un visage indicible de souffrance et de mort.* »²⁴ ...

Les visions présentées par Pfeiffer dans sa conclusion sont décrites comme de simples « *conclusions évidentes [résultant] d'un rapport de fait* »²⁵. En confrontant le lecteur avec la dure réalité qui peut nous attendre, l'auteur cherche ainsi à le perturber pour l'inciter à réagir dans l'espoir de provoquer un débat autour des véritables questions qu'il faut nous poser pour notre avenir, questions auxquelles je vais essayer d'apporter des réponses dans la suite de ce mémoire.

¹⁷ DALE ALLEN PFEIFFER (2006) *Nous mangeons du pétrole*, New Society Publishers

¹⁸ Idem – p 6

¹⁹ Ibidem

²⁰ Ibidem

²¹ Ibidem

²² Ibidem

²³ Ibidem

²⁴ Idem – p 7

²⁵ Ibidem

3. SAUVONS LA MATIERE

En déroulant le fil de cette première partie, nous avons pu mettre le doigt sur les principaux éléments identifiés comme étant les responsables de notre crise écologique actuelle. Il apparaît assez nettement que les actions menées par l'Homme sur la Nature dictées par diverses croyances ou par simple besoin d'évolution sont à la base des maux écologiques que connaît notre société actuelle. L'Homme apparaît ainsi comme le grand gagnant de ce rapport dual qu'il entretient avec la Nature. En l'exploitant abondamment, il a pu tirer profit de ses ressources naturelles pour évoluer et développer son habitat. Cette quête menée dans l'optique d'assouvir ses propres besoins immédiats n'a cependant pas été effectuée en pensant aux générations futures. Ainsi, la période faste qui a suivi les Révolutions Industrielles semble arriver à son terme et les premiers signes d'épuisement de la Nature commencent à se faire sentir.

Face à ce constat et aux conclusions énoncées précédemment, je souhaite aborder cette seconde partie en ciblant ma réflexion sur la source de toutes nos interrogations : les matières premières. La première sous-partie sera consacrée à la réalisation d'un état des lieux concernant ces précieuses ressources. Je m'intéresserai ensuite, dans une seconde sous-partie au secteur de la construction qui joue un rôle important dans l'utilisation de ces ressources. Enfin, la dernière sous-partie introduira ma réflexion sur le rôle que l'architecte peut avoir face à l'exploitation de cette matière.

3.1 UNE CRISE DE LA MATIERE

3.1.1 Les conséquences d'une production à outrance

« Les énergies fossiles ne sont pas renouvelables. Elles représentent un stock planétaire que nous pouvons utiliser à la vitesse que nous souhaitons mais qui un jour sera épuisé sans possibilité de renouvellement »²⁶. Avec son article engagé, Pfeiffer mène une réflexion poussée sur la chaîne de production alimentaire des Etats-Unis au travers de l'utilisation et de l'exploitation des nouvelles énergies fossiles au service de l'agriculture dans les années 1950-1960. L'analyse menée sur cette « Révolution verte »²⁷, m'intéresse particulièrement car elle illustre l'évolution de l'agriculture grâce à l'industrialisation du monde. Elle retranscrit ainsi la mutation dont on a pu observer les prémises avec le texte de White.

En analysant l'agriculture intensive moderne des Etats-Unis, Pfeiffer s'attaque aux méthodes de production de l'un des plus gros producteurs mondiaux. Ainsi, cette analyse permet de mettre le doigt sur des phénomènes précis se répercutant à l'échelle mondiale. « L'utilisation d'énergies fossiles aux Etats-Unis a été multipliée par 20 durant les quatre dernières décennies »²⁸ Si l'agriculture ne consomme que 17% de toute l'énergie produite grâce à ces ressources, elle représente néanmoins le secteur d'activité où l'impact écologique est le plus visible. L'auteur dresse un bilan peu élogieux : « érosion des sols, la pollution et la surexploitation des eaux souterraines et de surface, jusqu'à causer de sérieux problèmes environnementaux et de santé publique »²⁹. À trop vouloir exploiter la Nature, l'Homme se retrouve à être l'une des

²⁶ Idem – p 3

²⁷ Idem – p 2

²⁸ Idem – p 3

²⁹ Idem – p 4

victimes directes de sa propre politique. La terre qu'il cultive n'est plus aussi riche que par le passé et a besoin de temps pour se régénérer naturellement. Par ricochet, l'eau et les sols souterrains se trouvent eux aussi affectés, ce qui engendre inexorablement une baisse de productivité et un risque important pour les populations dépendantes de cette agriculture.

« *I personally doubt that disastrous ecologic backlash can be avoided simply by applying to our problems more science and more technology* »³⁰. En concluant sa thèse par le développement de cette idée, Lynn White Jr. affirme ainsi sa ferme opposition aux théories s'élevant pour un recours systématique à davantage de science et de technologie pour résoudre les problèmes. C'est pourtant ce qui va majoritairement se produire dans le domaine de l'agriculture. Face à une demande qui ne faiblit pas (constante augmentation de la démographie) et une chute de la productivité liée à la dégradation des sols agricoles, l'Homme se tourne une nouvelle fois vers les technologies pour combattre ses problèmes. Cela se traduit par une exploitation encore plus importante des énergies primaires pour mettre en place des systèmes d'irrigation toujours plus perfectionnés ou par le recyclage de produits dérivés du pétrole ou du gaz, en engrais ou pesticides pour booster la productivité.

« *La majeure partie des sols des grandes plaines ne vaut guère plus qu'une éponge que nous devons abreuver d'engrais pour produire des céréales* »³¹. Par ces propos, Dale Allen Pfeiffer rejoint le point de vue exposé par White. A l'image de l'agriculture, le recours permanent à la technologie ne peut pas s'inscrire comme une solution pérenne pour l'avenir. La pollution des sols agricoles et des nappes phréatiques représente un danger que nous sommes capables de voir et d'appréhender, cependant il ne s'agit là que de l'arbre qui cache la forêt. En continuant d'exploiter sans relâche nos ressources souterraines nous nous dirigeons tout droit vers une pénurie des matières premières pour les prochaines générations. Sans alternatives concrètes, notre avenir repose sur la durée qu'il nous reste encore avant l'épuisement définitif de l'ensemble de ces ressources d'énergies fossiles.

Dates	Ressources
2021	Argent
2023	Palladium
2025	Or, Zinc
2030	Plomb
2039	Cuivre
2040	Uranium
2048	Nickel
2050	Pétrole
2064	Platine
2072	Gaz naturel
2087	Fer
2120	Cobalt
2139	Aluminium
2158	Charbon

Fig. 8 : Dates d'épuisement prouvées de quelques ressources terrestres au rythme actuel de consommation.

Les données présentées dans le tableau ci-contre (Fig.8), dresse un bilan sur les dates présumées de l'épuisement de certaines matières premières. Toutefois, nous ne connaissons pas avec certitude la composition géologique de l'ensemble de nos sous-sols et l'état réel de nos réserves. Par conséquent, ces dates restent avant tout des estimations devant nous faire réagir sur notre situation et sur la façon de développer notre société.

³⁰ LYNN WHITE JR. (1967) – Trad. personnelle : « Personnellement, je doute que les répercussions écologiques désastreuses peuvent être évitées en appliquant davantage de science et de technologie à nos problèmes. » Op.cit. – p 1206

³¹ DALE ALLEN PFEIFFER (2006) – Op.cit. – p 4

3.1.2 Un système de production à revoir

L'épuisement des matières premières semble être d'ores et déjà acté, il ne s'agit maintenant plus que d'une question de temps avant de se retrouver devant le fait accompli. Si le recours à une telle richesse nous a permis de construire le monde comme nous le connaissons, avec l'ensemble des progrès technologiques modernes, c'est avant tout le système d'exploitation de cette matière qui semble nous être préjudiciable aujourd'hui.

« Nous ne sortirons pas le monde de la crise si nous ne changeons pas notre manière de penser. »³²

En utilisant cette citation comme première phrase de leur ouvrage : « *Cradle to Cradle – créer et recycler à l'infini* »³³, l'architecte américain William McDonough et le chimiste allemand Michael Braungart s'inscrivent dans la lignée des idées développées par White et Pfeiffer sur la nécessité de changer notre manière de faire. En défendant une volonté de « *redéfinir la manière dont nous fabriquons les choses* »³⁴, les auteurs visent directement les « *recettes universelles* »³⁵ de production en masse mises en place au cours des Révolutions Industrielles. Ils n'hésitent d'ailleurs pas à souligner le côté brutal et imposant de ces méthodes vouées à l'échec « *« Si vous n'y arrivez pas par la force, c'est que vous n'êtes pas assez brutal. », telle pourrait être [...] la devise de la première Révolution Industrielle* »³⁶.

Avec ce livre, McDonough et Braungart dénoncent également une maladie récurrente de notre société de consommation : « *les élaborations « berceau à tombeau* » »³⁷ qui dominent la fabrication moderne et qui sont largement incitées par la politique d'obsolescence programmée. Ce système de conception, élaboré au cours de la Révolution Industrielle, a conduit à la production massive de « *produits vulgaires* »³⁸ grâce aux richesses fossiles de nos sous-sols. Par produits vulgaires, les auteurs visent les produits « *répondant aux normes, relativement faciles à fabriquer, et qui durent assez longtemps pour satisfaire les attentes du marché [...] des produits mal conçus au regard de la santé humaine et environnementale [...] inintelligents et inélégants.* »³⁹. Ainsi, « *selon certains bilans, plus de 90% des matériaux extraits pour la production de biens durables aux Etats-Unis sont presque aussitôt jetés.* »⁴⁰.

Le système de production en question oblige la matière première à rentrer dans un cycle de vie non fermé. Une fois que celle-ci est extraite elle est acheminée vers des usines qui procéderont à sa transformation en utilisant d'importantes ressources en énergie grise dans le but de fabriquer un objet quelconque. Une fois le produit commercialisé et utilisé, il prend le chemin de la poubelle. Cette fin de vie ne permettant évidemment pas de valoriser la matière qui pourrait être réutilisée.

³² ALBERT EINSTEIN

³³ WILLIAM MCDONOUGH & MICHAEL BRAUNGART (2011) *Cradle to Cradle, créer et recycler à l'infini*, Manifestô Alternatives.

³⁴ Idem – p 13

³⁵ Idem – p 52

³⁶ Ibidem

³⁷ Idem – p 49

³⁸ Idem – p 60

³⁹ Ibidem

⁴⁰ Idem – p49

Avec cette vision non cyclique de l'exploitation de nos ressources, schématisée ci-contre (Fig.9), c'est l'ensemble du système de production qui doit être remis en cause.

Cette situation soulève notamment des questions liées au traitement de ces produits lorsqu'ils sont en fin de vie. N'étant pas conçus dans l'optique de pouvoir être à nouveau utilisés dans le futur, ces éléments se retrouvent très vite jetés à la décharge, provoquant ainsi un important gaspillage d'une matière qui devient de plus en plus rare.

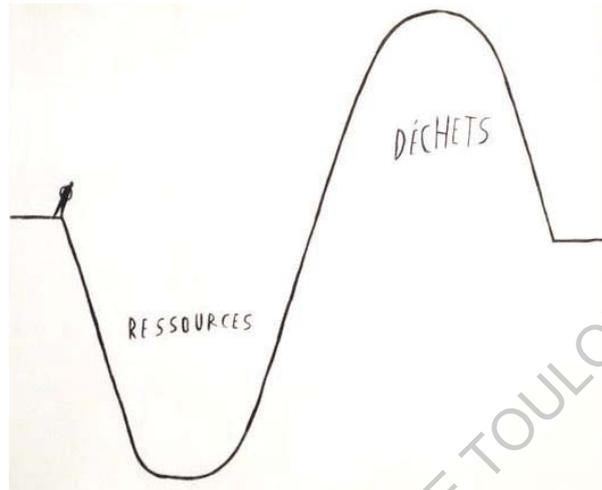


Fig. 9: Illustration du cycle de vie des ressources naturelles.

3.1.3 Une tyrannie intergénérationnelle⁴¹

Résumons la situation, sous l'impulsion des Révolutions Industrielles notre civilisation est entrée dans une nouvelle dimension. Devant répondre à une croissance économique et démographique qui s'accroît de jour en jour, l'ensemble de notre infrastructure industrielle a été conçue dans l'optique d'assurer ce défi. Bien aidé par l'abondance des matières premières extraites de nos sous-sols, c'est l'ensemble de nos secteurs d'activité qui ont pu bénéficier de ces progrès, que ce soit dans le domaine de l'industrie, de la construction ou encore de l'agriculture.

Cette croissance laisse néanmoins derrière elle une importante zone d'ombre. « Elle le fait aux dépens d'autres préoccupations vitales, parmi lesquelles la santé humaine et écologique, la richesse culturelle et naturelle, l'amusement et le plaisir »⁴². Cette phrase prélevée dans l'ouvrage de MC Donough et Braungart résume assez efficacement le fait, que dans cette évolution, il n'y aura finalement aucun vainqueur entre l'Homme et la Nature. Plus encore que dans le passé, c'est deux entités se retrouvent en danger et doivent combattre ensemble pour s'en sortir. Les deux auteurs emploient notamment le terme de « tyrannie intergénérationnelle, la tyrannie des effets de nos actions actuelles sur les générations futures »⁴³ pour décrire la situation dans laquelle nous nous trouvons actuellement. Bien que les actions du passé n'aient pas été planifiées dans le but de détruire notre planète, elles vont avoir des répercussions inaltérables pour le futur.

Face à une pénurie des matières premières c'est l'ensemble de notre système de production qui est mis en danger. Par ricochet, cet épuisement menace également l'horizon de nos secteurs d'activité. Si nous avons pu voir les premiers effets et répercussions qui apparaissent sur l'agriculture, je vais à présent me tourner vers le domaine de la construction. Loin des premiers habitats préhistoriques entrevus en première partie, ce secteur a depuis bien évolué jusqu'à devenir l'une des activités au centre de toutes les préoccupations pour l'avenir.

⁴¹ Idem – p 52

⁴² Ibidem

⁴³ Ibidem

3.2 LA CONSTRUCTION FACE AUX DOUTES

Premier secteur à avoir largement bénéficié des progrès industriels du début du XX^e siècle, ce domaine est aujourd'hui pointé du doigt pour son implication dans la crise écologique que nous traversons actuellement. Généralement considéré comme l'un des plus gros consommateurs d'énergies primaires, ce secteur d'activité se fait également fortement remarquer par la quantité de déchets ou d'émissions qu'il produit. Le domaine de la construction se retrouve aujourd'hui face à une impasse. D'un côté, une demande en logement liée à la croissance démographique, qui ne semble pas prête à décliner et d'autre part une source de matière première qui est en chute libre. Dans ces circonstances, il est temps de réagir et de trouver des alternatives crédibles pour faire bouger les lignes.

3.2.1 Un secteur en question

Pour revenir aux premières idées développées dans ce mémoire, construire et habiter à toujours fait partie de nos principales préoccupations humaines. Le contexte a cependant évolué, nous n'habitons plus un lieu juste pour se protéger mais pour pouvoir s'épanouir, grandir et faire partie d'une société. La diversification des besoins humains a ainsi engendré une multitude de nouveaux besoins en infrastructures. Autre caractéristique, le bâtiment présente la particularité d'être un secteur en constante mutation et qui regroupe un large panel d'activités : construction neuve, rénovation, démolition, production de matériaux bruts ou industriels. L'ensemble de ces activités ajoutées à une demande forte du marché (augmentation de la démographie – besoin de logements) a ainsi fait de ce secteur l'un des plus importants et des plus exposés face aux contraintes écologiques.

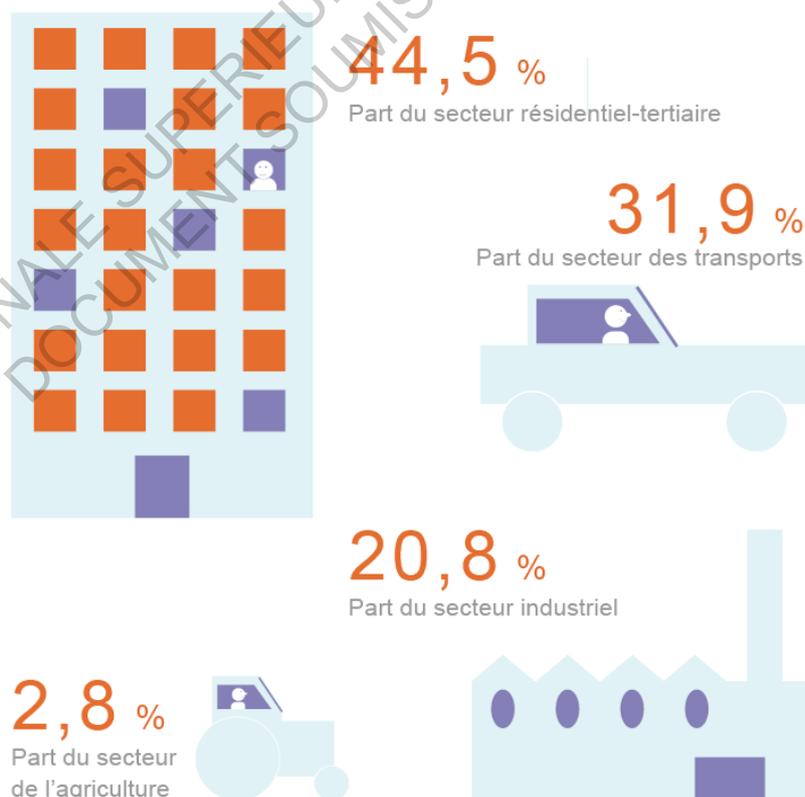


Fig. 10 : Consommation d'énergie finale par secteur d'activité en France en 2014.

Les statistiques illustrées précédemment (Fig.10), résument en pourcentage les différentes consommations « d'énergie finale »⁴⁴ par secteur d'activité. On remarque alors que la place prise par le domaine du résidentiel et, par ricochet, de la construction, représente à lui seul quasiment la moitié des consommations totales d'énergie française. Le diagramme suivant (Fig.11), nous donne une meilleure compréhension du type d'énergies utilisées.

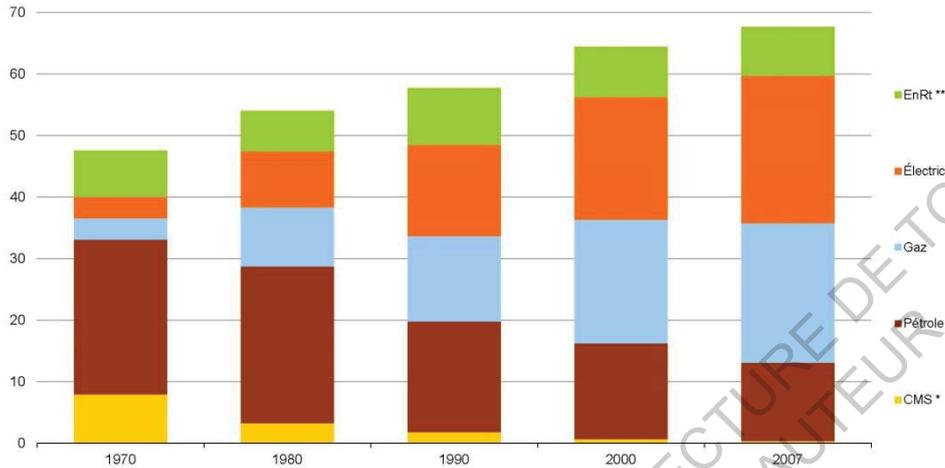


Fig. 11 : Consommation énergétique finale du secteur résidentiel-tertiaire, par type d'énergie utilisée.

Au travers de ces valeurs c'est avant tout l'omniprésence des énergies primaires provenant de nos sous-sols qui pose problème. Si on ne peut que se réjouir d'une baisse de consommation du pétrole au cours de ces dernières années, il faut prendre conscience que cette baisse est avant tout imposée par l'épuisement de cette ressource primaire. En décryptant ce diagramme, nous ne pouvons que déplorer un constat déjà entrevu précédemment dans ce mémoire. Bien qu'en légère augmentation, la part prise par les énergies renouvelables est encore trop infime pour prétendre devenir une solution d'avenir. Les importantes consommations d'énergies décrites dans ces deux diagrammes illustrent le côté énergivore de ce secteur d'activité, toutefois lorsque l'on s'intéresse à la construction on s'aperçoit rapidement que l'énergie ne représente pas la seule source d'alimentation.

3.2.2 Un secteur qui consomme

Pour reprendre la définition du mot « construire », qui avait introduit la seconde partie de ce mémoire, « construire résulte d'un assemblage de différents matériaux suivant des techniques de construction appropriées dans le but de produire un édifice. ». Par conséquent, pour construire il faut indéniablement des matériaux ou de la matière plus ou moins modifiée dans le but d'obtenir un élément permettant la construction. Nous avons également pu voir que les matériaux de construction évoluent dans le temps et peuvent être utilisés différemment suivant la localisation. Cependant, avec l'industrialisation de notre monde, les méthodes et matériaux de construction tendent à se généraliser et à se normaliser, quitte à perdre les propriétés et valeurs « locales » de certains matériaux.

⁴⁴ <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/326/1097/consommation-energetique-batiments-construction.html>

Définition : L'énergie finale désigne l'énergie dont dispose le consommateur final pour satisfaire ses besoins. Elle correspond ainsi à l'énergie primaire moins l'énergie nécessaire aux opérations de transformation (combustible fossile en électricité) ou de transport jusqu'au consommateur final.

Les matériaux et l'architecte

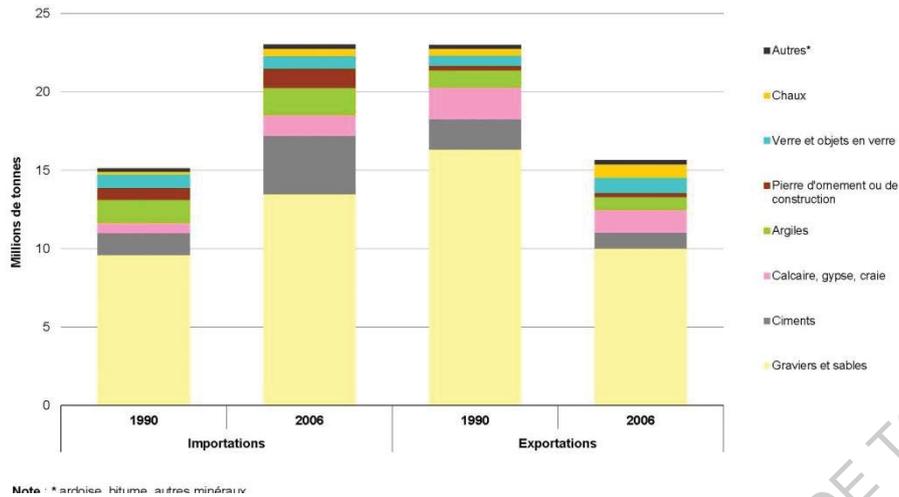


Fig. 12 : Flux de minéraux et matériaux élaborés à usage principal pour la construction.

Le diagramme précédent (Fig.12) nous dresse un bilan de l'évolution des flux de minéraux et de matériaux utilisés dans le domaine de la construction en France. Ce diagramme permet de comparer l'évolution des importations et exportations de ces ressources en seize ans. On peut notamment remarquer une des conséquences directes de la surexploitation de nos ressources. Là où notre pays pouvait se permettre d'exporter en grande quantité ses ressources en 1990, nous nous retrouvons aujourd'hui dans l'obligation d'importer ces mêmes ressources pour pouvoir maintenir notre activité. Les réserves s'amenuisant, il devient de plus en plus commun de devoir importer des ressources qui étaient, jadis, présentes en abondance.

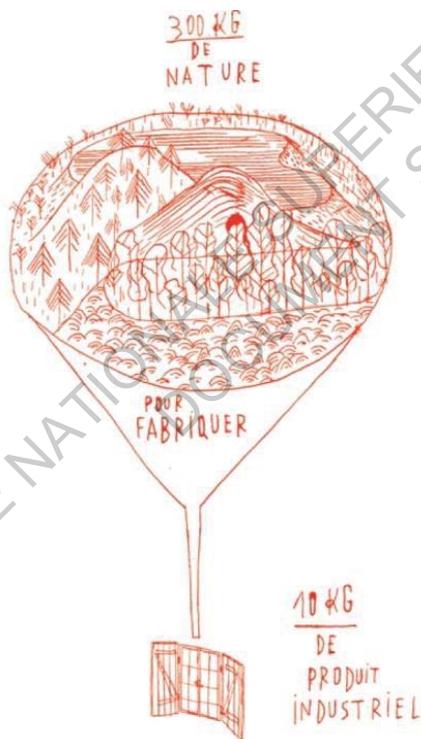


Fig. 13 : Illustration production des matériaux.

Cette nouvelle politique n'est pas sans conséquences puisqu'elle engendre inévitablement des coûts plus importants et une dépense d'énergie supplémentaire pour assurer le transport.

Avec l'illustration ci-contre (Fig.13), les auteurs du livre « Matière grise » tentent de nous interpellé sur une autre réalité qui touche le domaine de la construction et des produits industriels en général : la quantité de matière première et d'énergie nécessaire pour fabriquer un simple produit industriel qui est amené à avoir une utilisation et une durée de vie assez faible, au vu de la rareté de ses composants propres.

On rejoint ainsi le constat dénoncé par les auteurs du livre « Cradle to Cradle ». Avec la diminution de nos ressources en matières premières, il nous faut reconsidérer l'ensemble de notre façon de produire nos matériaux.

Notre système de production actuelle peut être schématisé de la façon suivante (Fig.14) : avant de pouvoir obtenir notre produit final, la matière première va subir toute un processus de transformation impliquant d'importants apports en eau et en énergie.

Si la finalité de ce processus vise à l'élaboration d'un produit pouvant être utilisé pour la construction, ce schéma nous présente en parallèle les principales conséquences d'une telle production. Entre émissions d'air et rejets plus ou moins pollués, la méthode de fabrication peut nous inquiéter.

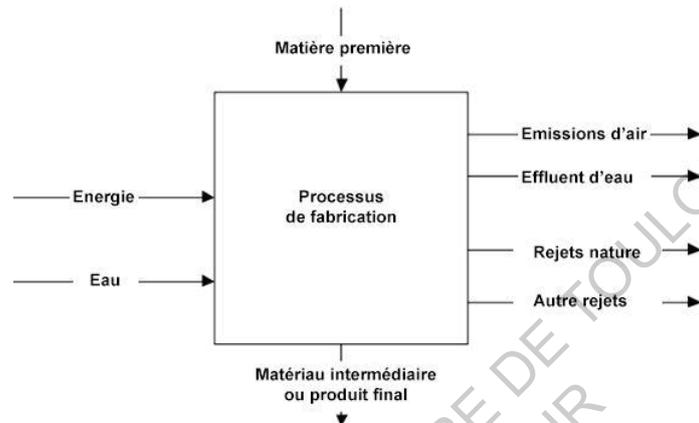
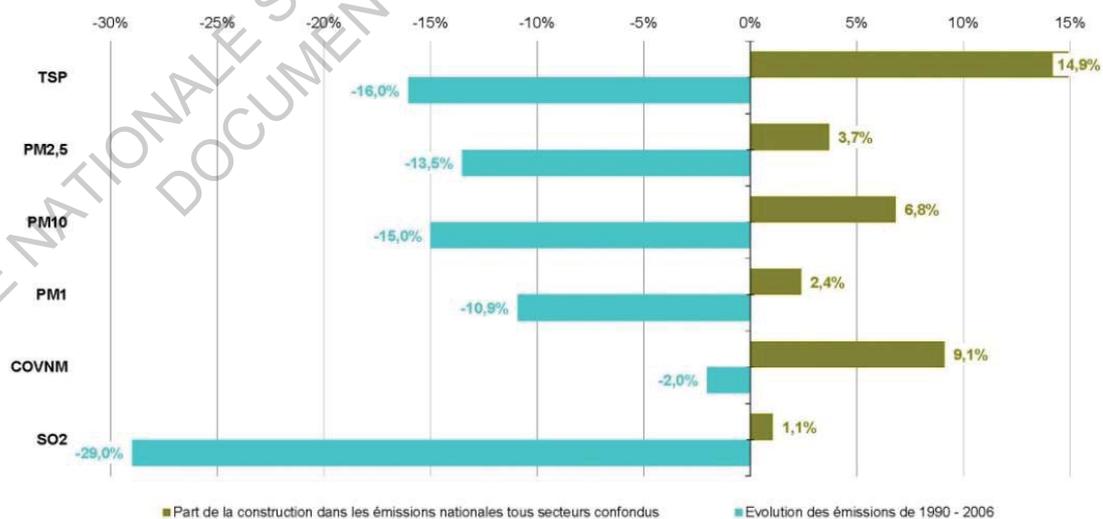


Fig. 14 : Schéma processus de fabrication d'un matériau.

3.2.3 Des répercussions sur l'environnement et la population

Tout au long de son existence, un bâtiment sera amené à consommer, plus ou moins directement, une grande quantité d'énergie primaire, de matières premières ou de différentes ressources que peut-nous offrir notre planète. Lors de sa construction, cette consommation passera avant tout par l'élaboration des matériaux et leur assemblage. Une fois sorti de terre, l'édifice devra consommer de l'énergie afin de satisfaire au bien-être de ses occupants. Enfin, une fois devenu vétuste, il nécessitera un nouvel apport d'énergie pour contribuer à sa démolition, désassemblage ou restauration. Le cycle de vie d'un bâtiment est donc sujet à un apport constant d'énergie et autres matières grises en tout genre. Toutefois, face à ces innombrables apports, nous allons retrouver de fortes émissions et rejets pouvant être pollués, comme on peut le lire sur la Fig.15.



Notes : seuls sont présentés les polluants ayant une part supérieure à 1% dans les émissions totales nationales (tous secteurs confondus : industrie manufacturière, énergie, résidentiel-tertiaire, agriculture, transports) ; SO2 : Dioxyde de soufre ; COVNM : composés organiques volatils non méthaniques ; PM1 / PM2,5 / PM10 : particules fines de diamètre inférieure à 1µm / 2,5 µm / 10 µm ; TSP : particules en suspension totales.

Fig. 15 : Part des principaux polluants émis par la construction dans les émissions totales nationales en 2006 et évolution depuis 1990.

Mon analyse étant d'avantage axée sur la question liée aux matériaux de construction, j'ai pu trouver dans le livre : « *Materials for Sustainable site: A complete guide to the evaluation, selection and use of sustainable construction materials.* »⁴⁵, une étude retraçant les différentes préoccupations environnementales liées à la production des matériaux de construction (Fig.16).

PREOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES	LIENS AVEC LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION
Changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> - Emissions de gaz à effet de serre provenant de l'utilisation de l'énergie, - Emissions provenant de la fabrication des matériaux, - Transport de matériaux, - Gaz d'enfouissement.
Epuisement des fossiles combustibles	<ul style="list-style-type: none"> - Electricité et consommation de combustibles fossiles
Pollution de l'air	<ul style="list-style-type: none"> - Combustion de combustibles fossiles, - Traitement des matériaux, - Construction
Brouillard	<ul style="list-style-type: none"> - Combustion de combustibles fossiles, - Traitement des matériaux, - Construction
Déforestation, désertification et érosion du sol	<ul style="list-style-type: none"> - Industrie forestière et agriculture, - Extraction des ressources, - Exploitation minière, - Dragage
Modification de l'habitat	<ul style="list-style-type: none"> - Terrain approprié pour l'exploitation minière, - Excavation, - Elimination des déchets
Perte de la biodiversité	<ul style="list-style-type: none"> - Extraction des ressources, - Utilisation de l'eau, - Pollution thermique
Epuisement des ressources en eau	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'eau - Rejets d'effluents de traitement et de fabrication
Toxicité écologique	<ul style="list-style-type: none"> - Déchets solides, - Emissions provenant de l'exploitation minière et de la fabrication, utilisation, entretien et élimination des matériaux de construction

Fig. 16 : Tableau récapitulatif des liens entre les matériaux de construction et les préoccupations environnementales

Au regard de ce tableau et des informations précédentes, on constate que le bâtiment est un secteur d'activité qui a été développé selon le même modèle que l'ensemble des autres secteurs. On retrouve ainsi les mêmes problèmes et les mêmes préoccupations environnementales que dans l'agriculture, secteur qui m'a servi de fil conducteur dans ma première partie.

⁴⁵ MEG CALKINS (2009) – « *Materials for Sustainable site: A complete guide to the evaluation, selection and use of sustainable construction materials.* » Chapitre 2: « *Background: Inputs, Outputs, and Impacts of Construction Materials* »

Face à ce constat et à ce sentiment d'impuissance devant toute cette mécanique bien huilée qui nous transporte à toute vitesse vers un avenir incertain, certains acteurs du bâtiment appellent au « *lancement d'une nouvelle Révolution Industrielle* »⁴⁶ pour entrevoir un changement de mentalité. Bien que la proposition semble alléchante, elle semble difficilement envisageable dans l'immédiat. Contrairement à l'agriculture ou à l'industrie, où la machine et la technologie semble avoir pris le pas sur l'Homme, le secteur du bâtiment reste, pour le moment, un domaine d'activité où la notion humaine est encore bien ancrée.

3.3 L'ARCHITECTE MAITRE DE LA MATIERE GRISE

Dans une époque où son rôle est de jour en jour remis en cause et où son avenir est directement menacé par la technologie, j'aime à croire que l'architecte peut se révéler comme le garant de cette « *notion humaine* ». Premier décideur quant à l'implantation ou l'orientation d'un projet, il est également la personne chargée de choisir les matériaux qui composeront l'édifice. Son rôle de maitre d'œuvre lui permet également de s'assurer que les choix décidés en amont seront bien respectés au cours de la construction. C'est par son travail et ses choix qu'il doit inscrire sa réalisation comme une offrande pour les générations à venir et l'environnement. Toutefois, dans l'immédiat et en attendant une hypothétique nouvelle Révolution Industrielle, l'architecte reste le seul à pouvoir œuvrer pour faire changer les choses. Si la production industrielle des matériaux de construction peut sembler être une bataille bien trop grande pour lui seul, il peut néanmoins réfléchir à la reconversion ou à la réutilisation de ces matériaux en fin de vie.

3.3.1 La question des déchets

La gestion des déchets représente une vraie problématique dans le paysage actuel de la construction.

Secteur	Quantité totale produite (millions de tonnes)	Répartition par type		
		Déchets inertes	Déchets non dangereux non inertes	Déchets dangereux
Bâtiment	38,2	72,4%	26,1%	1,5%
<i>Gros œuvre</i>	28,1	81%	18%	1%
<i>Second œuvre</i>	10,1	49%	49%	2%
Travaux publics	216,3	97,6%	1,5%	0,9%
Ensemble	254,5*	94%	5%	1%

Note : * le règlement statistique européen sur les déchets recense 253 millions de tonnes, du fait d'une méthodologie de comptage différente.

Fig. 17: Répartition des types de déchets produits par les secteurs de la construction en 2008.

⁴⁶ ROTOR (2012-mars) – « *Le cerisier et la plaque de plâtre* » Critibat, (n°9) p 111

Le tableau introduit précédemment (Fig.17) résume la répartition des déchets produits dans la construction. À première vue, le secteur du bâtiment produit, avec environ 40 millions de tonnes, quasiment cinq fois moins de déchets que le secteur des travaux publics. Toutefois, ces déchets proviennent de différentes branches de ce secteur, « 93% proviennent des démolitions et des réhabilitations, le reste étant issu de la construction neuve »⁴⁷. Dans cette répartition, une nouvelle différenciation doit être faite entre les déchets selon trois catégories nécessitant des traitements particuliers et plus ou moins lourd.

Les déchets inertes caractérisent les déchets issus des matières minérales naturelles ou manufacturées. Représentant 72,4%, ces matériaux comme la pierre, le sable, la brique ou encore le béton, ne se décomposent pas naturellement et ne peuvent également pas être brûlés. En seconde place, on retrouve avec 26,1% les déchets non dangereux et non inertes mais qui ont de grandes chances de s'altérer dans le temps. Enfin les 1,5% restant regroupent l'ensemble des déchets considérés comme dangereux tant pour l'environnement que pour les êtres humains.

Au regard de ces différentes catégories, les déchets considérés comme inertes représentent la plus large majorité et probablement la partie la plus facile à réemployer. On considère ainsi que près des deux tiers sont directement « utilisés comme remblaiement ou bien, une fois transformés en granulats après concassage, le sont en sous-couches routières sur un autre site que le chantier où ils ont été produits »⁴⁸. Cependant, si une partie de ces déchets peuvent trouver un nouvel emploi sur le site même où ils ont été produits et sans nécessité une transformation particulière, cela n'est pas forcément le cas pour l'ensemble des déchets issus des autres catégories.

Comme en atteste les chiffres, l'ensemble des déchets non inertes est majoritairement issu des travaux réalisés en second œuvre. Cette caractéristique induit que ces déchets, par leurs compositions ou leurs assemblages ne peuvent pas être traités de façon naturelle. Leur gestion en fin de vie doit donc être soumise à un travail spécifique en fonction de leurs provenances et de leurs compositions. Face à cette problématique et suite aux premiers mouvements écologiques prônant le développement durable, l'idéologie des 3R a bien souvent été montrée comme un exemple à suivre.

3.3.2 L'idéologie des 3R

Avec l'apparition de la notion de développement durable en 1987, on assiste à l'émergence d'une petite révolution dans le monde de l'industrie et de la construction. Apparu pour la première fois avec le rapport Brundtland, publication ayant servi de base au Sommet de la Terre de 1992, cette notion est définie comme : « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »⁴⁹.

⁴⁷ ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (dir.) (2014) *Matière grise. Matériaux / réemploi / architecture*, Paris : Pavillon de l'Arsenal, p 39

⁴⁸ <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/326/1097/dechets-secteur-construction.html>

⁴⁹ http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/sites/odyssee-developpement-durable/files/5/rapport_brundtland.pdf

Au travers de cette appellation, c'est toute une idéologie et une façon d'agir qui ne demande qu'à être mise en place. Car le développement durable est avant tout une histoire d'équilibre et de compromis entre trois notions distinctes : la portée écologique, la vision sociale et l'aspect économique. Reposant sur ces trois piliers indissociables, cette nouvelle idéologie doit permettre d'apporter des solutions vivables, viables et équitables et, par répercussion, durables. Il s'agit donc d'une approche globale devant répondre aux différentes préoccupations que j'ai pu mettre en lumière tout au long de ce mémoire.

À l'échelle de la construction, ce mouvement a trouvé écho grâce à l'instauration progressive de l'idéologie des 3R. Trois R qui symbolisent trois notions fondamentales que nous devons intégrer dans notre façon de construire pour l'avenir. Le premier R concerne la *Réduction*. Cette notion rejoint certains points déjà abordés précédemment, il nous faut tendre vers une réduction des consommations en énergie et en matières premières avant d'y être contraint par obligation. Cette notion s'accompagne du second R, représentant la *Réutilisation*. Ayant écumé une majorité de nos ressources pour construire et produire différents éléments, il ne tient qu'à nous de les valoriser ou de les réutiliser pour leurs donner une nouvelle vie. Enfin le dernier R, définit le *Recyclage*. Cette notion est certes importante mais implique un apport d'énergie considérable pour pouvoir procéder à un nouveau processus de fabrication. En regardant de plus près ces points, on s'aperçoit qu'ils « *reprennent largement le programme de l'architecture vernaculaire* »⁵⁰ comme j'ai pu l'introduire en début de mémoire. Dans son article « *50 000 ans de maisons pour rien* », l'auteur va même plus loin en proposant de compléter cette pensée en ajoutant « *les 3S de : Situé, Sain et Solidaire* »⁵¹, à la formule. L'ajout de ces trois notions permet ainsi d'envisager des actions davantage tournées vers l'économie d'énergie, l'utilisation de ressources de proximités et enfin de revenir à une certaine forme de coopération humaine en « *reconsidérant les filières de production des matériaux* »⁵².

3.3.3 Des idées difficiles à concrétiser

Les différentes idées développées précédemment sont louables. Elles proposent des solutions alternatives à nos pratiques habituelles et intègrent assez bien les différents principes définis par le développement durable. Toutefois, plusieurs contraintes semblent se dresser sur leurs chemins. Le livre « *Matière grise* » aborde notamment « *les dommages collatéraux* »⁵³ et la face cachée qui suit le processus du recyclage. L'auteur prend l'exemple d'une porte en bois en fin de vie, collectée sur un chantier de démolition pour illustrer les options qui lui sont proposées dans le cadre d'une gestion des déchets. Nous avons d'un côté la prise en charge par un centre de recyclage qui propose deux chaînes de valorisation : « *la valorisation matière [et] la valorisation énergétique* »⁵⁴. À cette étape, la porte est soit broyée pour être remodelée en panneaux de particules, soit brûlée pour générer une énergie destinée à chauffer des bâtiments. Dans le cas où cette porte n'est pas récupérée par un centre de recyclage, une solution de repli existe « *le centre d'enfouissement technique* »⁵⁵.

⁵⁰ PATRICK PEREZ – Op.cit. p 28

⁵¹ Ibidem

⁵² Ibidem

⁵³ ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (2014) Op.cit. – p 38

⁵⁴ Idem – p 39

⁵⁵ Ibidem

Au-delà de ces techniques, c'est avant tout la finalité de cette stratégie qui pose question. Comment pouvons-nous obtenir une valorisation énergétique d'un déchet lorsque l'opération prévoit une dépense supplémentaire d'énergie pour brûler ce même déchet ? C'est sans compter sur les différents dégagements toxiques qui seront engendrés par une telle procédure. L'auteur rajoute également le facteur lié aux transports des déchets, « *pour être rentables, les infrastructures de recyclage doivent traiter de gros volumes et sont donc très peu réparties sur le territoire. Leur éloignement des gisements implique d'importants transports carbonés qui ne peuvent pas être omis dans le bilan global du recyclage* ». ⁵⁶

S'il est assez évident de comprendre pourquoi l'enfouissement des déchets ne peut en aucun cas se révéler comme une solution viable (perte de matières, pollution des sols et des nappes phréatiques etc.), la valorisation dite « *matière* » des déchets présente également ses limites. Ce sujet est largement abordé dans la réflexion des auteurs du livre « *Cradle to Cradle* ». Ils dénoncent ainsi le constat suivant « *recycler davantage revient à sous-cycler, car cette pratique amoindrit la qualité des matériaux au fil du temps* » ⁵⁷. Cette pensée est d'ailleurs partagée par l'exemple entrevu précédemment. Une fois broyée et reconditionnée notre porte en bois deviendra un panneau de particules de bois « *dont l'un des destins sera sûrement de devenir du mobilier bon marché* » ⁵⁸.

Les matériaux n'étant pas créés dans l'optique d'être, à la fin de leur vie, reconditionnée en un autre élément, MC Donough et Braungart estiment que « *dans le recyclage traditionnel, ces matériaux [...] génèrent un produit plus médiocre – et bien moins utile* » ⁵⁹. Au-delà de cet aspect et du côté onéreux d'une telle stratégie, les auteurs s'inquiètent surtout des répercussions que peuvent avoir ces importantes transformations sur l'environnement « *en fait, le « sous-cyclage » augmente la contamination de la biosphère* ». ⁶⁰ Face à ces nombreux inconvénients liés au recyclage, les deux auteurs ont essayé d'apporter une solution qui permettrait de conserver ce concept en le bonifiant vraiment d'un point de vue écologique. Nous le verrons un peu plus tard avec la troisième étude de cas.

Le recyclage comme nous le connaissons actuellement n'étant pas une réussite absolue, il nous reste les principes liés à la réduction et à la réutilisation. De par sa définition propre, le principe de réduction ne peut que s'avérer être une bonne solution, cependant et comme on le retrouve une nouvelle fois dans la réflexion des deux auteurs « *la réduction [...] ne freine pas la diminution ni la destruction, elle ne fait que les ralentir, elle leur permet de se développer à une moins grande échelle et sur une période plus longue* » ⁶¹. Ce concept n'apporte finalement pas de véritable solution sur le long terme, les problèmes sont juste diminués le temps d'une période. Enfin il reste la réutilisation et le réemploi, principes que j'aborderai plus en détail avec la seconde étude de cas.

⁵⁶ Ibidem

⁵⁷ WILLIAM MC DONOUGH & MICHAEL BRAUNGART (2011) Op.cit. – p 82

⁵⁸ ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (2014) Op.cit. – p 39

⁵⁹ WILLIAM MC DONOUGH & MICHAEL BRAUNGART (2011) Op.cit. – p 84

⁶⁰ Ibidem

⁶¹ Idem – p 80

4. RESTAURER LA MATIERE GRISE

Les deux précédentes parties de ce mémoire ont permis de mettre en lumière les principales notions liées à l'évolution de notre façon de construire notre monde. En parallèle, les informations collectées tout au long de ces recherches ont également fait apparaître une multitude de questions et d'hypothèses qui assombrissent réellement nos perspectives d'avenir. Avec cette avant dernière partie, je souhaite m'intéresser à divers travaux menés par des architectes qui tentent de proposer des solutions concrètes pour faire avancer le domaine de la construction vers l'avenir. Cette partie présentera ainsi trois projets mettant en œuvre des solutions constructives alternatives et ingénieuses.

4.1 L'HERITAGE DU PASSE

Le premier projet que je souhaite présenter aborde des notions constructives faisant référence aux méthodes de constructions employées au temps de la préhistoire. Comme j'ai déjà pu l'évoquer au début de ce mémoire, les constructions de cette époque étaient relativement basiques et élaborées exclusivement avec des matériaux issus des ressources minérales ou naturelles présentes à proximité. D'une certaine façon, ces habitats représentent un véritable modèle combinant l'économie de moyens, de ressources mais également une recherche d'intégration environnementale du bâtiment. Au vu de ces nombreuses qualités écologiques, ma première hypothèse de recherche avait été élaborée dans le but d'analyser ces pratiques du passé et d'imaginer si elles pouvaient être transposées au cœur de nos projets actuels. Dans cette optique, et en prenant en considération les contraintes de notre époque, je vais m'intéresser à l'emploi des matériaux biosourcés dans la conception de nos édifices. En parallèle de cette approche et pour s'imprégner intégralement des huttes préhistoriques, l'étude de cas traitera également de la possibilité de réaliser des bâtiments entièrement biosourcés, modulaires et démontables.

4.1.1 Les matériaux biosourcés

Les matériaux biosourcés sont des matériaux issus du vivant, c'est-à-dire des matériaux originaires de la biomasse animale (laine de mouton, plume de canard...) ou végétale (bois, paille, chanvre, ouate de cellulose...). Intégrant les idées prônées par l'architecture vernaculaire, l'emploi de ce type de matière dans le domaine de la construction n'est pas nouveau, comme cela a déjà pu être évoqué en début d'étude. Les matériaux comme le bois ou le chanvre sont ainsi largement exploités pour la construction depuis de nombreuses années dans certaines régions du globe où ces matières peuvent être trouvées en abondance. Outre cette utilisation traditionnelle, ce type de matériaux présente l'avantage « *d'avoir très souvent un bilan carbone neutre voire positif dans le cas où ils stockent du CO₂* »⁶². À la différence des matériaux dits « *traditionnels* », ils peuvent donc être considérés comme durables et bons pour l'environnement. Toutefois, ces produits naturels n'ont pas échappé à l'industrialisation de notre monde et aux différentes réglementations liées à l'urbanisme. Ils bénéficient ainsi d'une meilleure visibilité et couvrent aujourd'hui une plus large gamme de produits. Toutefois les traitements ou les transformations qu'ils peuvent subir ne garantissent plus le caractère 100% naturel du produit de base.

⁶² <http://blog.pages-energie.com/batiments-biosources-construction-zero-impact.html>

Les matériaux biosourcés, tels que nous les connaissons de nos jours, sont principalement utilisés comme isolant au sein de nos bâtiments. Leurs « *bonnes performances thermiques et acoustiques ainsi [que leurs] bonnes contributions au confort d'été* »⁶³ en ont fait des matériaux de premiers choix dans le cadre de constructions ou de rénovations durables. Certains de ces matériaux peuvent également être utilisés sous la forme de simple enduit (chanvre) ou en tant que béton (lin ou chanvre). Outre leurs performances thermiques, choisir ce type de matériaux présente des avantages écologiques indéniables, comme on peut le voir sur le tableau suivant (Fig.18).

Matériaux	Avantages	Inconvénients
Bois 	Renouvelable Utilisable en ITE	Peut nécessiter un traitement chimique contre les insectes et les moisissures pour la laine de bois ou le vrac
Liège 	Très bon isolant acoustique Participe au confort d'été et d'hiver Très résistant et imputrescible	Généralement importé Coût élevé
Paille 	Ressource disponible localement Coût modéré Aucun traitement pour les bottes	Présence éventuelle de formaldéhyde dans les panneaux Nécessite une épaisseur importante Gestion de l'humidité difficile (besoin d'un pare vapeur)
Chanvre 	Naturellement résistant aux insectes Bien adapté pour la rénovation de l'ancien Ressource locale	Temps de séchage long pour le béton de chanvre projeté
Ouate de cellulose 	Nécessite peu d'énergie pour sa production Issus du recyclage	Peu résistant au feu COV
Textile recyclé 	Pas de COV Bonne isolation phonique grâce au coton	Non résistant au feu Tassement facile
Laine de mouton 	Difficilement inflammable	Dégage une odeur Doit être traité

Fig. 18 : Tableau présentant les avantages et inconvénients des principaux matériaux biosourcés.

Provenant de sources renouvelables et facilement exploitables, l'emploi de tels matériaux représente une solution positive et durable pour la planète et pour la préservation des ressources naturelles. Toutefois, ce choix soulève quelques inconvénients. Comme l'ensemble des matériaux de construction, ces derniers doivent respecter certains critères liés à la sécurité incendie ou encore vis-à-vis des assurances. Les techniques de mise en œuvre des matériaux étant généralement réglementées, travailler avec cette nouvelle génération de matériaux peut ainsi nécessiter des demandes particulières pour assurer la mise en œuvre.

⁶³ Ibidem

L'ensemble de ces réglementations a une répercussion directe et non négligeable sur les matériaux biosourcés. Ainsi, afin d'être considérés comme réglementaires, la plupart de ces produits doivent être traités chimiquement. Dans cette optique, la transformation qu'ils subissent altère inévitablement leurs caractéristiques intrinsèques et leur aspect « durable ». Par ailleurs, le caractère « durable » de ces matériaux dépend également fortement de la provenance de la matière. Les matériaux biosourcés étant issus de la biomasse animale et végétale, il est primordial de favoriser avant tout les ressources locales pour minimiser au maximum les impacts liés aux transports.

Face à la montée en puissance de l'utilisation de ces nouveaux composants naturels, la paille et le bois semblent peu à peu s'imposer comme des solutions alternatives et crédibles derrière les matériaux traditionnellement utilisés dans les constructions neuves. Une preuve de cette avancée réside dans l'élaboration d'un label « *Bâtiment biosourcé* » en 2012. Il a pour but de favoriser la promotion de ressources de proximité au sein de construction neuve et d'offrir un plus large panel de matériaux aux maîtres d'ouvrages. Pour obtenir cette labélisation, un bâtiment doit incorporer un taux minimum de matériaux biosourcés en fonction de sa surface de plancher. Cette reconnaissance se décompose suivant trois niveaux dépendants de la diversité et de la quantité de matériaux mis en œuvre. Le projet de bureaux Joliot-Curie réalisé au Havre par l'agence d'architecture Atelier 6-24 fait partie de cette nouvelle génération de bâtiment biosourcé. Il représente notamment le premier édifice à avoir reçu ce nouveau label de niveau 3. Ce bâtiment fera donc l'objet de ma première analyse de cas dans la partie suivante.

4.1.2 Biosourcés et modulaire – à l'échelle d'un bâtiment



Fig. 19 : Aperçu du bâtiment, façade sud.

En observant la photographie (Fig.19) de ce premier bâtiment appelé à obtenir la labélisation « *Bâtiment biosourcé* », on se rend vite compte que nous sommes bien loin de l'image de la petite hutte élaborée au cours de l'ère préhistorique, comme j'ai pu y faire allusion précédemment. Toutefois, ce projet de bureaux situé au Havre et livré en 2014, présente de nombreuses similitudes, dans l'esprit, avec ces constructions primaires. Conçu en bois et recyclable à 80%, ce projet cherche, par sa conception, à répondre au mieux aux différentes contraintes écologiques. Analysons tout cela point par point.

- **Les acteurs du projet :**

Ce bâtiment tertiaire est le fruit d'un concours conception/réalisation lancé en 2013 par la Communauté de l'Agglomération Havraise (CODAH). L'agence d'architecture retenue à la suite de ce concours est l'agence havraise Atelier 6-24. Cet atelier d'architecture regroupe sept personnes dont trois architectes associés et se caractérise comme une agence pouvant réaliser « *une grande variété de bâtiments et d'ensembles urbains [de toutes] les échelles* »⁶⁴. Au niveau de la mise en œuvre et de la réalisation des travaux, c'est la filiale du groupe Vinci, Sogea nord-ouest, qui a obtenu les travaux en collaboration avec le charpentier Pimont, entreprise de construction bois localisée dans l'Eure.

- **Origines et objectifs :**

« *Nous avons souhaité inscrire ce projet dans une démarche environnementale [...] Pour cette raison, le terrain choisi se situe à proximité de l'éco-quartier du Grand Hameau. Et nous avons également souhaité que le bâtiment puisse être complètement démonté.* »⁶⁵. C'est avec ces mots que le vice-président de la CODAH présente ce projet ambitieux et innovant. Dicté par des contraintes drastiques, ce projet devait répondre à quatre objectifs bien définis : la réalisation d'un bâtiment pouvant être labélisé biosourcé, entièrement démontable, livré en moins de 12 mois et en maintenu dans une enveloppe budgétaire fixée à 9 millions d'euros. Les objectifs ainsi définis par le programme ont aboutis à la planification de trois bâtiments distincts, d'une surface de 2400m² chacun, qui s'étendent sur une parcelle de 9700m². Ces bâtiments relevant de l'innovation, le maître d'ouvrage a pris quelques précautions : à l'heure actuelle, un seul des trois bâtiments a été érigé (Fig.20). Le maître d'ouvrage se donne ainsi le temps de voir si ces locaux sont adaptés au lieu et s'ils sont facilement loués avant de poursuivre la construction des deux autres bâtiments. Si cela ne fonctionne pas bien, il pourra alors envisager de déplacer le bâtiment et l'ensemble du projet sur un autre site.



Fig. 20 : Façade nord du bâtiment réalisé.

⁶⁴ <http://www.ateliers6-24.fr/pages/agence-architecture.php>

⁶⁵ <http://www.lemoniteur.fr/article/le-premier-batiment-biosource-demontable-et-reversible-a-souhait->

- *Caractéristiques techniques :*

Face à ce défi de taille, architecte, charpentier, constructeurs et maître d'ouvrage ont travaillé en étroite collaboration pour mettre en place un système de construction permettant une mise en œuvre facile, rapide et réduisant au maximum l'impact du bâtiment sur son environnement proche.

Afin de répondre à cette dernière contrainte, l'idée de réaliser une structure sur pilotis (Fig.21) est apparue comme une évidence dès le début de la concertation.

L'espace ainsi dégagé au sol a été aménagé en parking, ce qui permet d'améliorer le cadre de vie et les espaces extérieurs à proximité des bureaux.



Fig. 21 : Structure sur pilotis et aménagement des places de stationnement.

Confronté à un délai restreint, à un budget serré et à la nécessité de créer une structure modulaire et démontable, il a été convenu de réaliser l'ossature du bâtiment suivant une trame poteaux-poutres en bois lamellé sous forme de kits préfabriqués et boulonnés les uns aux autres.



Fig. 22 : Assemblage des modules préfabriqués.

Ces modules (Fig.22) de 6m sur 2,60m ont été élaborés en atelier avant d'être acheminés et montés sur place. L'architecte en charge du projet explique ce choix : « Nous devons mettre en œuvre un bâtiment de 18 mètres de large pour une surface totale de 2400 mètres carrés, mais avec un maximum d'espace intérieur pour y installer des open-space. Il a fallu éviter d'ériger une forêt de poteaux et réduire leur taille le plus possible. »⁶⁶

L'aspect final du bâtiment est plutôt simple, de forme rectangulaire, il se développe suivant une « trame très simple, sobre et efficace »⁶⁷ sur deux étages. On y accède en façade nord grâce à des coursives qui s'étalent sur l'ensemble de la façade.

⁶⁶ Article le moniteur.fr – Op.cit.

⁶⁷ Ibidem

- **Matériaux employés :**

Le projet a été élaboré avec l'objectif de pouvoir être recyclé à 80% minimum. Dans cette optique et pour répondre au programme initial, il présente un « *taux d'incorporation de matériaux biosourcés de 71kg/m² de surface plancher, soit le double du seuil minimal requis pour atteindre le niveau 3 du label* »⁶⁸. Ces bonnes statistiques sont principalement dues au choix des matériaux utilisés pour concevoir le bâtiment (Fig : 23).

PARTIE DU BATIMENT	MATERIAUX	FORMES	OBSERVATIONS
Structure verticale	Bois	- Panneau de bois massif - Panneau ossature bois - Poteaux / poutres	Mélèze (pin) issue de forêts écologiques importées d'Autriche Bardage thermohuilé à cœur en trois teintes différentes avec de l'huile naturelle pour faciliter son entretien et pour empêcher son grisonnement avec le temps
Structure horizontale	Bois Acier	- Panneau de bois massif - Plancher mixte bois/acier - Solivage traditionnel	
Revêtement extérieur	Bois	- Lame bois lamellé-collé - Lame bois massif - Claire-voie	
	Acier	- Module métallique permettant l'accroche du bardage	
Menuiserie extérieure	Bois	- Brise soleil	
Aménagement extérieur	Bois	- Caillebotis - Aménagement paysager	
Isolation	Laine de verre	- En intérieure et entre montants	
	Laine de roche	- En extérieure	
Fondation	Béton	- Pilotis	
Local technique + muret entrée	Béton de terre	- Panneau de bois massif	Plus cher et moins solide qu'un béton traditionnel, choisis pour son aspect écologique

Fig. 23 : Présentation des différents matériaux utilisés.

Au vu de ce tableau, on constate qu'un réel effort a été effectué quant au choix des matériaux utilisés. Label « Bâtiment biosourcé » oblige, le bois apparaît comme le matériau phare de ce projet. On peut également remarquer l'emploi d'un matériau développé et breveté spécialement pour le projet : le béton de terre, utilisé pour bâtir les locaux techniques et le muret d'enceinte. « *Ce béton nous a permis de remporter le concours, soutient Emmanuel Parc, de la Sogea Nord-Ouest. La CODAH souhaitait qu'un matériau innovant biosourcé soit utilisé dans le projet.* »⁶⁹.

⁶⁸ Ibidem

⁶⁹ Ibidem

- *Démarches environnementales :*

Le projet de bureau Joliot-Curie impressionne par sa vitesse de réalisation. L'appel à candidature a été lancé en juin 2013, le permis de construire a été déposé en janvier 2014 ce qui a permis aux travaux de commencer en juillet 2014 pour se finir le 19 décembre de la même année, soit à peine cinq mois de chantier. Si une telle planification n'est pas habituelle, surtout lorsqu'il s'agit d'innover dans la conception, c'est avant tout les démarches environnementales intégrées par le projet qui attirent l'attention. À peine deux mois après la livraison du chantier, le bâtiment a déjà obtenu la certification HQE et est en attente de la labélisation biosourcée. Ces nombreux labels de qualité viennent récompenser une longue réflexion menée par l'équipe de conception. En choisissant d'intégrer un bureau d'études environnementales dès les premières esquisses, l'équipe lauréate a ainsi décidé de réaliser une réelle analyse paysagère du site sur lequel ils s'implantaient.

Outre la réalisation de pilotis pour minimiser l'impact du bâtiment sur son environnement, ce dernier a été développé suivant les principes de l'architecture bioclimatique. Il présente une « forte compacité permettant notamment de minimiser les ponts thermiques »⁷⁰, l'orientation nord/sud choisie favorise un grand apport solaire passif dans les locaux. Enfin, l'installation de nombreux brise-soleils sur les coursives et aux abords des ouvertures permet de prendre en compte le confort d'été en limitant les apports excessifs de soleil. Ces ouvertures ont d'ailleurs été spécialement dimensionnées pour « réguler les apports solaires en fonction des saisons. »⁷¹. Les équipements techniques desservant le bâtiment intègrent également ce concept. L'éclairage est ainsi optimisé dans les locaux, une VMC simple flux fonctionnant seulement en période d'activité a été installée et pour finir, des panneaux rayonnants électriques et une pompe à chaleur sur eau de mer participent au chauffage du bâtiment. Toujours dans cette optique durable, un séparateur à hydrocarbure a été mis en œuvre en collaboration avec l'université du Havre pour favoriser le traitement des eaux de ruissellement.

Les nombreux éléments que je viens de mettre en lumière au cours de cette sous-partie nous montrent que ce bâtiment présente une identité différente des bâtiments traditionnels. L'emploi quasiment exclusif de matière biosourcée combiné avec une stratégie de conception tournée vers la modularité et le désassemblage font de ce bâtiment un projet à part. Véritable prototype d'une nouvelle génération de construction, il permet ainsi de proposer des pistes de recherches et une véritable réflexion sur notre façon de construire dans l'avenir. Un tel projet réanime également le mythe de la réversibilité d'un bâtiment. De par sa modularité, ce projet peut être amené à être entièrement démonté pour être reconstruit ailleurs. Par ailleurs, initialement prévu pour des bureaux, ce projet prévoit de pouvoir accueillir des logements au cours d'une utilisation différente dans le futur. En proposant ce large panel d'innovations et de possibilités, ce projet apparaît comme la solution tant espérée permettant de répondre à l'ensemble des problématiques que nous avons entrevues tout au cours de ce mémoire. Mais qu'en est-il réellement ? Pouvons-nous envisager de développer un tel dispositif à plus grande échelle ? Ce type de projet tient-il réellement toutes ses promesses ?

⁷⁰ <http://www.batiment-normandie.ademe.fr/les-batiments-biosources-et-modulables-de-la-codah-au-havre>

⁷¹ Ibidem

4.1.3 Réversibilité ou simple réutilisation ?

L'analyse de ce bâtiment fait apparaître trois grandes interrogations relatives au caractère écologique, architectural mais aussi fonctionnel.

Le responsable environnement du projet le concède, ce bâtiment n'est « *pas forcément la meilleure réalisation biosourcée, mais le compromis trouvé entre le coût, la qualité et le délai est sans aucun doute le meilleur* »⁷². Le constat ainsi dressé est justifiable. Comme nous l'avons vu précédemment, pour être véritablement naturel et durable un matériau biosourcé doit avant tout être issu de la filière local. Toutefois, sur ce projet, la majorité du bois utilisé pour concevoir le projet a été importé directement d'Autriche. Bien qu'il provient de forêts écologiques et durables, l'impact environnemental causé par l'acheminement de ce bois jusqu'en France ne peut être négligé. Au même titre que le bois, l'isolant utilisé au sein des parois laisse quelque peu perplexe. En choisissant des laines minérales au profit d'isolants d'origine animale ou végétale, le bilan environnemental n'est pas optimal pour les matériaux.

L'implantation du bâtiment représente également un point sensible. Si le choix de réaliser ces bureaux sur pilotis est une solution louable pour limiter l'impact environnemental du site, l'aménagement a néanmoins nécessité un important terrassement sur la parcelle (Fig.24). Dans ce sens, même si le bâtiment peut être amené à changer de lieu, il laissera tout de même une importante trace sur le site (fondations béton, parking, voirie...).



Fig. 24 : Préparation du chantier.

Enfin pour terminer cette réflexion consacrée à l'identité écologique du bâtiment, on ne peut que soulever la question liée à l'orientation générale du bâtiment. Si son exposition nord/sud est vantée pour son apport solaire, la présence de large coursives et de brise-soleils sur la façade nord du bâtiment (Fig.20) tend à mettre à mal cette vision (cf. plan masse en annexe). En ajoutant une épaisseur supplémentaire à la largeur propre du bâtiment (18m) l'apport lumineux au cœur du bâtiment n'est pas facilité, voire inexistant. La mise en place de brise-soleils horizontaux sur la façade sud représente une bonne chose pour se protéger au maximum des entrées solaires, toutefois, employer ce même équipement en façade est/ouest ne représente pas la solution la plus performante et efficace (préférer les brise-soleils verticaux).

Le second point que je souhaite aborder dans cette analyse correspond au côté architectural du bâtiment. En optant pour un système de bâtiment en kit basé sur la

⁷² Article le moniteur.fr – Op.cit.

modularité des éléments, les concepteurs se sont restreints à générer une forme finalement assez simple et brute, un énorme parallélépipède rectangle sur deux étages. Si ce schéma de structure convient pour accueillir des activités tertiaires, on peut néanmoins se questionner sur son intégration dans le paysage urbain. Localisé dans une ZAC, à proximité d'un nouvel éco-quartier, le bâtiment épouse plutôt bien la typologie prédominante de cette zone, toutefois quand serait-il s'il devait être déménagé sur un autre site qui ne serait pas industriel ? Sachant que la modularité d'un système impose de nombreuses contraintes, cette solution peut-elle être transposée à d'autres types de bâtiment et d'activité ?

En tant que futur architecte, ce bâtiment me pousse à m'interroger sur la place de l'architecte au cœur de tel projet. Finalement, intégrer la modularité au cœur de nos projets architecturaux reviendrait à adopter une certaine forme d'industrialisation généralisée des bâtiments, ce qui marquerait un arrêt important de la réflexion et du travail mené par l'architecte. Si on se penche du côté des acteurs qui ont réalisé les bureaux Joliot-Curie, on ne peut que remarquer la présence d'un grand groupe du BTP : Vinci, avec sa filiale Sogea. Face à cette concurrence, l'architecte peut vite se retrouver relégué au second plan.

Le dernier point sur lequel je souhaite m'arrêter correspond à la fonctionnalité d'un tel bâtiment et à son utilisation dans le temps. Ces locaux ont ainsi été vendus comme un ouvrage pouvant être entièrement démonté, transposable sur un autre site et même réversible dans son utilisation (bureaux/logement). Cette dernière possibilité représente d'ailleurs un subtil rêve encore non maîtrisé par les architectes. Différente d'une rénovation, reconversion ou simple transformation d'un bâtiment en fin de vie, la réversibilité apparaît comme une réflexion menée dès les premiers croquis. Cette notion « *permet d'intégrer dès la conception tant les nouvelles façons d'habiter – colocation, petites unités familiales, capacité à agrandir ou réduire le logement au fil de sa durée de vie – que les nouvelles façons de travailler – 'coworking', espaces de travail complémentaires au travail à la maison, espaces ouverts ou fermés selon les besoins.* »⁷³. Une telle solution implique alors de prévoir, à l'avance, l'évolution future du bâtiment pour lui permettre d'être restructuré à moindre coût. Dans cette optique, la notion de réversibilité du projet Joliot-Curie pose question.



Fig. 25 : Intérieur du bâtiment.

Comme nous l'avons vu précédemment avec les mots de l'architecte, l'objectif initial était d'obtenir « *un maximum d'espace intérieur pour y installer des open-space* » comme on peut le voir ci-contre (Fig.25). L'édifice a ainsi été élaboré comme une coquille vide permettant d'ajuster l'organisation intérieure selon l'occupation.

⁷³ <http://chroniques-architecture.com/reversibilite-de-la-theorie-a-la-pratique/>

Il n'y a donc pas de réel plan directeur justifiant les différentes organisations possibles au sein du bâtiment. Le côté « *boite vide* » de l'ensemble permet certes, d'envisager de multiples changements d'usage mais sans forcément obtenir une véritable qualité architecturale à la fin. Les dimensions hors normes du bâtiment (18 m de larges, trois modules de 6m accolés) symbolisent en premier lieu l'un des plus gros freins à la réversibilité. Il est ainsi très difficile de pouvoir envisager des logements spacieux, confortables et jouissants d'une bonne lumière naturelle au cœur de ce vaste montage.

En choisissant ce projet ambitieux, je souhaitais analyser la mise en place de différentes solutions constructives innovantes et durables à l'échelle d'une construction neuve. Ce projet est d'autant plus intéressant pour mon étude, puisqu'il met en relation plusieurs critères s'inscrivant dans cette démarche : utilisation de matériaux biosourcés, principe de démontabilité ou encore tentative de réversibilité des locaux. Il m'aura ainsi permis d'obtenir des premières pistes de réponses aux interrogations soulevées tout au long des précédentes parties. Toutefois, ayant trouvé cette référence tardivement dans mon étude, je n'ai pas eu le recul nécessaire pour pouvoir me rendre sur site. Ce projet étant fortement médiatisé, j'ai pu trouver l'ensemble de ces informations en parcourant de nombreux sites internet. Il y a cependant quelques points qui restent sans réponse, comme la capacité à transformer ces locaux en de véritables logements habitables ou la stratégie mise au point par les architectes pour faciliter cette reconversion. Ayant contacté l'agence d'architecture en charge du projet, dans le but d'obtenir des informations supplémentaires à ce sujet, je n'ai pas eu de retour.

Cette réflexion étant basée sur des solutions techniques uniquement adaptables aux constructions neuves, ma prochaine étude de cas se focalisera davantage sur la mise en œuvre d'un dispositif architectural pouvant convenir autant bien à la construction neuve qu'à la rénovation. Il me permettra également d'aborder de nouvelles notions comme le réemploi de matériaux au sein d'un projet.

4.2 EXPLORER LE POSSIBLE IGNORE

En intitulant cette partie de mon étude : « *explorer le possible ignoré* », je souhaitais faire référence au travail mené par l'architecte Patrick Bouchain. Fervent défenseur d'une architecture basée sur l'échange, la mobilité des éléments ou encore sur la notion du provisoire, Bouchain a développé, au fil de ses expériences et de ses projets, une réflexion sur la possibilité de construire autrement notre architecture. Fondée sur la récupération et le réemploi des matériaux de construction, cette idéologie propose des solutions concrètes permettant de traiter différemment les objets ou les matériaux en fin de vie. Réemployer les matériaux représente une technique de construction qui n'est pas nouvelle. Néanmoins, face à l'épuisement des ressources primaires, à l'augmentation des déchets et au contexte économique actuel, cette méthode regroupe de plus en plus d'adepte et s'impose peu à peu comme une solution technique alternative et crédible dans le domaine de la construction. Dans son livre « *la poubelle et l'architecte, vers le réemploi des matériaux* »⁷⁴ l'architecte Jean-Marc Huygen nous fait partager sa réflexion et son analyse sur l'évolution du réemploi des matériaux au cœur de notre société.

⁷⁴ HUYGEN J.-M. (2008) La poubelle et l'architecte. Vers le réemploi des matériaux, Actes Sud,

4.2.1 Une nouvelle source de matière

Dans un premier temps et afin de ne pas confondre toutes les pratiques, il est important de bien définir et comprendre ce que représente le fait de réemployer un matériau. L'auteur nous donne ainsi cette définition : « *le réemploi est l'acte par lequel on donne un nouvel usage à un objet existant tombé en désuétude, qui a perdu l'emploi pour lequel il avait été conçu et fabriqué* »⁷⁵. D'une certaine façon réemployer implique de « *conserver au maximum la matière à son niveau de complexité, on conserve sa mémoire (forme et histoire) sans dépenser d'énergie. C'est une conservation maximale et non totale car il y a vie, donc usure inévitable et changement d'usage* »⁷⁶. Au vue de la définition précédente, on peut dire que « *la notion de réemploi contient donc à la fois les notions de réutilisation, de récupération et de recyclage* »⁷⁷ toutefois toutes ses pratiques ne sont pas identiques et ne définissent pas la même façon de traiter la matière.

Le principe de réemploi se base sur le respect de deux notions : l'économie d'énergie et la conservation de la mémoire du matériau. Contrairement au réemploi, le recyclage induit une importante dépense d'énergie dans le but d'extraire une matière au sein d'un objet en fin de vie. Une fois prélevée, cette matière sert de base à l'élaboration d'un nouveau matériau, on a donc une perte totale de l'histoire et de la mémoire de l'objet de base. Si ce constat permet de différencier aisément la notion de recyclage avec celle du réemploi, la différence entre réutilisation et réemploi est un peu plus subtile. Tout comme le réemploi, la réutilisation ne nécessite pas de dépenses d'énergie et permet de conserver la mémoire et l'usage d'un objet. Cependant ce principe consiste uniquement à réutiliser un objet selon sa fonction initiale. La différence se situe donc dans la notion de désuétude du matériau et dépend de la posture du réemployeur vis-à-vis de l'objet. Par conséquent, pour être considéré comme un matériau de réemploi, un objet doit être délaissé, voué à mourir et doit pouvoir devenir « *un nouveau matériau riche des traces de son ancien usage* »⁷⁸.

En suivant cette pensée, l'objet désuet devient alors une nouvelle ressource pouvant être réintroduit dans une réflexion constructive, sans nécessiter une transformation particulière. L'auteur considère d'ailleurs « *les objets, matériaux et matières hors d'usage [comme] de la matière noble ou première* »⁷⁹. Au même titre que les quatre familles de matériaux déjà existantes (métalliques, minéraux, organiques et composites), Huygen estime qu'ils représentent une nouvelle famille à part entière. La requalification de ces objets en matériaux de construction, prêt à l'emploi, implique alors de définir de nouvelles règles architecturales et de développer de nouvelles techniques de construction. Leurs mise en œuvre repose alors sur trois modes spécifiques : le glanage, l'accomodage et enfin l'assemblage. Schématisant le nouveau processus de conception imposé par l'utilisation de tels matériaux, ces étapes symbolisent également l'originalité et la particularité de la démarche. Huygen parle alors de l'élaboration d'une nouvelle forme d'architecture, « *l'architecture indisciplinaire* »⁸⁰.

⁷⁵ Idem – p 11

⁷⁶ Idem – p 23

⁷⁷ Idem p 12

⁷⁸ Ibidem

⁷⁹ Idem – p 36

⁸⁰ Idem – p 53

Cette nouvelle forme d'architecture présente une ferme volonté de se détacher de la discipline architecturale comme nous la connaissons. Elle donne ainsi une place importante aux interventions extérieures, à l'imprévu et aux occasions que nous donne la matière et qui transforme inévitablement l'harmonie du bâtiment généré. Choisir de travailler essentiellement avec des matériaux issus de la filière du réemploi comporte, tout de même, quelques difficultés. Comme nous l'avons vu, construire de cette façon dépend, dans un premier temps, des différents objets que l'on peut récupérer et de leurs états de conservation. Il est donc bien souvent impossible de savoir à l'avance avec quels matériaux les concepteurs vont pouvoir travailler. Cette situation contribue à altérer fortement le déroulement logique des étapes de conception élémentaires comme l'obtention d'un permis de construire, l'organisation du chantier ou encore la mise en place d'un budget alloué aux travaux. Dans un second temps, cette nouvelle démarche oblige les constructeurs à faire preuve d'ingéniosité afin d'imaginer de nouvelles solutions techniques pour permettre l'assemblage de chaque élément. Confrontés à des éléments qui ne sont initialement pas prédisposés à être assemblés ensemble, ils doivent avant tout respecter « *les principes de subsidiarité* »⁸¹ et de flexibilité de la matière. Ainsi, « *la reemployabilité est, en général, la manière d'utiliser un matériau telle qu'il puisse devenir un matériau de réemploi* »⁸², grâce à sa réversibilité.

Cette nouvelle façon de concevoir l'architecture et la construction doit toutefois faire face à une problématique de taille liée à l'image qu'elle dégage. Ainsi, les auteurs du livre « *Matière grise* » n'hésitent pas à se questionner sur sa capacité à « *dépasser la contre-culture* »⁸³ et à s'imposer comme une réelle solution aux yeux de la population. Pour Huygen, ce déficit de reconnaissance et avant tout un problème de mentalité : « *à la fin du XXe siècle, le réemploi n'était plus synonyme que de pauvreté, de bidonville ou de favela : la récup' était la seule richesse du pauvre* »⁸⁴. Il va encore plus loin dans sa réflexion en assimilant l'instauration de la poubelle comme l'élément ayant permis la mise en place d'une nouvelle valeur : « *la dignité de la matière* »⁸⁵. De cette manière, même si la poubelle incite à consommer toujours plus en facilitant l'abandon de la matière, elle a contribué à porter une tout autre attention à l'égard de ces objets délaissés.

En abordant ce principe de réemploi, je souhaitais avant tout analyser les limites et les possibilités qu'offre une telle solution constructive. Cette notion m'intéresse d'autant plus car elle présente un véritable challenge pour l'architecte. Face à de telles contraintes structurelles, économiques ou esthétiques, cette idéologie permet de reconsidérer la réflexion de l'activité humaine au sein d'un projet. L'étude de cas qui va suivre traite du siège administratif et pôle éducatif Bil ta Garbi à Bayonne. J'ai décidé d'analyser ce projet car il propose la mise en œuvre d'un tout nouveau système de façade réalisé à l'aide de palettes de récupération. En travaillant sur le réemploi des matériaux, les architectes ont réussi à changer la destination principale de cet objet phare de l'industrie pour en faire un véritable matériau de construction et le symbole du bâtiment. Plus qu'un simple élément de façade, ce réemploi contribue à insérer le projet au cœur du territoire.

⁸¹ Idem – p 43

⁸² Idem – p 46

⁸³ ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (2014) Op.cit. – p 88

⁸⁴ HUYGEN J.-M. (2008) Op.cit. – p 13

⁸⁵ Idem – p 74

4.2.2 Palettes et façades – à l'échelle d'un système

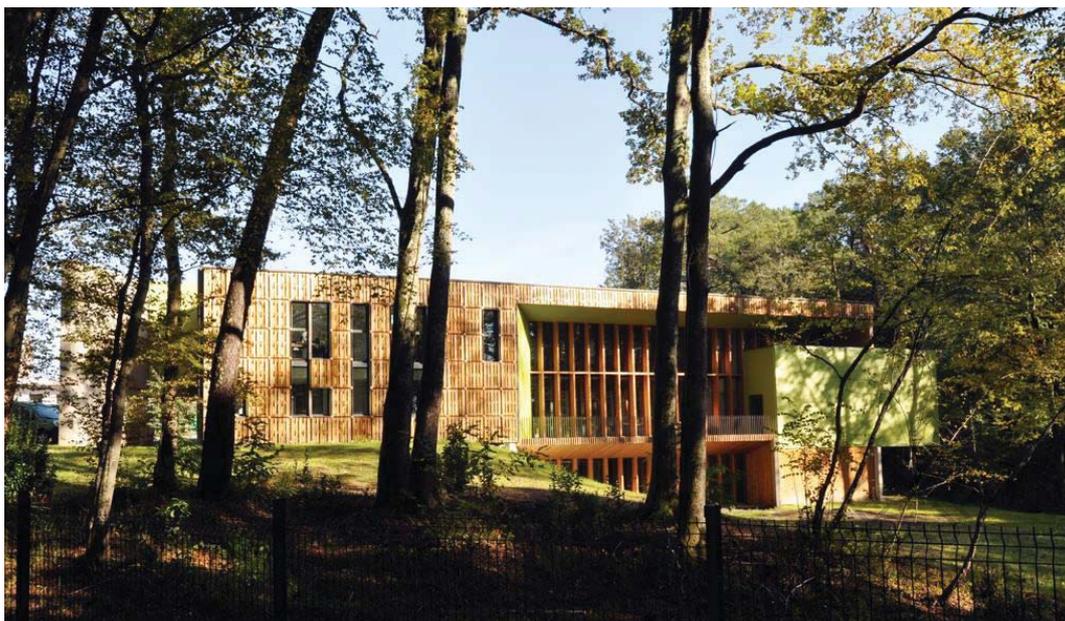


Fig. 26 : Aperçu du projet Bil ta Garbi.

- Les acteurs du projet :

Ce projet est le résultat d'une demande établie en 2010 par le syndicat mixte de traitement des déchets Bil ta Garbi. La maîtrise d'œuvre et la conception ont été confiées à l'agence d'architecture XB Architectes, basée à Bayonne. Cette petite agence de quatre employés a notamment contribué à la création du « *Projet Bazed* »⁸⁶. Ce projet de recherche a été développé dans le cadre de l'appel à projet de R&D « *déchets du BTP* » lancé en 2012 par l'ADEME. Lauréat du concours, cette démarche, menée durant trois ans, a pour but d'apporter une « *aide globale à la conception de bâtiments pour réduire leur production de déchets à toutes les étapes de leur cycle de vie* »⁸⁷. Le bâtiment traité au cours de cette étude de cas participe à ce programme de recherche. En ce qui concerne la mise en œuvre et le développement de ce nouveau système de façade, les architectes ont travaillé en collaboration avec l'entreprise de charpente Hourquebie, située à Beyrie-sur-Joyeuse.

- Origines et objectifs :

Comme on peut le voir sur la photo précédente (Fig.26), le bâtiment prend place au milieu d'un sous-bois à l'extérieur de la ville de Bayonne et à proximité de l'autoroute A63. Le maître d'ouvrage a choisi ce lieu car il se situe à seulement quelques pas de la nouvelle usine de traitement et de valorisation des déchets, Canopia. Le choix d'implantation n'est donc pas un hasard et appelle ce bâtiment à devenir une véritable vitrine pour l'usine voisine. Outre cet aspect, les architectes ont également dû faire face à des contraintes naturelles et techniques leur imposant de minimiser au maximum l'impact du bâtiment sur le terrain ou encore de favoriser la filière sèche pour optimiser la gestion du chantier.

⁸⁶ <http://www.bazed.fr/decouvrir-la-demarche/projet-bazed-financement-objectifs>

⁸⁷ Idem

- *Caractéristiques techniques :*

Les contraintes précédemment citées ont joué un rôle important dans le déroulement de la réflexion constructive. Ainsi, dès les premières esquisses, les architectes se sont basés sur la réalisation d'une ossature porteuse légère en bois et sur l'utilisation de palettes de récupération comme éléments de bardage extérieur.



Fig. 27 : Ossature du bâtiment.

Les contraintes géotechniques ont obligé les concepteurs à développer une structure poteaux-poutres en bois, comme on peut le voir ci-contre (Fig.27) pour minimiser les charges sur le terrain.

Toutefois l'assise du bâtiment a été réalisée à l'aide de voiles porteurs en béton, pour assurer la bonne stabilité du bâtiment.

Le choix du bois pour réaliser l'ossature porteuse s'explique également par la ferme volonté de construire ce bâtiment par le biais de la filière sèche. Cette solution implique d'élaborer, dans un premier temps, l'ensemble des éléments bois en usine (Fig.28 et 29) avant de les assembler directement sur le site.



Fig. 28 : Préparation des montants en usine. ▲



Fig. 29 : Réalisation des murs extérieurs en usine. ►

Dans le but de faciliter les opérations et de réduire le plus possible les opérations sur le chantier, la plupart des murs sont à ossature bois préfabriqués. On retrouve à nouveau une certaine forme de modularité dans les éléments et les assemblages, comme on a pu déjà le voir avec l'étude de cas précédente. Cette modularité est assumée par les concepteurs puisqu'elle est avant tout imposée par le calepinage des palettes utilisées en façade.

Le travail d'assemblage des palettes en façade a ainsi conditionné l'organisation générale intérieure du bâtiment ainsi que la modularité de son ossature bois. Par ailleurs, l'emploi d'un tel matériau n'étant pas commun en construction, les concepteurs ont dû réfléchir à l'élaboration d'un système permettant cet assemblage.

Les palettes sont accolées verticalement les unes à côté des autres sur l'ensemble de la façade. La liaison entre les éléments et le mur porteur est réalisée à l'aide d'écrous de banches vissés/boulonnés disposés aux quatre angles de la palette.

Ce système constructif permet ainsi de rendre toute la façade facilement démontable. Il facilite également le remplacement, l'entretien voir le recyclage de l'ensemble des composants si besoin.



Fig. 30 : Système d'assemblage des palettes.

- **Matériaux employés :**

Hormis l'assise du bâtiment, qui a été réalisée en béton, la majorité des matériaux employés sont biosourcés. Le bois est ainsi largement mis à l'honneur au cœur de ce projet, pour répondre à une contrainte structurelle tout d'abord mais également pour favoriser l'intégration des locaux dans le paysage avoisinant. Implanté à proximité d'une nouvelle usine de traitement et de valorisation des déchets, ce bâtiment a été conçu pour donner un relief encore plus important au réemploi des matériaux. Le réemploi de palette en bois pour réaliser l'enveloppe du bâtiment symbolise ainsi le travail mené dans cette zone d'activité.

Le projet a nécessité 340 palettes de type Europe 120x80 (Fig.31) issues de la filière de récupération.

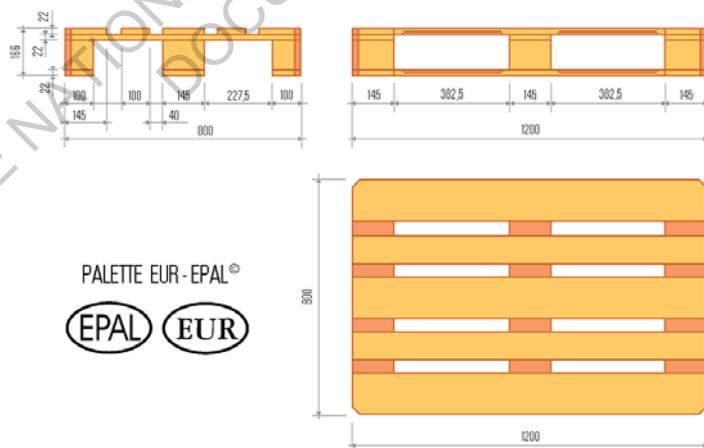


Fig. 31 : Caractéristique technique de la palette.

Ce type de palette est l'un des plus utilisée dans l'industrie alimentaire. Elle est composée de 5 lattes de bois en partie supérieure et permet de couvrir une surface d'environ 0,96m².

Formée à base de pin ou de peuplier, son poids est généralement compris entre 22,5 et 27kg pour une épaisseur totale de 16,6cm.

- **Démarches environnementales :**

Il est reconnu que le bois est un matériau issu de la biomasse végétale. Par conséquent, en employant abondamment ce matériau biosourcé, le projet réalise déjà un premier pas vers une démarche durable et en adéquation avec l'environnement. Par ailleurs, en optant pour une réalisation du bâtiment en filière sèche, une grande partie du bâtiment peut être amené à être démonté et recyclé facilement dans le futur.

En choisissant de détourner l'utilisation des palettes en bois, les concepteurs ont fait le choix de travailler avec un objet industriel adepte de la réutilisation. Ainsi « *la palette est un produit réutilisable et réutilisé, en moyenne 28 fois sur une durée de vie de 8 ans !* »⁸⁸. On remarque notamment, avec l'analyse du cycle de vie suivante (Fig.32), que la palette est un matériau extrêmement suivi et contrôlé tout au long de sa vie. Très peu polluant : « *Sur tout son cycle de vie, une palette bois émet autant de gaz à effets de serre qu'un parcours en voiture de 31 km* »⁸⁹, sa fin de vie est également très encadrée : « *lorsqu'une palette arrive en fin de vie, elle est valorisée énergiquement (broyat pour alimenter les chaufferies bois) ou recyclée (panneaux de particules ou autres applications) ce qui limite encore son empreinte carbone.* »⁹⁰

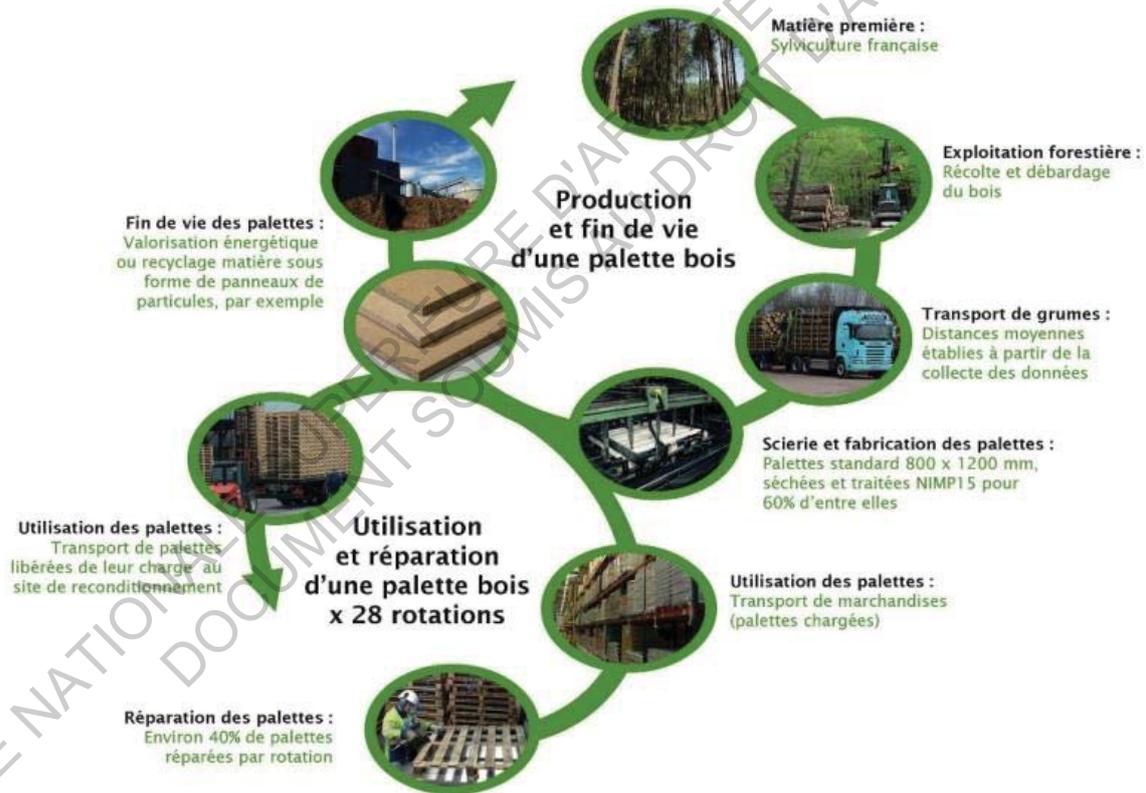


Fig. 32 : Analyse du cycle de vie de la palette.

Cette « *valorisation énergétique* » a déjà été abordée plus tôt dans ce mémoire et ne correspond pas forcément à la meilleure des solutions d'un point de vue durable et écologique. Donner une seconde vie à ce matériau peut donc se révéler être une alternative intéressante.

⁸⁸ http://www.fcba.fr/sites/default/files/files/plaquette_ACV_palette.pdf

⁸⁹ <http://www.mpbois.net/analyse-du-cycle-de-vie-d-une-palette-actualite.a83.html>

⁹⁰ Ibidem

4.2.3 *Le réemploi, entre mémoire et réputation*

Tout comme le projet « *Oktavilla* »⁹¹ développé par l'architecte suédois Elding Oscarson, cette réalisation est dans un sens remarquable. En choisissant le réemploi des matériaux comme angle d'attaque, l'architecte utilise l'objet qu'est la palette en bois pour véhiculer une véritable histoire autour du projet. Ce choix n'est pas anodin, symbole du monde industriel, cet objet est connu et reconnu par l'ensemble de la population. Toutefois, peu de monde est vraiment capable d'expliquer ou de définir quelle est la raison d'être de ces palettes, en dehors du transport de charges. C'est dans une situation comme celle-là que la réflexion proposée par Patrick Bouchain prend tout son sens : « *explorer le possible ignoré* ».

Ce matériau, à première vue banal, est pourtant aujourd'hui au cœur d'une nouvelle mode. En sortant cet élément de son usage initial, de nombreux constructeurs ou designers en herbe n'hésitent pas à transformer ce matériau en divers objets du quotidien : table basse, chaise longue, meuble... Exploiter cet objet nous amène alors à découvrir de nombreuses possibilités qui n'apparaissent pas forcément à première vue. Les architectes désignés pour concevoir ce projet l'ont bien compris. En exploitant la mémoire de l'objet et en conservant sa forme initiale, ils lui ont donné une nouvelle fonction dans un rôle qu'il n'était pas sensé tenir. Cette situation est d'autant plus remarquable qu'elle a imposé aux concepteurs d'être innovants et d'apporter une importante réflexion pour mettre en œuvre ce système structurel. Ils ont, en quelques sorte, préféré la matière grise et l'innovation à la facilité des systèmes de construction traditionnels.

En dehors de cette vision novatrice liée au réemploi des palettes, ce projet a rencontré quelques difficultés avant de voir le jour. Les pouvoirs publics en charge de suivre le projet sont ainsi apparus sceptique sur la volonté d'employer un matériau en façade dont ce n'est pas la fonction première. Ils ont ainsi obligé la maîtrise d'œuvre à réaliser un prototype à l'échelle 1 du dispositif pour pouvoir analyser son évolution dans le temps, « *le vieillissement anticipé de ce dernier a contraint l'équipe de maîtrise d'œuvre et l'entreprise à adapter le système* »⁹². Avec cet échantillon à taille réelle, des modifications ont dû être apportées sur le système : « *les palettes ont été séchées, rabotées et traitées autoclave marron les pointes remplacées par des pointes galvanisées pour assurer l'esthétique du bâtiment dans le temps* »⁹³.

L'instauration d'un tel système de façade, bien en dehors du schéma conventionnel, interpelle et suscite questions et curiosités. De cette manière, j'ai essayé de prendre contact, à plusieurs reprises, avec l'agence d'architecture qui a conçu ce projet dans l'espoir de pouvoir poser quelques questions (Cf. questionnaire en Annexe). Toutefois, l'architecte en charge du projet n'a pas souhaité donner suite à ma requête. Au vu des modifications nécessaires à la mise en place des palettes, on peut notamment se questionner sur la légitimité d'installer un tel dispositif. Dans un même temps, il serait intéressant d'en savoir un peu plus sur le traitement réalisé sur chaque palette. Quelle sorte de traitement a subi ces composants ? (traitement chimique ou naturel ?).

⁹¹ ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (2014) Op.cit. – p 146

⁹² <http://www.bazed.fr/projet-exemplaire/bil-ta-garbi-2>

⁹³ Ibidem

Si ce matériau a principalement été utilisé dans le but de promouvoir le réemploi des matériaux et la revalorisation des déchets, symbolisé par l'usine à proximité du site, sa mise en œuvre au cœur de ce projet peut prêter à débat. Ainsi et comme j'ai pu le relever dans mon questionnaire, l'une des principales contraintes était d'alléger au maximum la structure du bâtiment dans le but de minimiser l'impact sur le terrain. Cependant, si on compare ce type de bardage avec un bardage bois traditionnel, on s'aperçoit que ce dispositif est largement plus lourd : environ 28 kg/m² contre tout juste 11 kg/m² pour du bardage en mélèze traditionnel. Nous nous retrouvons donc en contradiction avec la volonté initiale. Par ailleurs, lorsque l'on observe la forme même d'une palette, on ne peut que s'apercevoir qu'il ne s'agit pas d'un composant étanche. Les écarts entre les différentes planches ne permettent pas de protéger efficacement de la pluie et du vent la structure du bâtiment. Dans une région relativement pluvieuse comme le Pays Basque, on peut se demander si cette solution constructive et la plus performante.

Parmi les nombreux renseignements délivrés par le site internet « *bazed* », on remarque que l'une des principales forces de ce système réside dans le côté financier. « *Dans le cas du chantier de Bil ta Garbi où les accès sont compliqués, changer les palettes coûterait environ 52 € l'unité (contre environ 85€ HT/m² pour un bardage classique)* »⁹⁴. Le décompte de cette somme précise que la pose, à elle seule, représente un peu plus de la moitié de ce prix (29,40€ U/HT) tandis que la palette de remplacement, traitée et prête à la pose, correspond à un peu moins du quart (14,60€ U/HT). La matière première étant issue de la récupération, elle est donc bien moins chère qu'un bardage classique. La force du réemploi se situe avant tout dans l'abondance et la proximité des matériaux pouvant être réemployés, « *ils sont disponible partout où l'être humain est établi sur la planète* »⁹⁵.

Le réemploi de matériaux dans la conception de bâtiment neuf est souvent confronté à certains préjugés ou craintes liés à l'esthétique ou à la qualité de ces matériaux. Dans le cadre de ce projet, je serais tenté de dire que l'esthétique même du bâtiment est plutôt réussie. Le projet s'intègre bien dans le cadre paysager et la répétition des éléments réemployés en façade crée un ensemble harmonieux qui fait presque oublier la nature même du matériau. En imposant un calepinage strict, les architectes ont instauré un ordre et une règle qui diffère de l'« *architecture indisciplinaire* » décrite par Huygen et comme nous avons pu le voir plus tôt.

Au fil de ces deux études de cas, nous avons pu nous rendre compte que l'utilisation des matériaux biosourcés est bénéfique d'un point de vue écologique et qu'ils pouvaient s'inscrire dans une démarche durable. Par ailleurs, devant faire avec l'héritage de nos ancêtres, la seconde étude de cas a permis d'aborder la notion de réemploi des « *produits vulgaires* » issus de la production industrielle. Cette approche représente, certes, un challenge intéressant pour les architectes mais elle cristallise également beaucoup trop de contraintes pour être véritablement une solution d'avenir. La dernière étude de cas que je souhaite traiter propose un compromis entre ces deux visions. En s'interrogeant sur la façon dont nous produisons nos matériaux de construction, le concept que je vais présenter propose de changer radicalement notre façon de concevoir, en commençant par la matière au cœur de nos matériaux.

⁹⁴ Ibidem

⁹⁵ HUYGEN J.-M. (2008) Op.cit. – p 37

4.3 « CRADLE TO CRADLE »

Au cours de la première partie de ce mémoire, mes recherches ont mis en lumière le rapport dual entre l'Homme et la Nature comme possible point de départ de notre crise écologique actuelle. Comme nous l'avons également vu, ce rapport a tourné largement à la faveur des hommes et de leur quête incessante de développement. En exploitant la Nature, il a ainsi favorisé l'élaboration d'un système de production permettant de fabriquer rapidement et à grande échelle une multitude de produits industriels. Dans cette conception, la Nature n'est en aucun cas actrice, elle permet de fournir les matières premières mais n'est à aucun moment valorisée par le processus de fabrication. Cette situation est aujourd'hui devenue préoccupante. Nous commençons à voir apparaître les conséquences indésirables d'une surproduction qui n'a pas anticipé son évolution dans le futur. Les matières premières s'épuisent peu à peu alors que nous nous retrouvons confrontés à une quantité astronomique de « *produits vulgaires* » arrivant en fin de vie et qui n'intègrent aucune politique de revalorisation. Les études de cas précédentes nous ont montré que ce type de produits peut trouver une nouvelle utilité en intégrant un processus de réemploi de la matière. Toutefois cet état d'esprit présente de nombreuses contraintes non négligeables. Dans un second temps, si le recours à des matériaux plus durables et naturels commence à émerger, il faudra néanmoins attendre quelques années avant que cela ait un impact significatif sur notre façon de construire. Ces démarches apparaissent alors plus comme des solutions temporaires que de véritables solutions d'avenir. On peut ainsi imaginer qu'elles puissent servir de transition, le temps d'élaborer une nouvelle Révolution Industrielle mais écologique cette fois.

4.3.1 « Cradle to Cradle » - une Ré-évolution Industrielle

Face aux principales contraintes écologiques qui guettent le monde de la construction avec l'épuisement des ressources naturelles, la gestion des déchets ou encore la revalorisation de la matière, l'architecte américain McDonough et le chimiste allemand Braungart ont décidé de mener une véritable étude sur nos processus de fabrication et sur le traitement de la matière en général. Avec cet angle d'attaque, les deux auteurs ont choisi d'aborder le problème à la source, dans le but de proposer une nouvelle façon de « *redéfinir la manière dont nous fabriquons les choses* »⁹⁶. Le livre débute par une rétrospective menée sur la façon dont nous concevons actuellement nos matériaux. Ils dénoncent alors très vite la surproduction d'une multitude de « *produits vulgaires* » comme nous l'avons vu précédemment dans ce mémoire. En parallèle, ils s'intéressent également aux nouvelles idéologies visant à revaloriser la matière en fin de vie, symbolisées en grande partie par le recyclage. Avec cette analyse brute, les auteurs veulent mettre en avant la nécessité de reconsidérer notre savoir-faire, nos méthodes de conception mais également la provenance de nos ressources primaires.

Le chapitre 2 du livre est notamment consacré à une étude entièrement conduite autour de la question suivante : « *Pourquoi être « moins mauvais » n'est-il pas bon ?* »⁹⁷. Les auteurs nous expliquent alors pourquoi les différentes initiatives permettant de reconsidérer les matériaux en fin de vie sont louables mais pas suffisantes pour changer concrètement la donne.

⁹⁶ WILLIAM MC DONOUGH & MICHAEL BRAUNGART (2011) Op.cit. – p 13

⁹⁷ Idem – p 69

Par ailleurs, ils n'hésitent pas à présenter la face cachée de ces procédés. Ainsi, pour eux, recycler revient le plus souvent à « *sous-cycler* »⁹⁸ la matière, c'est-à-dire produire un nouveau matériau de moins bonne qualité et à « *augmenter la contamination de la biosphère* »⁹⁹ avec l'ajout de produits chimiques. En soulignant cela, ils cherchent avant tout à pointer du doigt la composition réelle de ces produits banals, commercialisés à grande échelle et qui peuvent s'avérer dangereux pour les consommateurs. Dans cette optique, même si les solutions analysées présentent de bonnes idées d'un point de vue écologique, le résultat n'est pas optimal à cause de la mauvaise conception des matériaux.

Leur réflexion se porte ainsi sur la nécessité de changer notre façon de faire et de voir plus loin que les solutions nous permettant d'être simplement moins mauvais. Il faut reconsidérer entièrement la façon dont nous fabriquons nos produits mais aussi la façon dont nous gérons la matière avec laquelle nous les fabriquons. Ils suggèrent alors d'adopter « *les principes de l'éco-bénéficence* »¹⁰⁰ pour développer un nouveau modèle économique et industriel différent permettant d'être à 100% bon. Cette vision prône alors le développement « *d'industriels éco-bénéfiques développant un produit ou un système en le considérant dans son ensemble [...] ses effets potentiels, à la fois immédiats et à long terme, respectueux du temps et de l'espace* »¹⁰¹. D'une certaine façon, leurs démarches a pour but de faire évoluer notre schéma classique et linéaire de la matière, appelé « *de berceau à tombeau* »¹⁰², défini comme suit : extraction – transformation – production – utilisation – destruction, vers un cycle fermé (Fig.33), où en fin de vie, la matière devient la première ressource permettant une nouvelle production.

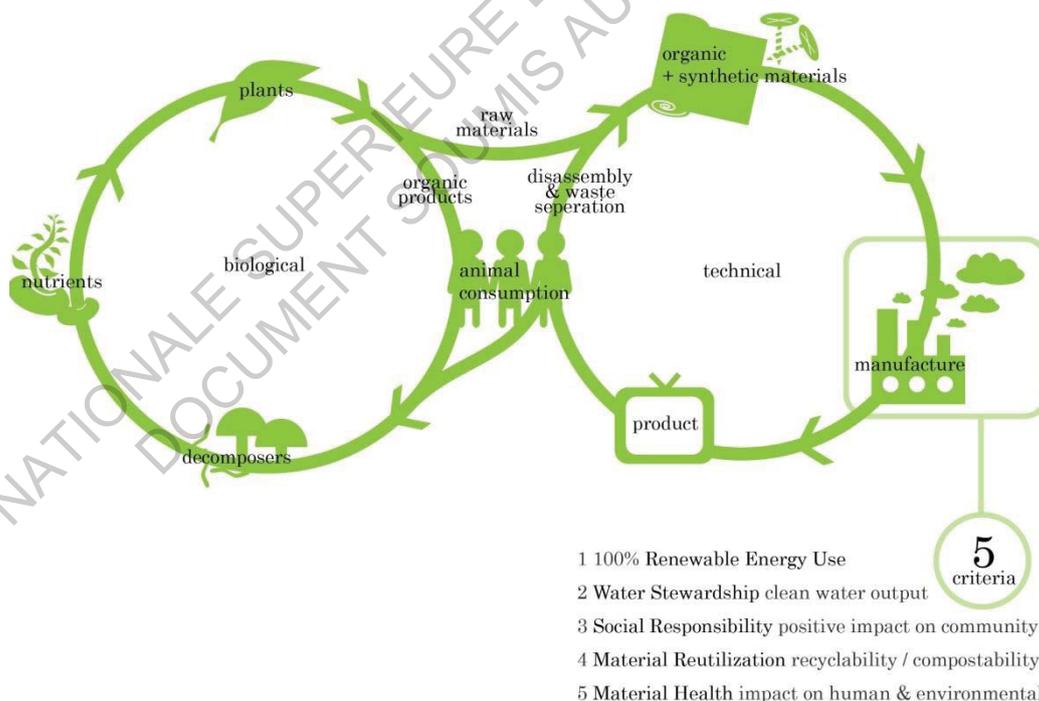


Fig. 33 : Les cycles du Cradle to Cradle.

⁹⁸ Idem – p 82

⁹⁹ Idem – p 84

¹⁰⁰ Idem – p 209

¹⁰¹ Idem – p 112

¹⁰² Idem – p 126

Cette conception « *de berceau à tombeau* » est avant tout le symbole du « *gaspillage des nutriments – une nourriture précieuse à la fois pour l'industrie et la nature* »¹⁰³ que l'on trouve dans la composition des matériaux et qui se perd définitivement une fois le matériau jeté. L'objectif de la conception Cradle to Cradle, que l'on peut traduire « *du berceau au berceau* », est de prendre en compte le cycle de vie de la matière dans son ensemble pour lui permettre d'intégrer un cercle de production entièrement fermé et contrôlé. Cette démarche tend alors à supprimer entièrement la perte de la matière et des nutriments lorsque le matériau arrive à la fin de sa vie. Afin d'élaborer un système efficace, les deux auteurs ont pris exemple sur ce que l'on retrouve au sein de la nature : « *Si les humains souhaitent vraiment demeurer prospères, ils vont devoir se calquer sur le système berceau-à-berceau des flux de nutriments et métabolismes hautement bénéfique de la nature, au sein duquel le concept de déchet n'existe pas* »¹⁰⁴. Ils ont alors pris comme point de départ les deux principaux métabolismes cohabitant sur la Terre : le biologique (biosphère) et le technique (technosphère) (Fig.33).

Le premier cycle relève du biologique, de nutriments pouvant être consommés dans la nature par des micro-organismes. Il s'agit de matériaux biodégradables ayant la possibilité de se décomposer dans l'optique de devenir un engrais naturel ou de simplement retourner à la terre à la fin de leur utilisation. Le second cycle correspond au métabolisme technique. Ce cycle correspond à l'utilisation de nutriments techniques, comme les métaux, conçus pour intégrer un cycle industriel fermé où la matière pourra être sur-cycler et où la notion de déchet n'existera plus. Par ailleurs, et afin de conserver la pureté de chaque élément, ces deux cycles doivent impérativement être dissociés. Face à ces deux cycles de production, nous retrouvons une troisième classe de matériaux, les « *hybrides monstrueux* »¹⁰⁵ caractérisant « *des mélanges de matériaux à la fois techniques et biologiques ne pouvant être recouverts après leur vie usuelle* »¹⁰⁶, soit à cause de leur dangerosité soit du fait de leurs compositions complexes. Au regard de ces derniers, les auteurs ne proposent pour le moment pas de solution miracle, seulement de les stocker en attendant de développer des solutions permettant de les traiter de la bonne façon.

La mise en place de cette nouvelle forme de production doit toutefois intégrer quelques critères de bases fondés sur le respect de la diversité. McDonough et Braungart mettent alors en avant la nécessité de développer une durabilité locale, c'est-à-dire préférer les circuits courts et l'utilisation de matériaux locaux. Outre cette mesure, les auteurs prévoient l'utilisation d'énergie 100% renouvelable au cours du cycle de production. Le soleil et le vent jouent donc un rôle important dans le processus de fabrication. La stratégie de conception suit également une philosophie basée sur « *la diversité de besoins et de désirs* »¹⁰⁷. Dans ce sens, la forme générale doit suivre l'évolution future et envisager différentes exploitations possibles en fonction des potentiels utilisateurs. D'un point de vue général, cette nouvelle façon de concevoir nos produits doit prendre en compte l'analyse tripartite : équité – écologie – économie. Dans cette optique, nous ne nous contentons plus d'utiliser notre environnement mais nous participons également à le servir et à l'entretenir.

¹⁰³ Idem – p 132

¹⁰⁴ Idem – p 138

¹⁰⁵ Idem – p132

¹⁰⁶ Ibidem

¹⁰⁷ Idem – p 179

4.3.2 La mise en pratique – à l'échelle du matériau

La théorie de ce nouveau système de production semble simple sur le papier. Le concept est basé sur une production abondante mais dépourvue de nocivité selon deux processus distincts : le biologique et le technique. Dans cette vision, les déchets produits sont récupérés pour devenir la matière première d'un nouveau processus de fabrication grâce au compostage pour le cycle organique et le recyclage pour le cycle technique. Toute cette nouvelle chaîne de production est alimentée par des sources d'énergie renouvelables et permet de produire des matériaux pouvant « être recyclables à l'infini, sans perte de qualité de cycle en cycle »¹⁰⁸. Au cours de cette partie, je souhaite m'intéresser au passage de la théorie à la pratique et observer comment cette ambition peut se matérialiser. Dans un premier temps je présenterai le label Cradle to Cradle qui a été mis en place pour pouvoir évaluer les différentes utilisations du principe. Par la suite, je vais m'intéresser à un projet phare mettant en œuvre les différents principes de cette idéologie.

La philosophie Cradle to Cradle se matérialise avant tout par l'élaboration d'un système de certification permettant d'évaluer les capacités d'un produit, d'une entreprise ou d'un bâtiment à intégrer ce concept. La labélisation est découpée en cinq niveaux (basique, bronze, argent, or et platine) selon le degré d'investissement et d'application des principes vus précédemment. Cette évaluation est menée par l'agence privée EPEA (Environmental Protection Encouragement Agency), qui évalue les candidats selon cinq catégories : la qualité des matériaux, le pourcentage de matière réutilisée, la gestion de l'eau, l'équité sociale et l'utilisation d'énergies renouvelables. Dans le cas d'une certification d'un bâtiment, ce dernier doit contenir « des éléments de qualité définie source de valeur ajoutée »¹⁰⁹, d'innovation et de bien-être, comme cela est développé dans le tableau suivant (Fig.34).

Air et Son	Eau	Humus Bionutriments Biodiversité	Energie	Matériaux
Produit davantage d'air pur que ce que le bâtiment consomme et protège les occupants du bruit chronique	Produit davantage d'eau pure que ce que le bâtiment consomme	Génère un solde positif d'humus, de biomasse et de biodiversité pour l'environnement local	Produit plus d'énergie que le bâtiment n'en utilise en s'appuyant sur des sources renouvelables et des matériaux recyclables	Filières définies, Périodes d'usage définies, Conception pour désassemblage
Produit autant d'air pur que ce que le bâtiment consomme	Produit autant d'eau pure que ce que le bâtiment consomme	Maintient un équilibre entrée-sortie en matière d'humus, de biomasse et de biodiversité	Produit autant d'énergie que le bâtiment n'en utilise en s'appuyant sur des sources renouvelables	Filières définies, Périodes d'usage définies
Contient des aspects innovants quantifiables pour purifier l'air et réduire le bruit chronique	Recycle l'eau de pluie et les « eaux grises » de façon significative	Comprend des éléments quantifiables de génération d'humus ou de biomasse, et de biodiversité	Utilise des énergies renouvelables pour générer au moins un quart de l'énergie requise avec un plan d'amélioration	Filières définies

Fig. 34 : Critères d'évaluations permettant d'obtenir le label C2C.

¹⁰⁸ ROTOR (2012-mars) - *Le cerisier et la plaque de plâtre*, Critibat, (n°9) (1961-5981) – p 104

¹⁰⁹ <http://www.integralvision.fr/page2/page3/page4/page25/cradle-to-cradle.html>

Outre la conception de matériaux, l'idéologie défendue par McDonough et Braungart s'intègre également au cœur de différents projets architecturaux. À l'heure actuelle, si une grande partie reste à l'état de simple projet, le nouvel hôtel de ville de Venlo, aux Pays-Bas, apparaît comme le bâtiment C2C le plus abouti.

- **Les acteurs du projet :**

Une procédure européenne d'appel d'offre a été lancée en 2009 par la municipalité pour la réalisation de ce bâtiment, elle fut remportée par l'agence néerlandaise Kraaijvanger Urbis Architects. Cet appel d'offre s'est déroulé d'une manière particulière. Il a ainsi été demandé aux candidats de présenter leur vision du projet en donnant une attention particulière aux notions initiées par le Cradle to Cradle. Les cinq meilleures visions ont été retenues pour participer à une conférence en présence des deux fondateurs du livre et discuter autour de ce principe. Une fois cette rencontre passée, chaque candidat avait deux semaines pour mettre en application les particularités du système C2C au cœur de leur projet.

- **Origines et objectifs :**

La ville de Venlo est située dans la région de Limbourg, au sud/est des Pays-Bas, à proximité de la frontière allemande. Face aux prévisions de récession économique planant sur la région, la ville de Venlo a fait le pari de miser sur le côté novateur et durable du Cradle to Cradle pour redynamiser son activité et inciter les entreprises à venir investir dans la ville. Comme pour symboliser ce choix d'avenir, la ville a décidé en 2007 de planifier la construction de son nouvel hôtel de ville (Fig.35) en intégrant les principes établis par cette nouvelle philosophie.



Fig. 35 : L'hôtel de ville de Venlo.

Ce bâtiment de 11 étages, comprend 3 niveaux de parking public soit environ 400 places de stationnements. Il se développe sur 13 500m² de surface de plancher dont 2 000m² d'espaces consacrés à l'aménagement de bureaux (environ 630 postes de travail). Les façades sont majoritairement vertes avec 2 062m² de surface végétale. Ce bâtiment a été livré en 2016 pour un coût total avoisinant les 62 millions d'euros.

Avec ce projet, la municipalité se dote « d'un bâtiment ouvert, transparent et accessible »¹¹⁰ proposant un espace de travail sain, agréable et symbolisant son nouveau départ économique. Le « Cradle to Cradle » est donc plus qu'un simple concept écologique, il permet de véhiculer une image innovante et tournée vers l'avenir.

¹¹⁰ <http://www.c2c-centre.com/project/venlo-city-hall>

- **Caractéristiques techniques :**

Avec l'élaboration de ce bâtiment, l'objectif principal consistait à appliquer les réflexions développées dans le livre « *Cradle to Cradle* » au cœur d'un véritable projet. Consciente de ne pas pouvoir réaliser un bâtiment 100% C2C, l'équipe de conception a choisi de se concentrer sur le développement et la mise en œuvre de quatre aspects significatifs :

- ❖ L'amélioration de la qualité de l'air
- ❖ L'intégration des énergies renouvelables
- ❖ La définition des matériaux et de leurs cycles de vie
- ❖ L'amélioration de la qualité de l'eau

En parallèle, l'équipe a également travaillé sur les retombés économiques que peuvent générer la mise en place de ces quatre principes innovants. Dans cette optique, un « *business case* »¹¹¹, permettant de redéfinir l'ensemble des objectifs du projet et comprenant une analyse sur les possibilités d'économiser et de gagner de l'argent au cours de l'utilisation du bâtiment a été établi. Il en est ressorti qu'un investissement supplémentaire de 3,4 millions d'euros était nécessaire à la mise en œuvre des principes du C2C. Toutefois, cet effort permettrait, après 40 ans d'utilisation du bâtiment, d'obtenir un retour sur investissement net de 16,9 millions d'euros, soit environ 11,5% du prix total.

- **Matériaux employés :**

L'un des principes développés précédemment porte sur la définition des matériaux et de leurs cycles de vie. Ainsi, la conception de ce projet comprend des éléments certifiés C2C, intégrant les cycles biologiques ou techniques fermés tout en apportant une valeur ajoutée pour les utilisateurs et l'environnement. La réalisation de ce bâtiment a d'ailleurs incité de nombreuses entreprises à faire certifier certains de leurs produits. Cette démarche s'est concrétisée par la mise en place d'accords signés garantissant la prise en charge des matériaux, par l'entreprise, pour permettre de les recycler proprement. En ce qui concerne les principaux matériaux utilisés et certifiés C2C, on retrouve :

PRODUIT	ENTREPRISE	LABEL	CARACTERISTIQUES
Bois (pin et aulne)	Accsis Group (Pays-Bas)	OR (2010)	- Bois 100% non toxique provenant de forêts contrôlées - Durée de vie : 50 ans - Aucun traitement chimique - 100% recyclable
Bois	Thoma (Pays-Bas)	OR (2009)	- Système de construction en bois massif pouvant être désassemblé, réutilisé, recyclé. - Durée de vie : + 100 ans

¹¹¹ http://www.c2c-centre.com/sites/default/files/Case%20Study%20City%20Hall%20Venlo_Final.pdf
Définition : un business case est une proposition structurée, qui marque un changement dans la conduite des affaires. Ce changement se trouve justifié du point de vue des coûts et bénéfices. C'est un prérequis nécessaire pour toute initiation de projets à grande envergure.

PRODUIT	ENTREPRISE	LABEL	CARACTERISTIQUES
Isolation (polystyrène extrudé)	Blauwplaat B.V (Pays-Bas)	ARGENT (2009)	- Haute résistance thermique - Insensible à l'eau - Haute résistance à la compression - performance à long terme éprouvée - Insensible aux bactéries
Fenêtre	AGC Glass Europe (Pays-Bas)	BRONZE (2013)	- Verre feuilleté acoustique - Isolation thermique, contrôle solaire, protection contre le rayonnement UV
Eclairage	BBLightconcepts (Pays-Bas)	BRONZE (2014)	- Eclairage LED
Mur végétal	Modulogreen (France & Portugal)	ARGENT (2014)	- Système de jardin modulaire vertical pour façade - Absorbe CO ₂ et poussières - Améliore la qualité de l'air - Isole et insonorise

Les matériaux utilisés au cœur de ce projet intègrent tous plus ou moins une démarche écologique soutenue par la certification C2C. Leur mise en œuvre est donc contrôlée et intègre un processus de revalorisation préalablement défini.

- *Démarches environnementales :*

D'un point de vue général, les quatre principaux thèmes traités sur ce projet correspondent au développement d'une démarche respectueuse de l'environnement. Nous avons déjà pu observer cet aspect sur le choix des matériaux, analysons donc les trois autres points. Le premier traite ainsi de l'amélioration de la qualité de l'air intérieur et extérieur du bâtiment.



Fig. 36 : Ventilation naturelle du bâtiment.

Le projet prenant place à proximité d'un réseau routier important, cette démarche est nécessaire pour permettre de purifier l'air extérieur. Dans un second temps, le traitement de l'air intérieur est également important pour créer un espace de travail sain et confortable.

Pour se faire, une importante réflexion sur la ventilation naturelle du bâtiment a été menée (Fig.36). Les concepteurs se sont ainsi servis de la cage d'escalier, située au centre du bâtiment, pour obtenir un débit de ventilation naturelle. Cet espace est directement connecté à une serre végétale positionnée sur le toit de l'édifice.

Cet équipement va alors permettre de capter l'air extérieur, de le purifier et de le transmettre dans l'ensemble de la structure à l'aide d'un système de tuyaux installés dans les planchers (Fig37). En empruntant ce chemin, l'air a le temps de se mettre à une température confortable avant d'être injecté dans les différentes pièces. Cette serre va servir, dans un second temps, à créer un véritable puits de lumière qui permettra d'éclairer et de chauffer naturellement la totalité du bâtiment.



Fig. 37 : Distribution de l'air par les planchers.

Par ailleurs, l'apport solaire doit permettre d'encourager l'interaction entre chaque niveau et favoriser l'utilisation des escaliers. L'amélioration de la qualité de l'air passe également par le traitement de l'air intérieur relâché à l'extérieur du bâtiment. Le processus se fait naturellement au travers du toit et des murs végétaux qui se développent sur la majorité des façades. Les concepteurs ont ainsi calculé qu'en employant ces différents systèmes, le bâtiment va avoir un réel impact positif sur son environnement puisqu'il va permettre de purifier l'air sur un rayon de 500m à la ronde.

En parallèle du traitement de l'air, le bâtiment a été conçu dans le but de pouvoir proposer des solutions concrètes sur la gestion de l'eau. Les eaux de pluie sont récoltées par la toiture végétalisée afin d'alimenter les murs végétaux et les toilettes. Dans un second temps, les eaux usées en provenance des éviers sont collectées par un système de filtres biologiques permettant de les recycler pour l'utilisation des toilettes.

Le dernier point concerne l'emploi des énergies renouvelables. L'objectif initial était de permettre au bâtiment de générer davantage d'énergie que ce qu'il en consomme. Le programme prévoyait ainsi de baisser l'efficacité énergétique du projet de 50% par rapport aux exigences moyennes. Cette stratégie se matérialise par la mise en place de 1 000m² de panneaux photovoltaïques sur la façade sud, pour produire de l'électricité. Cette façade accueille également 25m² de panneaux solaires pour la production d'eau chaude.

Dans cette configuration, l'élaboration de ce bâtiment a permis de réaliser un vrai test grandeur nature dans d'application des théories exposées dans le livre de McDonough et Braungart. Ce bâtiment représente également un véritable symbole pour cette nouvelle philosophie, il démontre que les différentes hypothèses énoncées peuvent se réaliser et que nous pouvons encore changer notre façon de concevoir notre habitat en respectant davantage la Nature et notre environnement. Bien que les premiers projets commencent à voir le jour, cette conception n'apporte pas encore, dans la pratique, toutes les garanties qu'elle promet en théorie, comme nous allons le voir avec la prochaine partie.

4.3.3 *Un concept qui ne demande qu'à grandir*

La philosophie proposée par le Cradle to Cradle a vu le jour vers la fin des années 1980 et a été officialisée en 2002 avec l'instauration de la certification « C2C ». Si cette nouvelle conception a encore bien du mal à percer en France, elle a fait de nombreux adeptes aux Etats-Unis, en Allemagne et surtout aux Pays-Bas. Une évolution en douceur qui gagne peu à peu du terrain : on compte aujourd'hui près de 200 industriels et environ « 3000 produits manufacturés »¹¹² de toutes sortes (matériaux de construction, de bureaux, emballage, d'entretien...) qui ont adopté le mouvement. Au milieu de ces nombreux produits, les matériaux de construction ont une place de choix. On retrouve notamment des produits de base comme les briques ou le bois mais également de nombreux matériaux utilisés dans les opérations de second œuvre comme le carrelage, la moquette, les tuyaux, le lino ou encore la colle.

Intégrer la philosophie Cradle to Cradle revient à redéfinir entièrement le processus de fabrication que nous connaissons actuellement. « *C'est un projet d'entreprise, une nouvelle culture d'entreprise et une nouvelle posture individuelle basée sur la créativité, l'ouverture, la collaboration et la conviction d'être un acteur positif pour son entreprise, la planète et les générations futures* »¹¹³. Dans cette optique, les candidats à la labellisation C2C, se voient contraints de réformer dans les moindres détails leurs méthodes de production, le passage de la théorie à la pratique peuvent s'avérer délicat. Le collectif Rotor a ainsi mené une recherche intitulée : « *Le cerisier et la plaque de plâtre* »¹¹⁴ dans le but d'analyser la mise en place de ce système au cœur d'une entreprise déjà existante. Ils se sont ainsi penchés sur le cas de l'entreprise Gyproc à Kallo, filiale belge de production de plaques de plâtre du groupe Saint-Gobain. Leur choix s'est porté sur cette entreprise car elle a obtenu en 2011 la certification C2C argent pour l'ensemble des produits fabriqués sur son site de production. Cette distinction a été rendue possible grâce à la mise en place d'une filière de recyclage de déchets de plâtre implantée à proximité de l'usine, les installations New West Gypsum Recycling.

Si l'entreprise intégrait déjà dans son processus de fabrication une faible part de matériaux recyclés, issus de ses propres déchets de fabrication, sa collaboration avec New West Gypsum Recycling a permis d'intensifier ce mouvement et d'incorporer davantage de matière recyclée provenant de sites de construction ou de démolition. Rotor insiste notamment sur l'importance de la provenance des matériaux recyclés : « *les excédents de chantiers de construction sont relativement propres, et les déchets produits lors d'une démolition, souvent sales ou humides* »¹¹⁵. Une fois ces matériaux récupérés, un important processus de tri doit être effectué pour dissocier la matière à recycler des impuretés pouvant être néfaste dans le futur cycle de fabrication. En abordant cette étape cruciale du processus, l'auteur de l'étude vise en particulier « *les conditions de travail difficiles* »¹¹⁶ dans lequel sont réalisées ces tâches majoritairement manuelles. Le tri s'effectue ainsi en plusieurs étapes : au déchargement du camion tout d'abord, pour trier manuellement le plus gros des composants, puis par dilution pour permettre le mélange des différents plâtres.

¹¹² <http://www.epeaparis.fr/cradle-to-cradle/produits-certifies/>

¹¹³ <http://www.epeaparis.fr/cradle-to-cradle/foire-aux-questions/>

¹¹⁴ ROTOR (2012-mars) Op.cit

¹¹⁵ Idem – p 108

¹¹⁶ Ibidem

Un second tri est ensuite réalisé, manuellement puis à l'aide d'un aimant pour récolter les éléments ferreux pouvant toujours être contenu dans le mélange. Un broyeur vient séparer le carton du plâtre. Une fois cette étape passée, la poudre obtenue est mélangée aux nouveaux composants dans le but d'intégrer le circuit de production normal. Avec ce processus, l'entreprise Gyproc affirme que : « *Pour notre production, nous utilisons toujours un pourcentage de matériaux recyclés. Soit en moyenne 10 à 15% du volume de gypse total.* »¹¹⁷. Ce faible rendement marque ainsi la première limite du système. Si l'entreprise espère à moyen terme, « *faire monter ce taux jusqu'à 25%* »¹¹⁸ il lui faudrait alors développer son système de tri et de collecte de déchet tout en investissant dans la main d'œuvre et la logistique. Des concessions qui entraînent un coût bien réel et inévitable.

Dans la suite de leur étude, Rotor souhaite analyser les autres limites du système mis en place par McDonough et Braungart aux travers des quatre idées principales qu'ils développent dans leur livre : l'objectif zéro impact, l'abandon de toute substance toxique pour la conception, la volonté d'établir un recyclage infini sans perdre la qualité de la matière et enfin le maintien d'une position ferme dans la mise en place de leur système.

Le premier sujet abordé concerne donc l'objectif « *zéro impact* » du programme. Face à ce challenge complexe, les chercheurs du collectif Rotor questionnent alors les différents impacts environnementaux liés à la production du matériau : « *Or comme la plupart des produits, une plaque de plâtre ne peut aujourd'hui, et ne pourra sans doute jamais, être fabriquée et mise en œuvre sans provoquer, directement ou indirectement, divers impacts environnementaux* »¹¹⁹. Le constat établi est réel, dans l'état actuel, la collecte des matériaux et leurs distributions ont un impact inévitable lié aux transports. Toutefois, comme McDonough et Braungart le soulignent dans le livre, la philosophie vise à favoriser les circuits courts et l'entraide local, ce qui a pour but de minimiser cet impact en attendant d'avoir développé des moyens de transports plus sain. Par ailleurs, l'usine de collecte et de traitement des déchets récupérés a été implantée à proximité de l'usine de production pour minimiser les transports.

Dans une seconde partie, l'article de Rotor se penche sur les difficultés rencontrées par l'entreprise à préserver la matière de toute substance toxique. Ils abordent ainsi, dans cette partie, la question liée aux matériaux intégrant le processus de recyclage mais qui ne répondent pas aux critères de base du C2C. « *Le processus se complique très nettement dès que l'on fait intervenir de la matière recyclée provenant de sources incontrôlables* »¹²⁰. Cet aspect représente l'une des plus grosses contraintes à laquelle doit faire face la philosophie du Cradle to Cradle. Toutefois, les auteurs, conscients des limites de leur programme, sont davantage tournés sur le long terme et sur une restructuration progressive de l'ensemble des méthodes de travail et des savoir-faire. Par ailleurs, et comme nous avons pu le voir avec l'exemple précédent, des engagements sont généralement pris entre le constructeur et les entreprises pour assurer le recyclage des produits C2C à la fin de vie d'un bâtiment. La traçabilité des matériaux devenant également de plus en plus étudiée, les matériaux seront alors davantage surveillés et contrôlés pour éviter tout risque de pollution.

¹¹⁷ <http://www.gyproc.be/infinito/fr>

¹¹⁸ ROTOR (2012-mars) Op.cit – p 109

¹¹⁹ Idem – p 110

¹²⁰ Idem – p 111

L'un des plus gros combats mené par le processus Cradle to Cradle vise à favoriser un recyclage infini de la matière sans compromettre la qualité du matériau formé. « *Upcycling* » plutôt que « *downcycling* ». Là encore, l'étude menée par Rotor met à mal cet objectif : « *Dans le cas de la plaque de plâtre, la nécessité de diluer de la matière souillée dans de la matière propre indique clairement que l'usage même du plâtre en altère la qualité* »¹²¹. Une nouvelle fois, le procédé étant encore à ses débuts, cette situation devrait évoluer favorablement une fois que l'entreprise aura davantage développée sa filiale de recyclage.

La dernière réflexion menée par Rotor concerne la viabilité du système de certification mis en place pour évaluer les produits C2C. Ils s'étonnent ainsi de voir que le « *système de certification est finalement très complaisant* »¹²² vis-à-vis de produits évalués et qui sont « *vraiment loin de réaliser toutes les ambitions du livre* »¹²³. La certification C2C étant découpée en 5 niveaux, on retrouve donc des compromis au niveau de l'évaluation réelle d'un produit. Cependant, ce problème est symptomatique des labels en général.

Au cours de leur analyse, l'équipe de Rotor définit clairement la position du Cradle to Cradle : « *Le livre de Braungart et McDonough, dont le sous-titre est « Repenser la façon dont nous produisons les choses », ne propose rien de moins que le lancement d'une nouvelle révolution industrielle, fondée sur un système productif d'un genre totalement nouveau* »¹²⁴. Avec leur philosophie, ils souhaitent installer un système alternatif à grande échelle, radicalement différent, permettant de sortir de notre système de production actuel. Ils sont conscients que cette élaboration ne se fera pas du jour au lendemain et ils assument le côté progressif et expérimental de leur démarche. Pour assurer une bonne évolution, ils se basent sur deux critères fondamentaux : le retour d'expérience et la participation. Le projet analysé dans la partie précédente fait donc partie d'un programme de développement urbain qui s'étend sur le long terme. Ce projet a servi de point de départ et d'objet d'étude dans la mise en pratique du concept C2C. À la suite de sa construction, des conclusions et une analyse sur sa mise en œuvre ont été établis pour réaliser une sorte de feuille de route listant les critères à respecter dans l'optique d'un futur projet.

La conclusion de l'analyse effectuée sur les plaques de plâtre C2C a mis en lumière un point très important de la démarche Cradle to Cradle : la participation citoyenne. Les plaques de plâtre C2C produites en Belgique intègrent une liste de matériaux pouvant être achetés par des particuliers en leur permettant de bénéficier d'une exonération de cotisations sociales et d'impôts. Le produit rentre donc dans une démarche écologique encouragée par l'Etat. Toutefois, les auteurs dénoncent l'ironie de la solution en indiquant que ces plaques de haute qualité environnementale « *sont précisément celles qui auront le moins de chance de rejoindre un jour la filière de recyclage* »¹²⁵ du fait d'un manque de point de collecte. Dans cette optique, si les utilisateurs peuvent bénéficier d'avantages financiers avec l'utilisation de ces matériaux, il serait intéressant de les mobiliser pour permettre le futur recyclage des éléments, en contrepartie.

¹²¹ Ibidem

¹²² Idem – p 112

¹²³ Ibidem

¹²⁴ Idem – p 111

¹²⁵ Idem – p 113

5. ... ET TOUT Y RETOURNE

« *Tout vient de la terre et tout y retourne* ». Cette célèbre citation du dramaturge grec Ménandre reflète assez justement les différentes notions que je souhaitais aborder au cours de cette étude. Utilisée comme fil conducteur, cette vision symbolise dans un premier temps le rapport dual entre l'Homme et la Nature mais également le cycle de vie de tout être vivant, végétal ou objet présent sur Terre.

Face à ce constat, ma première réflexion s'est portée sur les raisons historiques qui ont alimenté, au fil des époques, ce combat permanent entre l'Homme et la Nature. Conquête des territoires, dogmes religieux ou encore volonté d'expansion pour son habitat, tant de raisons qui ont poussé l'Homme à prendre le contrôle sur la Nature et à l'exploiter de plus en plus. En effet, la Nature recèle, avant tout, d'un important capital de matières premières pouvant desservir l'action humaine. Une richesse qui se trouve dans nos sous-sols et qui est le produit de millions de siècles de photosynthèse engendrée par l'action du soleil. Ce processus naturel n'est pas renouvelable à l'échelle de temps humaine, les stocks présents sont donc précieux puisqu'ils sont épuisables. Le rapport dual entre Homme et Nature apparaît une nouvelle fois à cette étape de mon étude. Alors que la Nature se développe selon un processus naturel qui n'impacte pas son environnement et qui permet même de contribuer à son évolution, l'Homme choisi un processus radicalement différent. Bénéficiant des évolutions scientifiques et technologiques, ce dernier base l'ensemble de son processus d'évolution sur l'exploitation des ressources primaires trouvées dans le sol pour se développer le plus rapidement possible. Toutefois, dans son entreprise, l'Homme ne se préoccupe guère de son environnement et de sa prospérité sur le long terme. Cette stratégie est symbolisée par les différentes révolutions industrielles et par l'avènement de la production industrielle à grande échelle. L'être humain n'a alors qu'un seul but permettre de développer des techniques efficaces de production pour répondre à une croissance exponentielle de la démographie mondiale.

Dans ce contexte, le secteur de la construction et de l'habitat symbolise un domaine clé dans le processus d'évolution de l'Homme. Devant répondre à une demande toujours plus pressante d'infrastructures, il représente le secteur d'activité qui consomme le plus de matières premières : tout d'abord avec leur extraction, pour permettre la conception des matériaux de construction mais également pour la mise en service des bâtiments, l'électricité, le chauffage ou encore la climatisation. Au fil du temps, les techniques de construction ainsi que le savoir-faire se sont développés et adaptés aux différents matériaux utilisés et aux réglementations en vigueur pour devenir peu à peu une mécanique bien huilée et systématique qui ne laisse que peu de place à l'innovation.

Nous arrivons aujourd'hui à un croisement de notre évolution, les pratiques d'hier ne nous permettront pas de continuer à évoluer de la sorte. Par ailleurs, la crise écologique que nous subissons couplée à un épuisement annoncé des matières premières nous oblige à re-questionner nos méthodes de construction et notre savoir-faire. Ma problématique, « *En quoi les enjeux liés aux matériaux de construction peuvent-ils participer à la requalification du savoir-faire de l'architecte ?* » prend donc en compte cette situation. Elle m'a alors amené à étudier trois différents cas d'études présentant trois philosophies différentes permettant d'entrevoir des solutions pour notre avenir, d'un point de vue architectural.

Le domaine de la construction est un secteur en constante évolution. La première partie de ce mémoire nous a notamment démontré que les matériaux, employés au cœur de nos projets varient en fonction des époques, des modes ou tout simplement des possibilités. À notre époque, où l'abondance de biens et de choix est encore possible, l'architecte est généralement désigné comme celui qui va choisir le type de matériaux à mettre en œuvre. Les enjeux liés au choix des matériaux sont multiples, il faut ainsi prendre en compte l'aspect économique, écologique, sensible, technique voir même normatif : un ensemble de critères qui oblige l'architecte à rester au courant des dernières évolutions et des nouveautés constructives

Les enjeux liés au choix des matériaux évoluent selon les époques, c'est pourquoi j'ai souhaité intégrer la temporalité à mon étude. Ainsi, ma première analyse de cas était basée sur l'application de principes de construction anciens au cœur de nos projets actuels. Ma seconde étude concernait, la notion du réemploi des matériaux, une manière de concevoir qui fait aujourd'hui de plus en plus d'adepte. Cette technique impose à l'architecte d'innover et de développer de nouvelles méthodes de construction pour répondre à un défi architectural d'envergure. Enfin la dernière était consacrée à l'analyse de la philosophie du Cradle to Cradle : plus qu'une simple requalification des matériaux de construction, elle envisage de donner une nouvelle impulsion au métier d'architecte.

Ma première étude de cas devait me permettre de répondre à cette hypothèse :

- Est-il possible de transposer les techniques anciennes de construction au cœur de nos projets actuels ?

Avec cette hypothèse, mon but était de m'intéresser à une époque où nos actions n'impactaient pas encore réellement notre environnement et où l'enjeu lié au choix des matériaux était inexistant. À cette époque, il n'y avait pas non plus d'architectes mais les techniques de construction utilisées étaient ingénieuses. Elles permettaient de réaliser des abris avec des matériaux provenant exclusivement de la biomasse végétale et proposaient déjà une stratégie de désassemblage pour limiter les impacts sur l'environnement. Un tel savoir-faire a été progressivement mis de côté au profit de matériaux industriels bien plus efficaces et résistants. Avec cette étude de cas, je souhaitais ramener ces principes constructifs à notre époque et voir comment nous pouvons les insérer au sein de projets architecturaux actuels. Cette combinaison, permettant la mise en œuvre de matériaux biosourcés selon une stratégie de conception favorisant le désassemblage et le recyclage de la structure, s'intègre parfaitement à notre contexte actuel. Face à une remise en question des matériaux issus de la pétrochimie et à la difficile gestion des déchets usagers ou en fin de vie, opter pour cette nouvelle stratégie de conception représente un défi que doit relever l'architecte. Le travail effectué sur les bureaux Joliot-Curie au Havre m'a ainsi permis d'analyser la mise en œuvre de ces nouveaux matériaux renouvelables selon une conception modulaire et démontable à l'infini. Reprenant les principes du temps passé, le résultat est tout à fait convenable et propose même une alternative à développer. Toutefois, une telle conception présente quelques points de vigilance à améliorer ou à respecter.

- L'emploi de matériaux biosourcés peut s'avérer être une bonne alternative à nos matériaux traditionnels modernes. Cependant il est préférable de favoriser des matériaux locaux (minimiser les impacts liés aux transports) et provenant de filières contrôlées et gérées durablement.
- La construction sèche représente une solution intéressante dans l'optique du désassemblage d'un bâtiment. Cette solution permet de reconsidérer les démolitions et de mieux anticiper le recyclage des matériaux de construction.
- Le choix de réaliser le bâtiment suivant un système modulaire permet certes, de gagner du temps sur la conception mais il peut vite limiter l'expression architecturale des projets. L'architecte doit alors veiller à ne pas engendrer de simples boîtes modulaires ne présentant aucune qualité architecturale.
- Le principe de modularité peut également s'avérer néfaste pour le travail de l'architecte. Qui dit modularité, dit production à la chaîne et par conséquent industrialisation.

Ma seconde hypothèse nous ramène à notre situation actuelle. Devant faire face aux difficultés liées à une accumulation de matériaux usagés et en fin de vie, des architectes essaient de réconcilier notre société avec le principe du réemploi.

- Comment l'architecte peut-il donner une nouvelle vie à des matériaux en fin de vie ?

La crise de la matière première étant d'actualité, quelques architectes ont fait le choix de développer un nouveau type d'architecture basé sur le réemploi d'objets tombés en désuétude. Permettant de redonner une seconde chance à ces objets en fin de vie, ce procédé suggère une réorganisation totale du schéma de conception traditionnel. Cette idéologie casse les codes de l'architecture traditionnelle, ainsi la forme ne doit plus suivre la fonction mais la flexibilité du matériau qu'elle réemploie. Cette hypothèse de recherche suggère également que l'architecte joue un tout nouveau rôle dans la conception du bâtiment. Sa réflexion permet de replacer l'utilisation de la matière grise au cœur de la question de conception. Les enjeux liés au réemploi de ces matériaux sont considérables et multiples. Cela incite l'architecte à innover, à trouver des solutions constructives encore inconnues et même à détourner des objets de leurs utilisations premières. Dans cette optique, choisir de travailler avec des matériaux de réemploi impose de répondre aux enjeux esthétiques, écologiques, économiques, sensibles et également techniques. L'imprévu occupe nécessairement une place importante dans ce concept, loin de la modularité du système précédent, le réemploi est davantage ouvert aux excentricités et aux apports extérieurs. Néanmoins ce système présente des limites à prendre considérations :

- Ce concept permet de réemployer des matériaux voués à la mort, cette revalorisation de la matière ne fait finalement que repousser le problème lié à la fin de vie du matériau.
- Le point fort du réemploi réside dans l'abondance et la diversité de la matière. Les matériaux de réemploi sont situés partout où l'homme exerce une activité.

- Tout comme l'emploi des matériaux biosourcés, il est préférable de favoriser les circuits-courts et les filières de matériaux locales.
- En optant pour cette architecture, le savoir-faire de l'architecte est totalement remis en question. Les matériaux ne sont pas standards, les systèmes d'assemblages sont à inventer et l'esthétique du bâtiment doit être soignée pour valoriser le matériau réemployé et en faire l'identité du bâtiment.

Le rapport dual entre l'Homme et la Nature étant un point de discordance important dans notre évolution, je voulais, avec ma dernière hypothèse, voir s'il n'était pas possible de combiner ces deux éléments pour développer un tout nouveau processus de fabrication de matériaux. Il donnerait alors une place importante à la Nature, elle serait actrice du processus et permettrait l'élaboration de bâtiments plus sains et agréables à vivre pour les Hommes.

- Pouvons-nous envisager d'intégrer la Nature au centre de nos processus de fabrication ?

Cette hypothèse m'a amené à étudier une philosophie que j'ai découverte au Danemark, par le biais d'un de mes professeurs, le Cradle to Cradle. Cette idéologie propose tout simplement de lancer une toute nouvelle révolution industrielle écologique qui permettrait à l'ensemble de nos systèmes de production d'intégrer la Nature au cœur du processus. Si cette entreprise se révèle ambitieuse, elle propose néanmoins des solutions concrètes pouvant s'appliquer aux matériaux de construction et aux projets architecturaux dans leur ensemble. Innovante et ambitieuse, cette philosophie contraint également l'architecte à requalifier ses méthodes de travail, ici la forme doit suivre l'évolution de la matière ce qui implique de procéder à d'importantes analyses sur le cycle de vie de la matière. Ce concept regroupe finalement quelques notions que nous avons pu aborder avec les deux premières hypothèses, comme l'emploi de matériaux biosourcés, l'importance du tri des déchets pour permettre un recyclage optimal ou encore les nouvelles missions confiées à l'architecte. Il devient notamment le garant de la bonne mise en œuvre des matériaux sur le chantier et de la bonne application du principe du Cradle to Cradle tout au long des phases de conception du bâtiment.

- Le Cradle to Cradle propose une nouvelle approche de la conception architecturale et de la production de matériaux en général. Il s'agit d'une vision à développer sur le long terme et qui peut s'affirmer comme une alternative à notre système actuel.
- Ce principe se veut être une économie circulaire et de fonctionnalité à impact positif. Par conséquent, la mise en œuvre nécessite, pour le moment, un investissement financier supplémentaire mais qui est amorti au fil des années grâce à la prise en compte totale du cycle de vie des matériaux et du bâtiment.
- Le processus étant encore jeune, l'application de ces principes relève pour le moment de l'éco-innovation.
- Sa vision écologique, sociale et novatrice en fait un élément moteur de communication et de promotion tourné vers l'avenir.

Ces trois nouvelles conceptions de l'architecture marquent un réel changement dans l'ordre et la forme architecturale normalement établis. Toutefois, ces études nous ont montré que des notions similaires peuvent se retrouver dans chaque vision, comme l'importance de l'analyse du cycle de vie des matériaux. Le concept de réemploi nous démontre bien que sans stratégie de valorisation de la matière, nous serons toujours confrontés à un problème de gestion des déchets en fin de cycle. L'analyse du cycle de vie prend alors tout son sens, pour éviter le gaspillage, valoriser le produit en fin de vie mais également le réincorporer dans un processus de recyclage de qualité. Par ailleurs, ce travail d'analyse permet également de reconsidérer la fin de vie des bâtiments. La démolition brute doit tendre à disparaître pour laisser place à des stratégies de déconstruction ou désassemblage favorisant la collecte de la matière et l'optimisation du tri des déchets. Un dernier point est important pour favoriser le développement de ces idéologies, il s'agit du retour d'expérience et de l'implication de l'ensemble des personnes qui œuvrent pour la construction ou qui bénéficient de ce travail. Ces solutions n'étant encore qu'à un stade embryonnaire, le retour d'expérience, le partage d'expérimentation et l'aspect social de la démarche est crucial pour créer un véritable engouement autour d'un objectif commun, ce qui est notamment le cas avec le projet « *Bazed* » ou le programme instauré par le Cradle to Cradle.

D'un point de vue personnel, l'élaboration de ce mémoire de recherche m'a apporté énormément de nouvelles connaissances sur des principes ou des visions de l'architecture que je ne connaissais pas vraiment. Ces recherches m'ont également donné l'envie de développer davantage certains de ces principes au cœur de mon travail de conception. L'ensemble de ces réflexions m'a, par ailleurs, fait réfléchir sur l'orientation et la posture que je souhaite développer pour ma future carrière professionnelle. Bien que les solutions présentées ne soient pas encore sur le devant de la scène, je reste persuadé que le domaine de la construction se doit d'évoluer vers de nouvelles pratiques. Les deux premières philosophies étudiées semblent correspondre parfaitement à des solutions de transition, en attendant, pourquoi pas, la mise en place d'un véritable processus de fabrication valorisant la Nature.

Les différentes méthodes de construction que j'ai pu étudier, au cours de ce mémoire, proposent l'emploi de matériaux alternatifs, généralement durable et qui donnent un aperçu des possibilités pouvant être développées. Chaque concept fait l'objet d'une étude architecturale poussée proposant de redéfinir le champ d'action de l'architecte. En ouvrant de nouvelles perspectives, pour ce métier, l'architecte garde son destin en main et voit alors une réelle possibilité de se diversifier et d'être l'un des acteurs phare de la construction de demain. D'une certaine manière, les enjeux économiques, écologiques et durables qui entourent les matériaux de construction peuvent l'amener à entamer une évolution concrète vers l'avenir. Il n'y a qu'en se réinventant et en prenant en considération les enjeux actuels et futurs de notre société que le métier d'architecte pourra perdurer dans l'avenir. Face au tournant écologique que notre société s'apprête à aborder, ce dernier a peut-être trouvé sa nouvelle place...

« *L'architecte doit se rendre le metteur en scène de la Nature* »¹²⁶.

¹²⁶ Etienne-Louis Boullée / Considérations sur l'architecture.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

TABLE DES MATIERES

1. TOUT VIENT DE LA TERRE.....	8
1.1 L'INFLUENCE DANOISE	8
1.2 TOUT EST UNE QUESTION DE MATIERE.....	9
1.3 ENTRE PASSE ET AVENIR : LE PRESENT.....	10
2. LES ORIGINES D'UNE CRISE	12
2.1 L'HOMME PRE-ECOLOGIQUE	12
2.1.1 Branchages et pierres	12
2.1.2 Les prémisses du vernaculaire	13
2.1.3 Innovations et découvertes.....	14
2.2 LE RAPPORT DUAL ENTRE HOMME ET NATURE	15
2.2.1 L'Homme face à la Nature.....	16
2.2.2 L'héritage des croyances judéo-chrétienne.....	17
2.2.3 Quand la science rencontre la technologie.....	18
2.3 QUAND L'HOMME EXPLOITE LA NATURE.....	19
2.3.1 Accroissement de la démographie	19
2.3.2 Un trésor sous nos pieds	20
2.3.3 Un défi de taille.....	21
3. SAUVONS LA MATIERE.....	23
3.1 UNE CRISE DE LA MATIERE.....	23
3.1.1 Les conséquences d'une production à outrance.....	23
3.1.2 Un système de production à revoir	25
3.1.3 Une tyrannie intergénérationnelle.....	26
3.2 LA CONSTRUCTION FACE AUX DOUTES	27
3.2.1 Un secteur en question	27
3.2.2 Un secteur qui consomme.....	28
3.2.3 Des répercussions sur l'environnement et la population	30
3.3 L'ARCHITECTE MAITRE DE LA MATIERE GRISE.....	32
3.3.1 La question des déchets	32
3.3.2 L'idéologie des 3R.....	33
3.3.3 Des idées difficiles à concrétiser.....	34
4. RESTAURER LA MATIERE GRISE.....	36
4.1 L'HERITAGE DU PASSE	36
4.1.1 Les matériaux biosourcés.....	36
4.1.2 Biosourcés et modulaire – à l'échelle d'un bâtiment.....	38
4.1.3 Réversibilité ou simple réutilisation ?.....	43

4.2	EXPLORER LE POSSIBLE IGNORE.....	45
4.2.1	Une nouvelle source de matière.....	46
4.2.2	Palettes et façades – à l'échelle d'un système	48
4.2.3	Le réemploi, entre mémoire et réputation.....	52
4.3	« CRADLE TO CRADLE »	54
4.3.1	« Cradle to Cradle » - une Ré-évolution Industrielle.....	54
4.3.2	La mise en pratique – à l'échelle du matériau	57
4.3.3	Un concept qui ne demande qu'à grandir	62
5.	... ET TOUT Y RETOURNE	65
	TABLE DES MATIERES.....	72
	INDEX DES FIGURES.....	74
	INDEX DES REFERENCES.....	76
	BIBLIOGRAPHIE.....	78
	ANNEXES	80

INDEX DES FIGURES

<i>Fig. 1 : Premiers abris/huttes.</i>	12
<i>Fig. 2 : Technique de mur en clayonnage.</i>	14
<i>Fig. 3 : Maisons - fin de la Préhistoire.</i>	14
<i>Fig. 4 : Représentation schématique des matériaux utilisés au cours du temps.</i>	15
<i>Fig. 5 : Courbe de la démographie humaine</i>	19
<i>Fig. 6 : Consommation mondiale d'énergie primaire commerciale</i>	20
<i>Fig. 7 : Répartition des consommations mondiales d'énergie primaire en 2007.</i>	21
<i>Fig. 8 : Dates d'épuisement prouvées de quelques ressources terrestres au rythme actuel de consommation.</i>	24
<i>Fig. 9: Illustration du cycle de vie des ressources naturelles.</i>	26
<i>Fig. 10 : Consommation d'énergie finale par secteur d'activité en France en 2014.</i>	27
<i>Fig. 11 : Consommation énergétique finale du secteur résidentiel-tertiaire, par type d'énergie utilisée.</i>	28
<i>Fig. 12 : Flux de minéraux et matériaux élaborés à usage principal pour la construction.</i>	29
<i>Fig. 13 : Illustration production des matériaux.</i>	29
<i>Fig. 14 : Schéma processus de fabrication d'un matériau.</i>	30
<i>Fig. 15 : Part des principaux polluants émis par la construction dans les émissions totales nationales en 2006 et évolution depuis 1990.</i>	30
<i>Fig. 16 : Tableau récapitulatif des liens entre les matériaux de construction et les préoccupations environnementales</i>	31
<i>Fig. 17: Répartition des types de déchets produits par les secteurs de la construction en 2008.</i>	32
<i>Fig. 18 : Tableau présentant les avantages et inconvénients des principaux matériaux biosourcés.</i>	37
<i>Fig. 19 : Aperçu du bâtiment, façade sud.</i>	38
<i>Fig. 20 : Façade nord du bâtiment réalisé.</i>	39
<i>Fig. 21 : Structure sur pilotis et aménagement des places de stationnement.</i>	40
<i>Fig. 22 : Assemblage des modules préfabriqués.</i>	40
<i>Fig. 23 : Présentation des différents matériaux utilisés.</i>	41
<i>Fig. 24 : Préparation du chantier.</i>	43
<i>Fig. 25 : Intérieur du bâtiment.</i>	44
<i>Fig. 26 : Aperçu du projet Bil ta Garbi.</i>	48
<i>Fig. 27 : Ossature du bâtiment.</i>	49
<i>Fig. 28 : Préparation des montants en usine. ▲</i>	49
<i>Fig. 29 : Réalisation des murs extérieurs en usine. ►</i>	49
<i>Fig. 30 : Système d'assemblage des palettes.</i>	50
<i>Fig. 31 : Caractéristique technique de la palette.</i>	50
<i>Fig. 32 : Analyse du cycle de vie de la palette.</i>	51
<i>Fig. 33 : Les cycles du Cradle to Cradle.</i>	55
<i>Fig. 34 : Critères d'évaluations permettant d'obtenir le label C2C.</i>	57
<i>Fig. 35 : L'hôtel de ville de Venlo.</i>	58
<i>Fig. 36 : Ventilation naturelle du bâtiment.</i>	60
<i>Fig. 37 : Distribution de l'air par les planchers.</i>	61

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

INDEX DES REFERENCES

- Fig.1 : <http://www.hominides.com/>
- Fig.2 : <http://www.hominides.com/html/dossiers/dossiers.php>
- Fig.3 : <http://www.hominides.com/html/dossiers/dossiers.php>
- Fig.4 : Cours : « Enjeux du choix des matériaux » - Nathalie Tornay – Mars 2016
- Fig.5 : HUGUES STOECKEL (2012) *La faim du monde, l'humanité au bord d'une famine globale*, Max Milo, p 28
- Fig.6 : HUGUES STOECKEL (2012) *La faim du monde, l'humanité au bord d'une famine globale*, Max Milo, p 39
- Fig.7 : <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/Espace-Decouverte/Les-grands-debats/Quel-avenir-pour-le-charbon/Le-charbon-energie-du-21e-siecle>
- Source AIE/WEO 2009
- Fig.8 : <http://les.cahiers-developpement-durable.be/vivre/les-matieres-premieres-reserves/>
- The USGS Mineral Ressources Program 2007
- Fig.9 : ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (dir.) (2014) *Matière grise. Matériaux / réemploi / architecture*, Paris : Pavillon de l'Arsenal, p 17
- Fig.10 : <http://www.connaissancedesenergies.org/chiffres-cles-de-la-consommation-en-france>
- Fig.11 : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/326/1097/consommation-energetique-batiments-construction.html>
- Source : SOeS, 2008
- Fig.12 : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/326/1097/materiaux-construction.html>
- Source : Direction générale des douanes, 2008
- Fig.13 : ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (dir.) (2014) *Matière grise. Matériaux / réemploi / architecture*, Paris : Pavillon de l'Arsenal, p 18
- Fig.14 :
- Fig.15 : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/326/1097/rejets-polluants-lair.html>
- Source : SOeS 2008
- Fig.16 : MEG CALKINS (2009) – « *Materials for Sustainable site: A complete guide to the evaluation, selection and use of sustainable construction materials.* » Chapitre 2: « *Background: Inputs, Outputs, and Impacts of Construction Materials* »
- Fig.17 : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/326/1097/dechets-secteur-construction.html>
- Source : SOeS 2008
- Fig.18 : <http://blog.pages-energie.com/batiments-biosources-construction-zero-impact.html>
- Fig.19 : <http://www.prixnational-boisconstruction.org/panorama-des-realisation-en-bois/item/8143-bureaux-modulaires-bio-sources>
- Fig.20 : <http://www.prixnational-boisconstruction.org/panorama-des-realisation-en-bois/item/8143-bureaux-modulaires-bio-sources>
- Fig.21 : <http://www.prixnational-boisconstruction.org/panorama-des-realisation-en-bois/item/8143-bureaux-modulaires-bio-sources>

- Fig.22 : <http://www.lemoniteur.fr/article/le-premier-batiment-biosource-demontable-et-reversible-a-souhait>
- Fig.23 : <http://www.lemoniteur.fr/article/le-premier-batiment-biosource-demontable-et-reversible-a-souhait>
<http://www.prixnational-boisconstruction.org/panorama-des-realizations-en-bois/item/8143-bureaux-modulaires-bio-sources>
- Fig.24 : <http://www.lemoniteur.fr/article/le-premier-batiment-biosource-demontable-et-reversible-a-souhait>
- Fig.25 : <http://www.lemoniteur.fr/article/le-premier-batiment-biosource-demontable-et-reversible-a-souhait>
- Fig.26 : <https://www.facebook.com/charpentes.hourquebie>
- Fig.27 : <https://www.facebook.com/charpentes.hourquebie>
- Fig.28 : <https://www.facebook.com/charpentes.hourquebie>
- Fig.29 : <https://www.facebook.com/charpentes.hourquebie>
- Fig.30 : <https://www.facebook.com/charpentes.hourquebie>
- Fig.31 : http://www.palettes-europe.com/palette_epal-eur_2.html
- Fig.32 : <http://www.mpbois.net/analyse-du-cycle-de-vie-d-une-palette-actualite.a83.html>
- Fig.33 : https://en.wikipedia.org/wiki/Cradle-to-cradle_design
- Fig.34 : <http://www.integralvision.fr/page2/page3/page4/page25/cradle-to-cradle.html>
- Fig.35 : <http://www.c2c-centre.com/project/venlo-city-hall>
- Fig.36 : <https://www.youtube.com/watch?v=FWDGgoTLYGA&feature=youtu.be>
- Fig.37 : <https://www.youtube.com/watch?v=FWDGgoTLYGA&feature=youtu.be>

BIBLIOGRAPHIE

Livres :

- ENCORE HEUREUX ARCHITECTES (dir.) (2014) Matière grise. Matériaux / réemploi / architecture, Paris : Pavillon de l'Arsenal, 368 p.
- HUYGEN J.-M. (2008) La poubelle et l'architecte. Vers le réemploi des matériaux, Arles : Actes Sud, 184 p.
- WILLIAM MCDONOUGH & MICHAEL BRAUNGART (2011) Cradle to Cradle, créer et recycler à l'infini, Manifestô Alternatives, 230 p.
- GILLES CLEMENT & PHILIPPE RAHM (2006) Environ(ne)ment, manière d'agir pour demain, Luca Molinari, 159 p.
- HUGUES STOECKEL (2012) La faim du monde, l'humanité au bord d'une famine globale, Max Milo, 310 p.

Textes :

- WHITE LYNN JR. (1967) The Historical Roots of Our Ecologic Crisis, Science, vol. 155 (n° 3767), pp. 1203-1207
- DALE ALLEN PFEIFFER (2006) Nous mangeons du pétrole, New Society Publishers article disponible sur <http://dlarchey.free.fr/eatingoil.pdf>
- ROTOR (2012-mars) Le cerisier et la plaque de plâtre, Critibat, (n°9) (1961-5981), pp. 102-113

Sites internet :

- www.bazed.fr

Articles internet :

- <http://chroniques-architecture.com/reversibilite-de-la-theorie-a-la-pratique/>
- <http://www.prixnational-boisconstruction.org/panorama-des-realisation-en-bois/item/8143-bureaux-modulaires-bio-sources>
- <http://www.lemoniteur.fr/article/le-premier-batiment-biosource-demontable-et-reversible-a-souhait>
- <http://www.batiment-normandie.ademe.fr/les-batiments-biosources-et-modulables-de-la-codah-au-havre>
- <http://www.epeaparis.fr/cradle-to-cradle/>
- <http://www.integralvision.fr/page2/page3/page4/page25/cradle-to-cradle.html>
- http://www.c2c-centre.com/sites/default/files/Case%20Study%20City%20Hall%20Venlo_Final.pdf

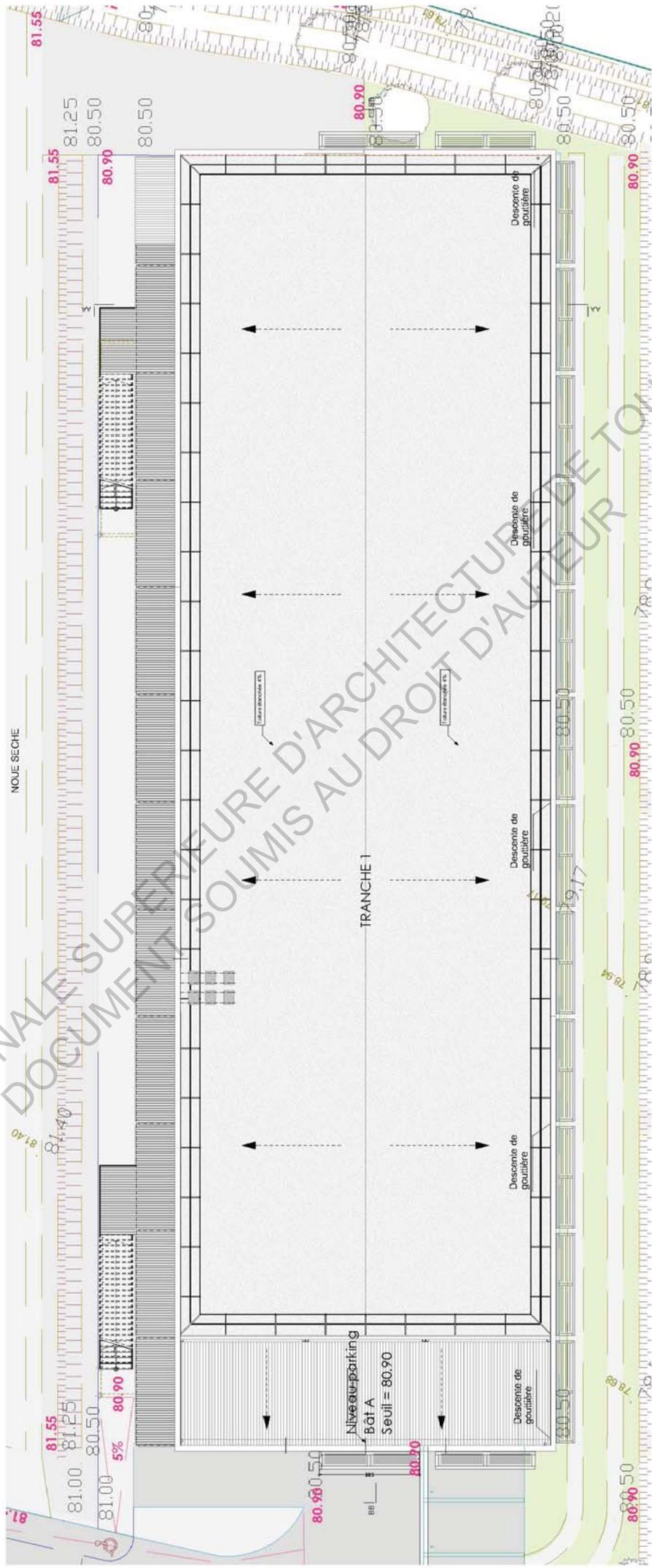
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

ANNEXES

- 1 – Plan de masse : Projet bureaux Joliot-Curie – Le Havre
- 2 – Questionnaire : Projet Bil ta Garbi - Bayonne

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

PLAN MASSE



Projet : Siège administratif et pôle éducatif – BIL TA GARBI

Lieu : Bayonne

Année : 2010-2014

Maîtrise d'œuvre : XB Architectes

▪ **ORIGINE ET GENESE DU PROJET**

1 – *Votre agence a réalisé en 2010 le pôle administratif et le pôle éducatif du syndicat mixte BIL TA GARBI, à Bayonne. Ce projet vient s'inscrire dans un « site naturel remarquable » dans le but de concevoir une véritable vitrine pour la nouvelle usine de traitement des déchets située à proximité.*

▪ **Pouvez-vous me raconter la genèse de ce projet ?**

(Contexte dans lequel il s'inscrit ? Origine de la demande ? Demandes précises de la part du maître d'ouvrage ?)

▪ **Comment votre agence a-t-elle obtenue la réalisation de ce projet ?**

(Concours marché public ? Demande spécifique du maître d'ouvrage ?)

2 – *Ce bâtiment est aujourd'hui pris en exemple pour ses principes constructifs innovants permettant la réutilisation de matériaux, ainsi que pour son intégration réussie dans le contexte environnemental. Votre projet se démarque notamment par l'utilisation de palettes en bois pour habiller les façades du bâtiment.*

▪ **Comment vous est venue l'idée d'utiliser un tel matériau, qui n'est initialement pas prévu pour la construction ?**

(Procédé déjà observé ou mis en place sur d'autres bâtiments ? Référence/précédent ?)

▪ **Quels impacts a eu ce choix sur l'obtention / réalisation de ce projet ?**

(Difficultés rencontrées pour promouvoir cette solution ?)

▪ **SPECIFICITE DU PROJET**

3 – *La réalisation de cette enveloppe, à nécessité pas moins de 340 palettes en bois.*

▪ **Pouvez-vous m'en dire un peu plus concernant les origines de ce bardage ?**

(Provenance des palettes ? Filière de recyclage ? Filière locale ?)

▪ **Quelles ont été les conséquences d'un tel choix sur l'organisation spatiale intérieure du bâtiment ?**

(Nécessité de réaliser un calepinage précis ?)

4 – *Afin d'optimiser l'insertion du projet dans le site, le bâtiment se devait de minimiser au maximum son impact au sol. Ainsi l'assise du bâtiment a été réalisée avec des voiles porteurs en béton tandis qu'une ossature en bois vient compléter la structure.*

▪ **Le choix d'opter pour un bardage en palette plutôt qu'un bardage bois traditionnel (plus léger) ne va-t-il pas à l'encontre de cette recherche d'allègement de la structure du bâtiment ?**

5 – *Ce principe de bardage en bois n'étant pas commun, vous avez été contraint de réaliser un échantillon à l'échelle 1 du principe pour pouvoir observer et anticiper l'évolution des palettes avec le temps.*

▪ **Pouvez-vous me raconter un peu plus en détail le principe de cet échantillon ?**

(Origine de cette demande ? Expériences réalisées ? Quelles adaptations ? Recours à des produits de traitement non naturel pouvant altérer le futur recyclage des palettes ?)

▪ **RETOUR D'EXPERIENCE**

6 – *L'assemblage des palettes vient se fixer à l'ossature du bâtiment à l'aide d'écrous de banche. Cette astuce ingénieuse permet ainsi de rendre cet ensemble entièrement démontable et facilement remplaçable.*

▪ **Avez-vous déjà été confronté au remplacement de certains éléments de la façade depuis la livraison du bâtiment ?**

(Vieillesse des palettes ? Problèmes non envisagés ?)

7 – *Le réemploi de matériaux dans la conception de bâtiment neuf est souvent confronté à certains préjugés ou craintes liés à l'esthétique ou à la qualité de ces matériaux.*

▪ **Qu'en est-il de ce projet ? Cela a-t-il été un frein ou un véritable moteur pour la promotion de ce bâtiment ?**

8 – *Cela fait maintenant environ deux ans que ce projet a été livré.*

▪ **Quel bilan faites-vous de ce projet ?**

(Retour d'expérience ? les techniques utilisées portent-elles leurs fruits ? Prévoyez-vous de réutiliser cette technique sur d'autres projets ?)