

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Paris-La-Villette

Séminaire UE M.9.10:
Activités et instrumentation de la conception

F. GUENA /A.TUSCHER / J.SILVESTRE
Gerardo Diez

LA MAQUETTE NUMERIQUE AU SERVICE DE LA RENOVATION ENERGETIQUE

Introduction

La question de la consommation énergétique est aujourd’hui un sujet essentiel dans le secteur du bâtiment. En effet elle représente environ 40% des consommations totales d’énergie dont deux tiers sont liées au parc résidentiel. Aujourd’hui plusieurs actions et stratégies nous permettent d’optimiser la gestion d’énergie. D’un côté, nous avons des normes et labels pour les bâtiments neufs: « RT 2012, label HPE, label HQE, label BBC ». Et d’un autre côté, plusieurs techniques et paramètres à prendre en compte afin d’attendre ces normes: orientation, capacité à profiter de l’énergie lumineuse, isolation thermique renforcée, bonne étanchéité à l’air, des systèmes de ventilation. Grâce à ces actions et stratégies nous pouvons constater des véritables gains dans la gestion énergétique des bâtiments neufs. Néanmoins le noyau dur quant à la consommation énergétique se trouve au niveau des logements construits avant la première réglementation énergétique: 1975.

En effet la réhabilitation énergétique joue un rôle essentiel dans la gestion des consommations d’énergie des bâtiments construits avant 1975. Non seulement la réhabilitation énergétique est lié à la consommation et aux émissions de gaz à effet de serre, mais encore cela représente aussi des enjeux sociaux, économiques et techniques. Aujourd’hui, les activités de rénovation énergétique sont encore au stade de l’artisanat. La plupart du temps les mesures sont prises sur site puis les matériaux sont coupés à la demande directement sur le chantier afin de s’adapter, ainsi les activités sont réalisées sur le chantier avec un très faible degré d’anticipation. En conséquence, l’efficacité des travaux de rénovation énergétique est discutable. Considérant qu’il y a environ 20 millions d’appartements en France, dont la moitié a été construits avant 1975, cela se traduit par 400 000 bâtiments énergiquement inefficaces à rénover. Il est clair que le processus de rénovation ne peut rester au stade artisanal.

Les travaux de rénovation représentent 33% du marché du bâtiment dont 68% sont menés par des entreprises à 2,5 salariés. Cependant ce marché a rencontré certaines difficultés au cours de ces dernières années. La cessation d’activité dans ce secteur a augmenté considérablement aux environs de 10,000 par an entre 1990 et 2005 pour se stabiliser aux environs de 15,000 ces dernières années (Insee 2016). Entre 2005-2016, et en réaction aux difficultés d’après crise, le secteur de la construction neuve a redoublé d’efforts pour tenter d’augmenter leur productivité et s’est engagé activement dans la maquette numérique en misant sur l’interopérabilité. Nous parlons alors du BIM (Building Information Modeling), c'est-à-dire *un processus métier de génération et d'exploitation des données du bâtiment pour concevoir, construire et exploiter le bâtiment lors de son cycle de vie*. La question qui se pose alors est: Cette transition numérique est-elle adaptée pour soutenir les travaux de rénovation énergétique?

La maquette numérique, en tant qu'objet intelligent, offre une large variété de solutions à la conception et maintenance de bâtiments. Pour citer quelques exemples, grâce à la conception à l'aide d'une maquette numérique, on peut tester et analyser le comportement d'un bâtiment. En effet, certains logiciels et/plugins permettent de faire des simulations environnementales et techniques auxquels on pourrait soumettre cette maquette numérique. Ainsi, ces outils BIM nous permettent de concevoir, préparer et produire tous les composants du projet de sorte que l'on puisse anticiper les procédures de fabrication et assemblage. En outre, l'un des principaux atouts de la maquette numérique est la gestion et partage de données entre les différents corps de métier.

Nous connaissons déjà les avantages de la conception en BIM, et ce qu'elle implique pour tous les intervenants. Nous avons constaté les gains que cela permet au moment de collaborer et intégrer des informations pertinentes, de les modifier, de les vérifier, d'anticiper les travaux lors du chantier et même de tester et analyser un bâtiment avant de le construire. Mais, comment ces solutions numériques pourraient être appliquées dans le cas d'une rénovation énergétique d'un bâtiment existant? Les données d'une maquette numérique pourraient nous apporter d'avantages dans nos propositions de rénovation énergétique?

Ce travail est axé sur la thématique de la maquette numérique au service de la rénovation énergétique de bâtiments du secteur résidentiel: comment les données d'une maquette numérique peuvent être employées pour l'optimisation des rénovations énergétiques du parc résidentiel existant, l'évaluation de son adaptation pour soutenir ce type d'intervention?

L'étude portera sur le parc résidentiel construit avant 1975. En outre, des bâtiments ayant été construits avant le développement du BIM, donc, en absence d'une base de donnée numérique. En admettant que la plupart de ces édifices n'ont pas des supports 2D ou bien qu'ils manquent de précision ou encore ils ne sont pas mis à jour, on va illustrer l'assistance d'outils permettant de faire le relevé du corpus afin de posséder un modèle le plus fidèle possible. Partant de cette démarche on pourra identifier les prérequis nécessaire à retrouver dans une maquette numérique ayant pour objectif des travaux de rénovation.

Dans un premier temps, on va analyser les résultats des recherches précédentes en relation avec notre sujet. Il s'agit de fonder certains concepts sur des théories déjà existantes dans le but de: mettre à jour des analyses, proposer de nouvelles interprétations et/ou concepts. Ensuite, une enquête par entretiens libres et questionnaires sur un groupe assez réduit. On visera essentiellement des agences d'architecture et ingénieurs, de 0 à 10 employés, ayant réalisé des travaux de rénovation énergétique « avec et sans » maquette numérique. Ainsi que d'organisations et collectifs dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin que l'on

puisse avoir une notion claire du degré d'application de ces nouvelles technologies pour être employées aux cas d'une rénovation énergétique.

Ce mémoire de réflexion est basé sur les objectifs établis dans la loi de transition énergétique. En effet, à travers ce travail de recherche, on essayera de répondre à certaines questions traitées dans cette loi.

Introduction :

- Accroche
- Objet de recherche
- Les questions de problématique
- Le terrain de recherche et dispositif d'investigation

1- Contexte secteur bâtiment

1.1 Energie optimale.

1.1.1 Paramètres pour une consommation énergétique optimale.

1.2 Les enjeux de la réhabilitation énergétique

1.2.1 Principaux obstacles à la réhabilitation énergétique

1.2.2 Contexte politique

1.2.3 Evolution de la notion...

1.3 Les moyens techniques pour fins d'optimisation énergétique?

1.3.1 Les Outils de calcul

1.3.2 Simulations thermiques

2- Les données numériques, un potentiel pour la rénovation énergétique

2.1 La maquette numérique

2.1.1 Relevé 3D.

2.1.2 Assembler et partager les données liés au bâtiment.

2.2 Champs d'application des données numériques

2.2.1 Data mining

2.3 Domaines de prédilection

3- Un outil nécessitant une phase de maturité

3.1

3.2 Illustrations (exemples)

3.3 Bilan contrasté (exposer les résultats de ma recherche)

Définition des concepts:

Quelques ouvrages institutionnels ou normatifs permettent de clarifier certaines pratiques. D'après (Ministère de l'agriculture et de la pêche 2001) **Conserver** correspond à veiller, essentiellement par des mesures prévenives, à ce que le patrimoine ne se dégrade pas. **Sauve- garder** revient à prendre des mesures comme l'étalement d'un bâtiment menaçant ruine, etc., le plus souvent dans l'urgence et à titre provisoire, pour éviter la progression d'une dégradation. **Restaurer** signifie rétablir, remettre en bon état, sans pour autant vouloir effacer les traces des interventions ultérieures (idéalement, la restauration impliquerait la remise en état technique, en état d'usage : un moulin devrait pouvoir moudre, un four à pain devrait pouvoir cuire. Lorsque certains éléments du patrimoine doivent être remplacés, seuls les matériaux, les techniques et les façons de faire traditionnels sont légitimes). **Réaffecter** désigne le fait de donner une nouvelle fonction. **Rénover** consiste à remettre à neuf un bâtiment ou un objet jugé vétuste. La rénovation peut aller (de façon assez surprenante) jusqu'à la destruction complète de l'objet et sa **reconstruction**. **Réhabiliter** correspond à remettre aux normes de confort, d'hygiène et de sécurité des habitats jugés trop anciens au regard des exigences contemporaines. **Restituer**, c'est rétablir, remettre dans son état premier. Ce mode d'intervention aboutit souvent à une reconstruction dans un état originel qui n'a jamais existé entraînant la destruction de toutes les parties postérieures à la date de construction. Ces activités peuvent être complétées ensuite par (AFNOR, 2007), à savoir que **Moderniser** correspond à modifier ou améliorer en prenant en compte les avancées technologiques tandis que (AFNOR, 2010) considère qu'**Améliorer** représente l'ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction. Les aspects dépannage, maintenance ou entretien seront considérés comme hors du périmètre de notre étude car complémentaires et représentant un secteur d'activité à part entière.

1 Contexte secteur bâtiment

La réhabilitation énergétique est un ensemble de stratégies consistant à diminuer les consommations d'énergies. Ainsi, elle devrait être accompagnée d'une amélioration qualitative de l'habitat, tout en faisant un lien entre énergie et qualité d'usage: confort, esthétique. En outre, la réhabilitation est définie comme un processus consistant à «prolonger la durée de vie utile» des bâtiments existants en adaptant leurs formes de base pour fournir une mise à jour de la version d'origine. Il existe de nombreux logements existants opérant au-dessous de leurs normes requises. On constate presque deux tiers des 30 millions de bâtiments construits en France ont été bâtis avant 1975, date de la première réglementation thermique, et seuls 16% ont moins de 20 ans. Comme déjà mentionné, le secteur résidentiel est responsable de 35% des consommations totales d'énergie, contre 51% pour le transport et 11% pour l'industrie. Le secteur du bâtiment se divise en deux branches, le secteur tertiaire et le secteur résidentiel, ce dernier est responsable de 75% de la totalité des consommations d'énergie, ce taux de consommations continue d'augmenter d'un 20% au cours des trente dernières années (ADEME, 2010).

Ainsi, le parc de bâtiments joue un rôle capital dans notre société. Les bâtiments non seulement sont les endroits où nous habitons et travaillons mais encore, ils représentent un secteur important de notre économie. D'autre part, la piètre performance énergétique des bâtiments font de ce secteur l'un de plus consommateur d'énergies totales (environ 45%), ainsi que l'un de générateurs de gaz à effet de serres le plus important (27%). EN définitive, les bâtiments sont un

élément essentiel pour atteindre les objectifs du « Loi de transition énergétique pour la croissance verte » (LTECV) à l'horizon 2050 (Ministère de la transition écologique et solidaire). L'un de principaux objectif de ce plan est de réduire les consommation énergétique de 50% (tous les secteurs de la construction confondus) par rapport à celles du 2012, ainsi que la rénovation de 500.000 logements par an à l'horizon de 2020. Tenant compte de ces objectifs ambitieux il faut considérer qu'il est nécessaire de réhabiliter la totalité (ou presque) des bâtiments existants d'ici 2020.

A cause de l'ampleur du secteur bâtiment les sommes d'investissement en capital et emploi de personnel peut avoir un impact macroéconomique important. En effet, selon un étude mené par l' « European University Institute », les investissements dans la rénovation du parc de bâtiments pourrait atteindre entre les 600 à 1.800 milliards d'euros d'ici 2050. On pourrait alors se poser la question sur la rentabilité de cet investissement. Ce sera pas plus rentable de rendre plus performant les équipement auxiliaires: chauffage, ventilation et climatisation? C'est évident que l'investissement pour remplacer ces genre d'éléments serait moins important que réhabiliter tout les parc de bâtiments existant. Cependant, cette solution nous condamnerait à remplacer ces dispositifs dès qu'il y ait une nouvelle version plus performante. D'autre part, la réhabilitation des logements peut impliquer d'autres avantages supplémentaire (y compris des effets sanitaires et sociaux). Même si l'analyse de ces avantages n'entre pas dans le cadre de cette recherche, je considère que ces effets implicites dans la réhabilitation justifie le fait de choisir ce type d'intervention.

Cette première partie est structuré comme suit: nous décrivons d'abord les caractéristiques techniques du bâtiment. Ensuite, nous aborderons les principaux enjeux de la réhabilitation des bâtiments.

1.1 Energie optimale.

L'efficacité énergétique vise à garantir les conditions de confort nécessaires aux utilisateurs ainsi que la durabilité de l'environnement en utilisant efficacement les ressources et l'énergie disponible. Il est basé sur l'utilisation rationnelle des connaissances de l'architecture ainsi que sur tous les progrès réalisés dans le secteur en termes de confort, de gestion des déchets et de recyclage, en tirant parti

des conditions naturelles et de l'environnement (Matute, 2014). Lors d'une conception architecturale il existe plusieurs paramètres à prendre en compte afin de concevoir un bâtiment performant énergiquement:

- L'emplacement
- La fonction
- Conception du bâtiment:
 - Orientation
 - L'enveloppe
 - Ventilation
 - Ouvertures
 - Systèmes auxiliaires (CVC)

Afin d'atteindre les niveaux de confort adéquat des occupants tout en minimisant les répercussions des consommations sur l'environnement, il est nécessaire de prendre en compte ces paramètres. Dans cette première partie on essayera de définir les principaux paramètres qui ont une influence directe dans les consommation d'énergie dans un logement. Le but est de relever les point techniques déterminant la performance énergétique de chacun de ces paramètres.

1.1.1 Paramètres pour une consommation énergétique optimale.

(plus spécifique) justification de chacune des paramètres

1.1.1.1 L'emplacement

« On ne le répète jamais assez aux élèves architectes : armons-nous sur les conditions climatiques : le soleil, la pluie, le froid, la chaleur, les vents... Préoccupons nous des contraintes de l'environnement, et nous serons certains de construire avec sérieux. Cherchons donc l'essentiel sans avoir recours à des apports superflus : jeux de matières, effets, formes. Et sans vouloir accomplir des gestes techniques qui dépassent la stricte nécessité. » (André Ravereau, *Le M'Zab, une leçon d'architecture*)

L'emplacement du bâtiment est l'un des principaux facteur dans la demande d'énergie. En effet, le climat dans lequel il se trouve détermine fondamentalement la demande de chauffage, de climatisation, d'éclairage est. (Zubiri 2010). Non seulement les condition climatiques doivent être prises en compte lors de la conception d'un bâtiment neuf, mais encore, elles doivent être également présentes lors d'un projet de réhabilitation. A titre d'exemple, il existe un grand nombre de maisons dans le sud de l'Espagne pas tout à fait adaptées aux conditions climatiques de la région (Manteca, 2012).

Tout d'abord, ces conditions climatiques doivent être analysées d'un point de vue macroclimatique et microclimatique.

Les conditions macroclimatiques dépendent de la région dans laquelle se trouve le bâtiment et dépendent de la longitude, de la latitude. Les facteurs les plus importants sont:

- Les températures maximales, minimales et moyennes en hiver et en été, de nuit et de jour.
- Le régime des précipitation et d'humidité
- Rayonnement solaire, direct et diffus
- La direction et vitesse du vent.

Les conditions microclimatiques dépendent de la géographie du lieu et de l'environnement immédiat et peuvent contribuer à la modification des conditions macroclimatiques:

- L'existence de bâtiments à proximité pouvant constituer une barrière contre le rayonnement solaire et les effets du vent.
- La présence de végétation ou de forêts à proximité
- Morphologies du terrain pouvant protéger naturellement des effet du soleil et du vent
- La présence d'eaux proches qui augmentent l'humidité

L'analyses des paramètres macroclimatiques et microclimatiques est fondamentale pour la performance énergétiques des bâtiments ainsi que pour garantir la plus grande sensation de confort possible. Néanmoins, d'après conversations avec les professionnels de la réhabilitation, il est difficile de prendre en compte tous les facteurs climatiques.

1.1.1.2 La fonction

Les activités qui se dérouleront dans le bâtiment est également un facteur déterminant la conception architecturale. En effet, en fonction des besoins de l'utilisateur il faudra faire un estimation des demandes énergétiques. Un bâtiment résidentiel ne nécessite pas les mêmes besoins en énergie qu'un immeuble hospitalier ou de bureaux.

1.1.1.3 La conception architecturale

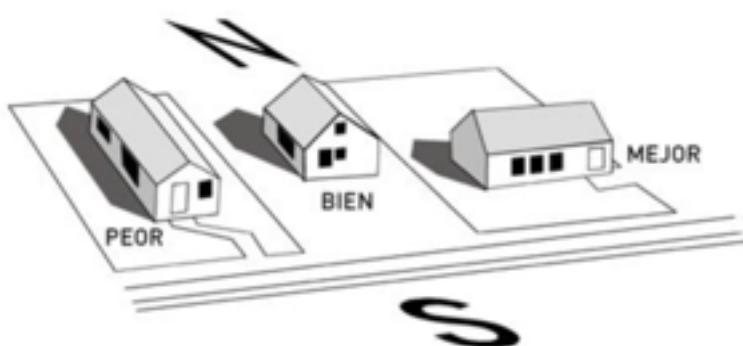
Afin de minimiser les demande d'énergie nécessaire et de répondre ainsi aux besoins et aux niveaux de confort, il est nécessaire de donner une réponse architecturale aux deux facteur précédents. La conception du bâtiment est la résultat à l'analyse des conditions climatiques et aux besoins des utilisateurs.

On verra dans cette partie comment les éléments propres du bâtiment (formes, proportions, composants) affectent la consommation d'énergie.

- **L'orientation:** L'orientation du bâtiment déterminera la captation d'énergie solaire à travers les surfaces des ouvertures en façade. Dans les climats

continentaux, en général, il est important de capter le plus d'énergie possible et de minimiser ainsi la consommation de chauffage en hiver. Il convient de jouer avec les éléments d'ombrage pour l'été, en réduisant la surchauffe et l'augmentation conséquente des coûts de refroidissement (Manteca, 2012).

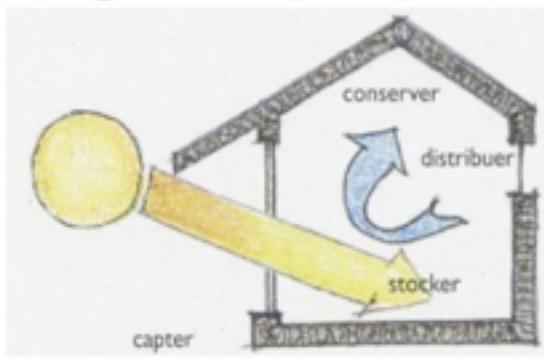
- Orientation nord. Le rayonnement solaire reçu est rare: quelques heures en été et aucun en hiver, cette partie de la maison est la plus froide (Manteca, 2012).
- Orientation sud. En hiver, la façade sud reçoit beaucoup de rayonnement solaire, ce qui permet le chauffage interne. Tandis qu'en été, en raison de la position plus verticale du soleil, le rayonnement influence le toit, les façades recevant peu d'action directe. En Espagne, par exemple, La façade orientée au sud reçoit trois fois plus de rayonnement en hiver qu'en été. Alors que la couverture reçoit en été quatre fois plus de rayonnement qu'en hiver (Manteca).
- Orientation Est. Le rayonnement reçu est tangentiel et oblique aux premières heures du matin. Recevez 2,5 fois plus de radiations en été qu'en hiver (Manteca, 2012)
- Orientation Ouest. Le rayonnement reçu est tangentiel et oblique en fin d'après-midi, ce qui favorise la surchauffe des façades en été car les après-midi sont ceux où la température est plus élevée et qui impactent perpendiculairement les surfaces vitrées (Manteca, 2012).
- Surface en contact avec l'extérieur. Celle-ci est affecté par l'influence du vent et de rayonnement solaire. Des gains ou des pertes thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment (Manteca, 2012). Une plus grande surface représente plus d'échanges thermiques, ceci peut être bénéfique si



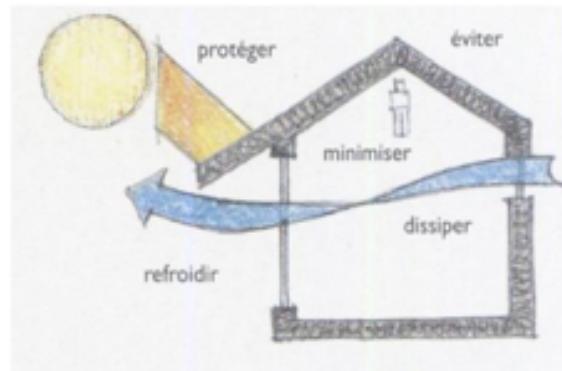
le bâtiment se trouve dans des climats tempérés et chauds, et défavorable dans des climats continentaux (Manteca, 2012).

- **L'enveloppe:** Sa fonction est de contribuer à une distribution et stockage dans l'ensemble des espaces intérieurs. Celle-ci peut varier par rapport au climat. En saison froide, capter les rayonnements solaires et les stocker ainsi que les distribuer l'ensemble de calories à l'intérieur du bâtiment. Eviter également les déperdition thermiques. Au contraire, en saison d'été, on va chercher à se protéger du rayonnement solaire en évitant la pénétration des calories excédentaires. (Balez 2015-2016).

Stratégie du chaud (pour la période froide)



Stratégie du froid (pour la période chaude)



En outre, l'isolation thermique du bâtiment est un aspect très important du point de vue énergétique. Une isolation faible peut avoir comme conséquence une augmentation de la consommation d'énergie, nécessitant de chauffer d'avantage pendant les saisons de froid et de refroidir pendant les saisons chaudes (Zubiri, 2010).

Naturellement dans les zones froides la chaleur a tendance à « s'échapper» afin d'égaliser la température intérieure et extérieure. En effet, une isolation trop faible ou mal placé provoque le déplacement de l'air chaud de l'intérieur vers l'extérieur en hiver et inversement en été. De sorte qu'il faudra l'utilisation du refroidissement ou du chauffage selon le cas. Cela suppose une déficience du point de vue énergétique.

Du point de vue des composants de l'enveloppe, ils offrent tous une inertie thermique différente, conditionnée principalement par le type de matériau et son

épaisseur. Il est donc nécessaire de calculer l'épaisseur et type d'isolant pour répondre aux besoins énergétiques optimaux.

- **Ventilation:** La ventilation consiste à renouveler l'air intérieur des logements afin d'éviter les composants polluants présents dans l'air. Le but de la ventilation est de maintenir de manière stable le niveau d'humidité intérieur tout en améliorant le confort thermique.

Afin de garantir une bonne qualité de l'air intérieur il existe plusieurs méthodes naturelles et mécaniques afin de contrôler la fourniture et extraction d'air.

Pour une ventilation naturelle le renouvellement de l'air intérieur se fait par l'action du vent ou par la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Il s'agit de concevoir des conditions favorisant le renouvellement de l'air intérieur grâce aux différences de pression ou de température (ATECOS, 2010).

Par exemple, un bâtiment à dimensions plus importantes oppose une plus grande résistance au vent, en augmentant ainsi la ventilation entre l'intérieur et extérieur. Cette caractéristique a des avantages en été ou dans des régions chaudes, car l'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur est favorisé. Cependant, elle résulte moins favorable dans les climats froids en raison de la perte de chaleur de l'intérieur.

- **Ouvertures:** L'emplacement et la taille des ouvertures peuvent améliorer les conditions notamment d'éclairage et d'apports thermiques en fonction de l'orientation et la période de l'année. L'ouverture est en effet l'élément clé des systèmes éclairage naturel, c'est à travers lui que la lumière naturel pénètre à l'intérieur du bâtiment. Ainsi, il agit comme un élément de ventilation et de renouvellement de l'air.

A savoir que les conditions de ventilation, thermique et d'éclairage naturel sont souvent contradictoires, car plus la surface des fenêtres est grande pour favoriser l'éclairage naturel, plus les pertes d'énergie et les gains de chaleur sont importants. Il faut donc, les combiner avec d'autres systèmes afin que la conception soit équilibrée et économique en énergie (CEI-IDAE, 2005).

Son orientation est fondamentale pour son bon fonctionnement (CEI-IDAE, 2005):

- Les fenêtres orientées au sud ont des niveaux de lumière élevés et constants, avec un gain d'énergie élevé en été et moyen en hiver.
 - Les fenêtres orientées est et ouest fournissent des niveaux de lumière moyens qui varient tout au long de la journée. Avec des gains moyens en été et bas en hiver.
 - Les fenêtres orientées au nord ont un niveau d'éclairage faible mais constant, avec un gain faible tout au long de l'année.
- **Systèmes auxiliaires (CVC):** Les systèmes de chauffage, ventilation (mécanique) et climatisation, sont un moyen auxiliaire pour atteindre les besoins thermique des utilisateurs, c'est-à-dire ils représentent un complément pour tous les paramètres avant décrits.

Les systèmes auxiliaires représentent une part importante dans la consommation d'énergies de logements. *Une étude récente réalisée par l'ADEREE sur la caractérisation du marché marocain des systèmes CVC, a estimé l'énergie utilisée pour le chauffage, la climatisation et la cuisson à 70 % de l'énergie totale consommée dans les logements*

En définitive, les différents paramètres présentés ci-dessus sont le moyen de répondre aux exigences de confort des utilisateurs tout en s'adaptant aux conditions climatiques et en consommant le moins d'énergie primaires possible. Certain d'entre eux ne peuvent être pris en compte que lors de la conception d'un bâtiment neuf, comme par exemple l'orientation et l'emplacement. Néanmoins, il est tout à fait possible de traiter certains d'autres dans le cas des bâtiments existants. Ce travail de recherche est orienté principalement sur les facteurs possiblement traités dans un bâtiment existant. Le but est de comprendre comment ces éléments peuvent être traités ou interprétés dans le cas d'une réhabilitation énergétique.

1.2 Principaux obstacles de la réhabilitation énergétique.

Tout d'abord, décrivons les principaux obstacles de la réhabilitation. Les travaux de réhabilitation sont le résultat de décisions complexes, souvent impliquant de nombreux acteurs. Le fait d'avoir plusieurs intervenants dans un même projet peut parfois conduire à des prises de décisions peu pertinentes ; même si ce-ci n'est pas une règle générale, dans le secteur de la construction la perte d'information entre un acteur et l'autre peut représenter un obstacle à la performance du bâtiment. Dans cette première partie on cherche à examiner ces obstacles qui freinent la réhabilitation des logements ainsi que l'ampleur du problème tout en mettant en évidence la nécessité non seulement d'accélérer le processus de réhabilitation, mais également de réduire les consommations d'énergie primaire ainsi que l'émission de gaz à effet de serre.

Dans ce chapitre, nous introduisons le problème de la rénovation de bâtiments. Le chapitre est structuré en trois sections: la section 1.1.1 illustre les difficultés entravant la réhabilitation des bâtiments, la section 1.1.2 analyse l'ampleur du problème, et la section 1.1.3 explique comment des nouveaux instruments numériques pourrait assurer un engagement à résoudre ces problématiques.

Le but de cette section est d'identifier les principales difficultés entravant la rénovation des bâtiments, ensuite nous aborderons les différentes mesures visant la réduction des consommations énergétiques. Et pour conclure nous allons illustrer comment les différentes réglementation ont évolue au cours du temps.

1.2.1 Principaux obstacles à la réhabilitation énergétique

Parmi tous les obstacles présents dans le domaine de la réhabilitation énergétique nous avons dégagé deux éléments fondamentaux: décideurs non qualifiées et les activités de la réhabilitation.

Le premier obstacle concerne les décideurs non qualifiés. En effet, dans le processus de diagnostique et propositions de réhabilitation sont impliqués plusieurs acteurs qui souvent ne possèdent pas des compétences et/ou des informations appropriées pour prendre ces décisions de manière rationnelle. Cela se traduit par des propositions biaisées par leur propre perception, laquelle n'est toujours pas liée

aux enjeux réels. Cependant, un certificat a été mis en place dans le cadre de la Charte d'Engagement signée le 9 novembre 2011 par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, l'ADEME, les organisations professionnelles et les organismes de qualification, orienté aux entreprises et artisans dans le domaine de la rénovation énergétique. Soit un certificat « Reconnu Garant de l'Environnement » (RGE) délivré par « CERTIBAT » *porte sur la capacité d'une entité à concevoir et réaliser des travaux de rénovation énergétique d'un bâtiment, y compris des agrandissements et extensions, dans le cadre d'une offre globale d'amélioration de la performance énergétique, ainsi que sa capacité à assurer l'accompagnement du maître d'ouvrage tout au long du projet. Elle est délivrée pour quatre ans, après un contrôle de réalisation sur chantier.*

Comme mentionné ci-dessus, Alors qu'au départ cette certification était exclusivement pour les entreprises et artisans, les pouvoirs publics ont étendu cette garantie de qualité à des professionnels ayant la capacité de proposer et réaliser des offres globales de rénovation énergétique par le biais d'une certification.

Elle s'applique à toute entité qui, dans le cadre d'une offre globale de rénovation énergétique :

- *Réalise un état des lieux technique du bâtiment existant et une évaluation de la performance énergétique avant travaux,*
- *Réalise en propre tout ou partie de la conception des travaux,*
- *Réalise ou fait réaliser les travaux correspondants,*
- *Exerce un pilotage, un contrôle et une coordination de l'ensemble des travaux,*
- *Réalise une évaluation de la performance énergétique après travaux attestant de l'amélioration visée,*

- Assure une prestation de conseil et d'accompagnement du maître d'ouvrage jusqu'à la réception des travaux.

Malgré les efforts des organisations à garantir la capacité des professionnels afin de atteindre les exigences actuelles quant à la consommation énergétique, il semblerait que ces mesures ne suffisent pas. En effet, l'Union fédérale des consommateurs—Que choisir, (UFC-Que Choisir) est partie du constat que les politiques actuelles en termes de réhabilitations énergétiques sont peu efficaces compte tenu des sommes investies. Ainsi en 2011, 21 milliards d'euros ont été investis (14 milliards par les particuliers, 7 milliards de fonds publics) pour seulement 5 % (134.000) de logements rénovés de façon performante (source ADEME).

L'association des consommateurs s'est retourné alors sur le terrain ciblant dans un premier temps les diagnostiqueurs. Leur étude portée spécifiquement sur 5 maisons et 29 professionnels. Le but était de tester les prestations portant sur l'évaluation thermique et l'offre de travaux pour 5 maisons construites avant 1975. Concernant le diagnostic du bâtiment, seuls 58% des professionnels ont visité les lieux dont seulement 3% ont rendu une évaluation prenant en compte les trois critères fondamentaux: enveloppe, ventilation, chauffage. Enfin, seuls 8 professionnels sur les 29 ont présenté un rapport d'évaluation thermique accompagné d'une proposition de travaux, les autres ont, au pire, proposé un devis.

Comment expliquer un tel manque entre les besoins du consommateur et l'offre des professionnels ? Une des raisons pourrait être liée au manque d'informations sur le bâtiment. En effet, lors d'un diagnostic énergétique nous pourrions négliger certains aspects fondamentaux... Est-ce qu'un outil de genre numérique pourrait être la solution? Nous pourrions nous demander si avec un outil de genre numérique on pourrait regrouper à la fois les données liées aux bâtiments et les informations techniques attachées aux logiciels métiers de chaque acteur. C'est-à-dire, avoir un modèle exploitable contenant toutes les informations graphiques, techniques, alpha-numériques et sémantiques, ainsi que les fonctions de simulations, tout en étant partageable et compatible avec tous les acteurs impliqués.

D'autre part nous avons interrogé 5 cabinets d'architecture, ainsi que 2 profs... développer partie questionnaires... essayer de comprendre le processus d'évaluation énergétique: comment ils font, quels outils utilisent pour ce faire, difficultés... principales problématiques au moment de relevé le bâtiment. à développer...

La deuxième problématique relevée est lié aux activités du secteur de la réhabilitation. Dans le cas de la construction des bâtiments nombreuses métier, juridiques et normatives sont établies tandis que pour le secteur de la réhabilitation il n'existe pas de processus commun à toutes les activités de réhabilitation. Dans le cas de nouvelles constructions on trouve, par exemple la loi relative à la Maîtrise d'Ouvrage Publique (MOP) qui définit les étapes et modalités techniques d'exécution des éléments de mission de maîtrise d'œuvre confiés, par des maîtres d'ouvrage publics, à des prestataires de droit privé. En revanche on trouve une grande variété de situations en fonction de: la propriété du bâtiment, utilisation du bâtiment, type de rénovation et même le moment de la rénovation.

Partons d'un constat, selon (CAPEB 2015), deux tiers du chiffre d'affaires est consolidé par des entreprises de moins de 20 salariés. Le 57% de ce chiffre d'affaires correspond aux travaux de rénovation-entretien. D'autre part, selon (Insee 2015) le 96% des entreprises du secteur construction ont moins de 10 salariés dont un grand nombre sont de très petites entreprises (TPE). Cela signifie, que la plupart de travaux de réhabilitation sont menés par des entreprises à petite échelle. En effet, aujourd'hui les activités de réhabilitation sont encore au stade de l'artisanat.

La plupart du temps, les mesures sont prises sur site, puis les matériaux sont coupés à la demande directement sur le chantier afin de s'adapter. Les cadres (fenêtres, portes) sont ajustés sur site en produisant des déchets de matériaux. Enfin, la plupart de ces activités sont réalisées sur le chantier avec un très faible degré d'anticipation. En conséquence, l'efficacité énergétique de la réhabilitation est discutable. Si nous considérons, par exemple, qu'il y a environ 20 millions d'appartements en France, dont la moitié ont été construits avant 1975, cela signifie qu'il y a environ 400 000 bâtiments énergiquement inefficaces. Compte tenu de ces chiffres, il est clair que le processus de réhabilitation du bâtiment ne peut rester au stade artisanal.

1.2.2 Contexte politique

Dans cette partie, nous allons illustrer l'ampleur du problème tout en mettant en lumière les objectifs pour le secteur de la construction en termes de rénovation des bâtiments existants.

Actuellement, plusieurs initiatives se concentrent déjà sur le secteur de la construction et, en particulier, sur la réhabilitation de bâtiments. Concrètement, le « Ministère de la transition écologique et solidaire » a présenté un document de consultation résumant les priorités et objectifs afin de lutter contre la surconsommation énergétique. Il fait référence à la pertinence du secteur du bâtiment dans la consommation globale d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, ainsi qu'au vaste potentiel inexploité d'économies rentables dans le bâtiment. En résumé, le document mentionne la nécessité de réhabiliter le stock existant, car les bâtiments existants resteront toujours dans les environs de 2050.

Le Conseil européen a également récemment demandé l'élaboration d'une stratégie 2050 à faible émission de carbone à la Commission européenne, qui a réagi peu de temps après avec deux feuilles de route. Les deux ont des implications pour le secteur de la construction, identifiant la rénovation des bâtiments comme une opportunité mais aussi comme un défi important.

Tout d'abord, une feuille de route de la DG Climat présente de voies rentables pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre de 80% d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 1990. Elle indique des objectifs spécifiques pour les différents secteurs (CE, 2011). Dans le secteur de la construction, l'ambition est de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 88% à 91%. La rénovation du parc existant est considérée comme un défi plus important que la construction de nouveaux bâtiments vis à vis de la consommation énergétique. Le principal défi consiste à trouver un moyen qui puisse garantir d'une part la qualité de ces rénovations et d'autre part assurer une démarche de rénovation massive.

Deuxièmement, *la feuille de route de la DG Énergie*. Cette feuille de route prévoit des économies d'énergie primaire comprises entre 32 et 40% d'ici 2050 par rapport à 2005 (CE, 2011). Après avoir élaboré plusieurs scénarios qui partent de l'objectif

de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour le secteur de la construction, l'analyse d'impact indique également que la réalisation de ces économies impliquerait une réduction de la consommation d'énergie finale du secteur de la construction de 39 à 48% (secteur résidentiel et tertiaire). Encore une fois, les bâtiments existants sont identifiés comme cruciaux pour atteindre ces objectifs. En résumé, l'objectif 2050 pour le secteur du bâtiment, présenté par ces deux feuilles de route, correspond à une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 88 à 91% par rapport aux niveaux de 1990, ce qui implique: une réduction de la consommation d'énergie finale de 39 à 48% par rapport aux niveaux de 2005.

D'autre part, « Le plan de rénovation énergétique » a présenté une approche complémentaire à la rénovation à niveau régionale. Il est basé sur 4 axes et 12 actions. En bref, il définit des objectifs précis visant l'amélioration du suivi de la rénovation énergétique et l'accès à l'accès aux données. Puis, établir une stratégie claire permettant de massifier la rénovation.

1.2.3 Evolution de la notion

A cause de la cessation d'exportation de pétrole de la part des pays de l'OPEP vers les Etats-Unis et d'autres pays occidentaux, les prix à la consommation d'énergie ont considérablement augmenté. Avant cette première crise pétrolière de 1973, personne ne s'était inquiété par la consommation d'énergie, en raison de ces événements, les particuliers se sont vus touchés par cette augmentation considérable de leurs factures énergétiques. En conséquence, les législations ont orienté leurs politiques vers l'élaboration d'une réglementation énergétique. C'est grâce à ces actions que la première réglementation thermique est née. *Dans un premier temps elle visée principalement l'isolation des nouveaux bâtiments de logement. La consommation moyenne des bâtiments construits avant 1973 était de 250 à 300 kWh/m².an.* Une extension viens s'ajouter dans les années 1988. Cette nouvelle réglementation est désormais applicable aux bâtiments non résidentiels (secteur tertiaire). La RT1988 vise également à enrichir les exigences de performances minimales de l'enveloppe et des systèmes mis en place. (www.e-rt2012.fr)

Les RT 2000, 2005.

Une nouvelle réglementation thermique, la RT 2000, est entrée en vigueur. Elle n'est applicable qu'aux bâtiments neuf de logement ou du secteur tertiaire. Cette nouvelle réglementation introduit non seulement des exigences de performance global mais aussi de confort. En effet, la température intérieure conventionnelle (TIC) est un coefficient représentant la valeur horaire en période d'occupation de la température opérative et il est utilisé dans les calculs de thermiques Th-BCE 2012. *La RT2000 vise une réduction de 20% de la consommation maximale des logements par rapport à la RT 1988 et une baisse de 40% de la consommation des bâtiments tertiaires. (www.e-rt2012.fr).*

La RT2005 vise une amélioration de la performance énergétique des bâtiments neufs du 15%. Contrairement à la première réglementation thermique, l'enjeu de celle-ci est plutôt d'ordre environnementale. Cette nouvelle réglementation n'est plus une réponse pour diminuer la dépendance au pétrole mais pour faire face aux enjeux environnementaux: réchauffement climatique lié aux émissions de gaz à effet de serre. Elle répond notamment aux engagements à baisser la production de CO₂, pris à Kyoto et à Rio de Janeiro lors des conférences internationales sur le réchauffement climatique. Cette nouvelle réglementation s'intègre au Programme national de lutte contre le changement climatique, arrêté par le Premier ministre au 1 janvier 2000 des objectifs à atteindre en fonction de la situation géographique des projets.

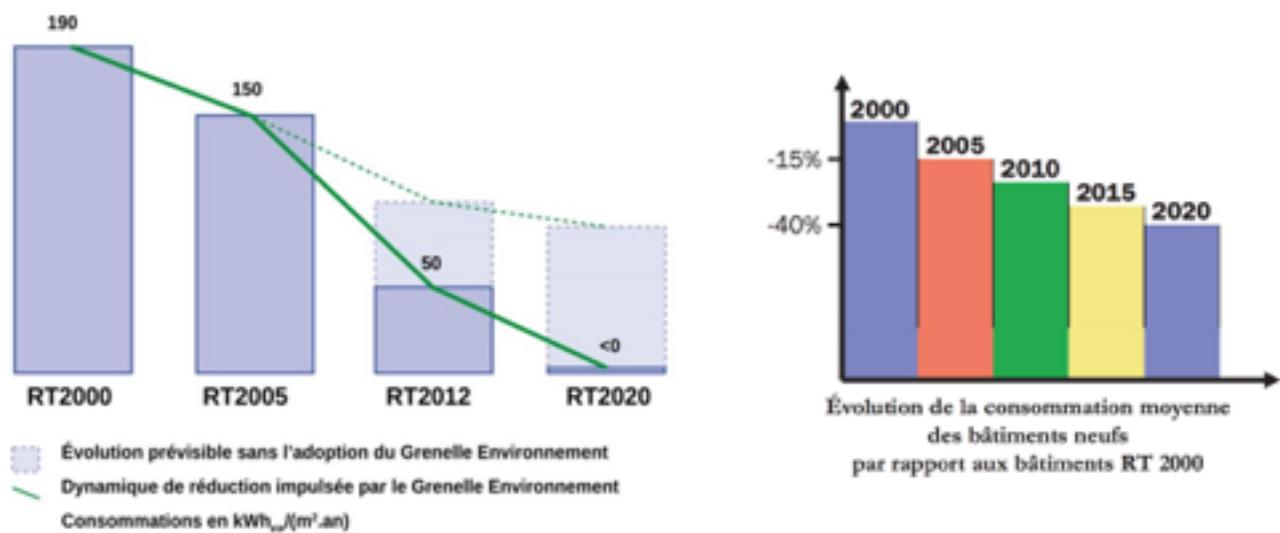
Dans le cadre de la « Grenelle Environnement » une nouvelle réglementation thermique est mise en place: RT2012. Cette dernière a pour objectif de baisser les consommations d'énergies primaires jusqu'au 50kWhep/(m².an), valeur moyenne du label « bâtiments basse consommation » (BBC). En outre, la RT2012 vise limiter les consommations d'énergies en encourageant les conceptions « bioclimatiques ». *L'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti est définie par le coefficient « Bbiomax » (besoins bioclimatiques du bâti). Cette exigence impose une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre. (<http://www.cohesion-territoires.gouv.fr>).*

En outre, cette dernière est accompagnée d'une nouvelle réglementation: la méthode de calcul Th-B-C-E 2012. Il s'agit d'une méthode de calcul définissant toutes les règles de calcul thermiques à respecter dans le cadre de la RT2012. Elle

est applicable à tous les bâtiments en général. En résumé, cette méthode permet de calculer un ensemble de données, telles que les déperditions thermiques, les répartitions des besoins bioclimatiques par mois, les consommations d'énergie primaire (Cep), etc.

Cette méthode de calcul utilise comme données d'entrée, d'une part, tous les éléments composants le bâtiment (dimensions des surfaces, orientation, ouvertures, matériaux, etc) ainsi que ses équipements auxiliaires (système de chauffage, ventilation, éclairage), et d'autre part, les paramètres indépendant du bâtiment (zones climatiques, altitude, environnement proche, occupation et usage des bâtiments) sont définis de façon conventionnelle.

Il est intéressant de d'aborder cette question car nous pourrions fonder notre recherche sur une base de données similaire à celle de la méthode Th-B-C-E 2012.



1.3 Les moyens techniques pour fins d'optimisation énergétique?

2- Les données maquette numérique, un potentiel pour la rénovation énergétique

La maquette numérique représente un nouveau paradigme au sein du secteur de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction, en favorisant l'intégration de tous les acteurs intervenant dans un projet. Au fil des années, le taux d'adoption du BIM

par les acteurs de la construction continue d'augmenter (Jennifer 2012). En tant qu'informations de diverses disciplines constamment intégrées dans la maquette numérique tout au long du cycle de vie du projet, les données BIM deviennent de plus en plus grandes. En effet, à l'ère des « Big Data » une grande quantité d'information est générée lors de la conception d'un bâtiment.

On constate aujourd'hui beaucoup d'efforts consacrés à la promotion de l'interopérabilité qui propose le BIM. Cependant peu d'entre eux ont porté leur attention sur l'exploration de données liés à la maquette numérique. Admettant qu'un projet d'architecture implique régulièrement plusieurs professionnels de différents domaines et disciplines, un grand nombre de données de différents types seront intégrées dans la même base de donnée. Dans le cas de la conception architecturale, il existe de nombreux paramètres traduits par de données. Ces paramètres sont ceux que l'on a décrit dans la partie 1.1.1.

Il est difficile de gérer et utiliser les données d'une maquette numérique. Néanmoins il existe un format permettant de partager, assembler les données d'une maquette numérique: l'Industry Foundation Classes (IFC). Ce format, est actuellement le seul format open suffisamment développé pour partager données liés à une maquette numérique provenante de n'importe quel logiciel. Toutefois, à mesure que la taille des données et les fonctions du logiciel BIM augmentent, il est de plus en plus difficile pour les utilisateurs d'obtenir correctement les informations qu'ils souhaitent. On pourrait considérer qu'il sera nécessaire de créer une base solide pour l'exploration de données BIM afin de simplifier l'interaction avec les données provenantes d'une maquette numérique.

2.1 La maquette numérique

La maquette numérique englobe les informations tout au long du cycle de vie d'un bâtiment, favorisant ainsi la collaboration multidisciplinaire ainsi que la prise de décision. IFC est un protocole de données proposé pour le partage d'informations entre différents logiciels. Au fil des années de développement et d'amélioration, la norme IFC est largement acceptée pour l'échange d'informations.

Des schémas tels que l'IFC définissent la manière dont différentes applications logicielles BIM communiquent entre elles. Cependant, comme indiqué dans le livre

blanc de BuildingSMART 2008, un vocabulaire contrôlé de la terminologie de la construction est essentiel pour faciliter l'échange de données.

Logiciel weka...

2.2 Traitement du langage naturel

Grâce à l'utilisation du Natural Language Processing (NLP) les données issues d'une maquette numérique pourraient être transformées et organisées de sorte que le traitement dans le logiciel d'exploitation de données soit plus compréhensible. Le « Natural Language Processing » (NLP) est un processus informatisé d'analyse de texte qui repose à la fois sur un ensemble de théories et sur un ensemble de technologies (Liddy, 2001), largement utilisée en médecine, en intelligence artificielle, etc. En termes généraux, la NPL est consiste à: (1) « Le traitement de signaux » traite des mots parlés comme donnée d'entrée en les transformant en texte. (2) « L'analyse syntaxique » permet de déterminer la structure ou la grammaire des phrases. (3) « L'analyse sémantique » permet de traiter de la signification des mots et des phrases, de la manière dont les mots et les phrases se réfèrent à des éléments du monde. (4) « Le pragmatique » concerne la manière dont le sens d'une phrase dépend de sa fonction dans la vie quotidienne.

En outre le NLP consiste à faire un étiquetage syntaxique et une analyse grammaticale afin d'établir des relations entre les différents segments d'une phrase. Après traitement par NLP, l'intention est de structurer les données fournies en format IFC afin de l'exploiter dans un logiciel data mining, comme par exemple, « Weka ».

Il existe aujourd'hui de nombreuses recherches sur le NLP, d'où une série d'outils sophistiqués ont été mis au point. En effet, actuellement il est plus facile de traiter les informations sur la base d'un texte brut ou d'un discours, comme le fait « Siri », par exemple. L'IFC est capable de fournir une base solide pour le stockage et l'interopérabilité des données BIM. De plus, au cours des années de pratique, une grande quantité de données BIM s'est accumulée et continuera d'augmenter. De plus différentes plateformes de stockage et partage pour BIM ont également été développées. Par conséquent, il est très utile de continuer à promouvoir la valeur d'analyser les données volumineuses de la maquette numérique.

2.1.2 Data mining.

L'exploration de données consiste à rechercher des informations dans de grands volumes de données. L'objectif global du processus d'exploration de données est d'extraire des informations d'un ensemble de données et de les transformer en une structure compréhensible pour une utilisation ultérieure. Le data mining est principalement composé de deux parties: le pré-traitement et l'analyse des données. Le premier récupère les données de divers ensembles de données et les transforme pour les analyser, tandis que le dernier analyse les données avec différents algorithmes. De nos jours, l'exploration de données a été utilisée pour l'analyse de données médicales et spatiales afin de découvrir nouvelles connaissances.

Dans le cas d'une maquette numérique on peut trouver également un grand nombre de données. Ces informations, parfois volumineuses, sont très difficiles à traiter manuellement. On pourrait considérer, par exemple, un système d'apprentissage automatique pouvant aider les concepteur à découvrir des solutions alternatives pour une conception plus performante au niveau énergétique.

Au cours des 50 dernières années, une grande variété de logiciels de simulation énergétique de bâtiment ont été développés, améliorés. Quelques exemples de ces logiciels sont: BLAST, EnergyPlus, eQUEST, TRACE, DOE2, ECOTECT, etc. Selon (Soibelman et Kim, 2002), même une simple modélisation d'énergie génère des centaines de pages de données. Des exemples de caractéristiques de bâtiment simulées incluent les coûts énergétiques estimés en termes d'orientation du bâtiment, de système de CVC, d'efficacité et de contrôle d'éclairage, d'isolation, du type de vitrage, de la consommation d'eau, de la lumière du jour, etc. Ces volumes de données dépassent tout simplement les capacités humaines pour identifier la meilleure combinaison entre éléments du bâtiment (isolation, fenêtres, portes, etc.) au cours du processus de conception du bâtiment. L'évaluation des résultats de la modélisation énergétique des bâtiments dépasse nettement les méthodes traditionnelles d'analyse des données telles que les feuilles de calcul.

En ce qui concerne la méthode de récupération de données on pourrait se baser sur le format IFC. Ce format a été développé pour extraire des informations

structurées et les partager. Néanmoins, il faut structurer les informations issues de la maquette numérique en établissant de relations entre chaque élément et les entités.

2.3 Domaines de prédilection

Grâce à une base de donnée structurée on pourrait développer un système d'apprentissage automatique pouvant aider les architectes à découvrir des nouveaux modèles utiles pour une conception de bâtiments plus performants énergiquement, ainsi qu'à prendre des décisions plus efficaces pour la construction de bâtiments. Entre autre, une technologie d'apprentissage automatique, c'est-à-dire, un processus d'analyse de données combinant différentes techniques, telles que la reconnaissance de formes, les statistiques et la visualisation, afin d'extraire automatiquement des concepts, des relation et des modèles d'intérêt à partir d'un grand ensemble de données. On pourrait identifier modèles jusque-là inconnus de la conception de bâtiments à haut rendement énergétique. En outre, un processus d'arbre de décision pourrait être utilisé pour classer les possibles solutions de conception. Ensuite, un programme de sélection de sous-ensembles afin d'identifier les tendances d'attributs.

A titre d'exemple, on pourrait imaginer créer une relation entre l'épaisseur des murs et les surfaces d'ouvertures en façade. Grâce à l'analyse de données définir un coefficient entre combien de surface d'ouverture en façade est nécessaire pour un mur de « x » mètres carrés, et vice versa, dans le but de rendre plus performant les consommations énergétiques.

Bibliographie

- Ahn, K.-U., Kim, Y.-J., Park, C.-S., Kim, I., and Lee, K. (2014). "BIM interface for full vs. semi- automated building energy simulation." Energy and Buildings, The 2nd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), 2012, University of Colorado at Boulder, USA, 68, Part B, 671–678.
- Aldanondo, M., Barco-Santa, A., Vareilles, E., Falcon, M., Gaborit, P., and Zhang, L. (2014). "Towards a BIM Approach for a High Performance Renovation of Apartment Buildings." Product Lifecycle Management for a Global Market, IFIP Advances in Information and Communication Technology, S. Fukuda, A. Bernard, B. Gurumoorthy, and A. Bouras, eds., Springer Berlin Heidelberg, 21–30.
- Alwan, Z. (2015). "A proposal for a BIM performance framework for the maintenance and refurbishment of housing stock." Structural Survey.
- Barlish, K., and Sullivan, K. (2012). "How to measure the benefits of BIM — A case study approach." Automation in Construction, 24, 149–159.
- Cheng, J. C. P., and Ma, L. Y. H. (2013). "A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning." Waste Management, 33(6), 1539–1551.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. John Wiley & Sons.
- Rifkin, Jeremy (2013). la troisième révolution industrielle. Arles; Montréal (Québec);
- VALENTE, Clément (2015.). BIM & BTP: Construire grâce à la maquette numérique. Méthodes BTP.
- Valicourt, Dominique de, et Sylviane Nibel (2012). Programmer, concevoir, réaliser et exploiter un bâtiment durable : Mettre en oeuvre un système de management d'opération : mode d'emploi. Améliorer son organisation et ses pratiques...

- Gholami, E., Sharples, S., Abrishami, S., and Kucaturk, T. (2013). “Exploiting BIM in energy efficient re-furbishment:a paradigm of future opportunities.” PLEA2013, W. Lang, ed., Fraunhofer IRB Verlag, Munich, Germany, 1–6.
- Larsen, K. E., Lattke, F., Ott, S., and Winter, S. (2011). “Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements.” Automation in Construction, 20(8), 999–1011.
- Miettinen, R., and Paavola, S. (2014). “Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling.” Automation in Construction, 43, 84–91.
- Di Mascio, D., and Wang, X. (2013). “Building information modelling (BIM)-supported cooperative design in sustainable renovation projects.” Co-operative Design, Visualization, and Engineering, Springer, 205–212.
- Livre_Blanco_Maquette_Numerique_mai2014_PDD_bassedef-v1.pdf. Disponible sur: <http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/>.
- Revue_pratique_des_logiciels_SED_-2015-07-08_revu.pdf. Disponible sur: <http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/>.
- CAU, E., and POUGET, A. Rapport final du groupe de travail: RENOVATION DES LOGEMENTS : DU DIAGNOSTIC A L’USAGE INVENTONS ENSEMBLE LA CARTE VITALE DU LOGEMENT. [En ligne]. Disponible sur : <[http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf /Rapport_-Construisons_ensemble_la_carte_vitale_du_logement_VD.pdf](http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_-Construisons_ensemble_la_carte_vitale_du_logement_VD.pdf)> (may. 29, 2016).
- FNAIM. Bilan FNAIM des marchés du logement en 2014. [En ligne] Disponible sur : <http://www.fnaim.fr/cms_viewFile.php?idtf=1890&path=d3%2F1890_370_FNAIM- Logement_en_France-2014-publication-mars-2015-.pdf> (Feb. 8, 2016).
- Insee. (2015). “Les entreprises en France.” <http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/ENTFRA15.pdf> (Aug. 2, 2016).
- Hovorka, F., and Mit, P. (2014). Plan Bâtiment Durable Rapport groupe de travail BIM et Gestion du patrimoine. [En ligne]. Disponible sur : <<http://>

www.planbatimentdurable.fr/publication-du-rapport-final-bim-et-gestion-du-a790.html (Jan. 20, 2016).