TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 LE CONTEXTE ET LES DÉFIS D'OPTIMISATION.....5
1.1 Les enjeux du cadre bâti dans le contexte de développement durable 5
1.2 Le processus de conception 6
1.3 Pratique de conception traditionnelle.....7
1.4 Les limitations.....7
1.5 Encadrement et incitation à l'optimisation 8
1.6 Discussion.....10

CHAPITRE 2 APPROCHES POUR UN HABITAT PERFORMANT 11
2.1 L'approche bioclimatique 11
2.1.1 Stratégies passives versus stratégies actives 12
2.1.2 Les dispositifs bioclimatiques..... 13
2.1.2.1 Le chauffage passif 13
2.1.2.2 Le refroidissement passif 15
2.1.2.3 L'éclairage naturel 15
2.2 L'approche de bâtiment Net Zéro 16
2.2.1 Principe 16
2.2.2 Les stratégies clefs pour l'approche Net Zéro 17
2.3 Discussion.....19

CHAPITRE 3 MÉTHODES ET OUTILS.....21
3.1 Les méthodes 21
3.1.1 Les codes d'énergie..... 21
3.1.2 L'approche itérative 22
3.2 La simulation énergétique : Outil d'aide à la décision 22
3.2.1 Principe 23
3.2.2 La simulation dans les premières étapes de conception..... 25
3.2.2.1 Aspects architecturaux à considérer..... 27
3.2.2.2 Critères de choix des outils de simulation 29
3.2.2.3 Les outils de simulation 31
3.2.3 Pratique de la simulation dans le processus de conception..... 32
3.3 Discussion.....35

CHAPITRE 4 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....37
4.1 Conception de la recherche.....37
4.2 Analyse des pratiques des firmes.....38
4.2.1 Échantillonnage..... 38
4.2.2 Questionnaire 39
4.3 Analyse des données.....40

4.4 Cartographie du processus 40
4.5 Formalisation du cadre 41
4.6 Validation des résultats 41

CHAPITRE 5 RÉSULTATS 43
5.1 Les résultats des entrevues 43
5.2 Problématiques observées 47
5.3 Cartographie du processus 48

CHAPITRE 6 CADRE OPTIMISÉ 53
6.1 Approche théorique 53
6.1.1 Préconception – analyse du site 55
6.1.1.1 Les paramètres d'étude 55
6.1.1.2 Les outils 56
6.1.2 Esquisse – forme et orientation 57
6.1.2.1 Les paramètres d'étude 57
6.1.2.2 Les outils 58
6.1.3 Dossier préliminaire – éclairage naturel 59
6.1.3.1 Paramètres d'étude 61
6.1.3.2 Les outils 62
6.1.4 Dossier préliminaire - enveloppe 64
6.1.4.1 Les paramètres d'étude 65
6.1.4.2 Les outils 68
6.2 Cadre d'optimisation proposé 71
6.2.1 Flot de travail 72
6.2.2 Cartographie des outils 77
6.3 Discussion 79

CONCLUSION 81

ANNEXE I QUESTIONNAIRE 83

ANNEXE II PRÉSENTATION DES OUTILS DE SIMULATION 85

ANNEXE III LES MÉTRIQUES DE PERFORMANCES DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL 91

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 93

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 2.1 Comparaison entre les stratégies passive et active 13

Tableau 2.2 Principaux aspects considérés dans l'approche Net Zéro 18

Tableau 3.1 Paramètres architecturaux identifiés pour simulation au début 28

Tableau 3.2 Aperçu des outils d'analyse disponibles pour le passif 32

Tableau 4.1 Caractéristiques des firmes interviewées 39

Tableau 4.2 Cadre d'analyse.....40

Tableau 5.1 Outils utilisés par les firmes interviewées et les caractéristiques 44

Tableau 5.2 Principales fonctionnalités des outils de simulation 45

Tableau 5.3 Lacunes d'intégration de la simulation dans.....46

Tableau 6.1 Cadre d'analyse pour la simulation énergétique selon la littérature 54

Tableau 6.2 Comparaison des outils d'analyse du climat.....56

Tableau 6.3 Comparaison des outils de simulation des options 59

Tableau 6.4 Comparaison des outils de simulation de l'éclairage naturel.....63

Tableau 6.5 Principaux paramètres améliorant la performance de l'enveloppe.....66

Tableau 6.6 Comparaison des outils de simulation de l'enveloppe.....69

Tableau 6.7 Présentation des outils spécifiques pour fenestration 71

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 Répartition de la consommation énergétique des bâtiments 6

Figure 1.2 Impact de décision en début de conception sur la performance 8

Figure 2.1 Représentation du concept NZÉ 17

Figure 3.1 Schématisation du flux des données dans un outil.....23

Figure 3.2 Principe de Trias Energetica 26

Figure 3.3 Critères de sélection des outils de simulation 29

Figure 3.4 Pratique actuelle de la simulation dans le processus de conception 33

Figure 3.5 Outils de simulation développés pour architectes.....34

Figure 4.1 Analyse du processus de conception.....38

Figure 5.1 Flux d'analyse dans le processus de conception.....49

Figure 6.1 Première étape dans le processus de simulation 55

Figure 6.2 Simulation énergétique des options 58

Figure 6.3 Processus de simulation de l'éclairage naturel 61

Figure 6.4 Processus d'optimisation de l'enveloppe.....67

Figure 6.5 Flot de travail pour la phase de préconception 74

Figure 6.6 Processus d'optimisation à l'esquisse.....75

Figure 6.7 Flot de travail optimisé au dossier préliminaire.....76

Figure 6.8 Répartition suggérée des outils de simulation selon les étapes de conception 79

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ASHRAE	American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers
BIM	Building Information Modeling
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CNÉB	Code National de l'Énergie pour les Bâtiments
CVCA	Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'Air
DA	Daylighting Autonomy
DAv	Daylight Availability
DF	Daylight Factor
FS	Facteur Solaire
iiSBE	international initiative for a Sustainable Built Environment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NZÉ	Net Zéro Énergie
TL	Transmission Lumineuse
UDI	Utility Daylighting Indice
WWR	Window to Wall Ratio

Rapport-Gratuit.com

INTRODUCTION

La construction et l'immobilier sont au centre de la question environnementale, dont l'importance va croissante. Les choix techniques et architecturaux impactent la vie quotidienne des utilisateurs, mais aussi l'avenir de la planète (Platzer, 2009): à lui seul, le secteur du bâtiment contribue actuellement à 11 % des émissions de gaz à effet de serre au Québec (Ministère du Développement Durable, 2013)et compte pour près du tiers de la consommation totale d'énergie au Canada (Statistique Canada, 2010).

Ces dernières décennies, des mesures d'atténuation ont été progressivement mises en place pour susciter la conception des bâtiments plus éco-sensibles, entre autres sur l'aspect efficacité énergétique. Ces mesures se sont traduites par des objectifs chiffrés qui ont marqué l'évolution des matériaux de construction plus écologiques et des systèmes plus efficaces. Toutefois, celles-ci ne peuvent jusqu'à présent être d'un grand secours dans la recherche d'une architecture efficiente, qui, selon les études menées par Larsson (2004) et Reed (2009) est relative aux méthodes par lesquelles le bâtiment est conçu.

Bâtir avec performance nécessite une approche holistique pour laquelle la question énergétique est délibérée tôt dans le projet. Cependant, cette approche n'est pas toujours évidente si le processus de conception est linéaire. La littérature évoque également qu'il est possible de réaliser des économies substantielles en énergie si l'architecte s'appuie sur les stratégies passives dans son concept. La considération de cet aspect, en amont du projet, est importante puisque la grande part de la consommation énergétique (près de 65%) est en phase d'exploitation (Optis et Wild, 2010). Mais, contrairement en mécanique, pour lequel ASHRAE a constitué une bonne référence pour les ingénieurs, les directives de conception selon ces mesures sont encore déficientes pour les architectes.

Dans cette optique, la simulation énergétique offre des possibilités intéressantes pour éclaircir les décisions de l'architecte et atteindre ainsi les objectifs de performance.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Celle-ci permet d'évaluer et de comparer différentes alternatives de conception, ce qui oriente le concepteur vers le choix optimal dès le début du processus. Or, il s'est avéré que cette pratique s'applique en aval (à l'étape de conception détaillée) et est plutôt centrée sur des fins de conformité avec les normes ou bien pour assister le processus de dimensionnement des systèmes mécaniques. Une telle approche ne peut maximiser l'efficacité du bâtiment puisque les grandes opportunités d'optimisation se situent au début de la conception. Outre cela, l'individualisation des réponses ne permet pas, certes, d'aboutir à des solutions optimales.

Ce travail de recherche vise à développer une approche méthodologique à la problématique de *l'intégration de la simulation énergétique* au début du processus de *conception,* et ce dans le cadre d'une architecture visant les stratégies passives pour atteindre les objectifs de performance énergétique.

La question de recherche est la suivante: comment maximiser la performance énergétique d'un bâtiment en optant pour des approches passives ?

Pour résoudre les problèmes énoncés, l'objectif principal est de produire une méthodologie pour l'utilisation des outils de simulation en amont du projet. Les objectifs spécifiques sont :

1. Formaliser un processus de simulation dans la définition du projet par l'architecte ;
2. Définir un processus itératif entre l'architecte et autres disciplines (ingénieur mécanique et modeleur) ;
3. Définir les outils associés à ce processus.

Pour étudier ceci, il est question de se pencher d'abord sur le contexte de l'optimisation énergétique des bâtiments dans le cadre de règlements en vigueur. Le deuxième chapitre introduit deux approches pour un habitat performant : l'approche bioclimatique et l'approche de conception des bâtiments Net Zéro Énergie. La simulation énergétique en tant qu'outil d'aide à la décision est présentée dans le CHAPITRE 3. La suite de ce travail entame une démarche d'optimisation dans le cadre de conception traditionnelle, visant l'intégration de la

simulation au début du processus. Cette démarche va amorcer une discussion sur les méthodes, les outils de simulation les plus pertinents, les principaux acteurs dans le processus et les améliorations au niveau des flux de travail.

CHAPITRE 1

LE CONTEXTE ET LES DÉFIS D'OPTIMISATION

Avec la croissance démographique, le réchauffement climatique et l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables, le monde fait face à une transition énergétique qui incite à la réduction de la consommation d'énergie et le recours aux énergies renouvelables. Le secteur du bâtiment constitue à la fois un enjeu majeur et un axe stratégique pour l'atteinte de ces objectifs.

Dans ce chapitre, les différentes directives et certifications sur l'efficacité énergétique sont abordées. Tout d'abord, une analyse de la pratique actuelle de conception et ses limites face aux problématiques énergétiques des bâtiments Canadiens sera présentée.

1.1 Les enjeux du cadre bâti dans le contexte de développement durable

Pour mieux comprendre les enjeux qui motivent le portrait de la conception des bâtiments performants en énergie, il est judicieux de dresser un portrait réel de l'état actuel des choses sur le sujet.

Le réchauffement climatique, la raréfaction des ressources énergétiques et l'engagement international à réduire les émissions de gaz à effet de serre font en sorte que les acteurs dans le domaine du bâtiment doivent réagir pour réduire les consommations énergétiques : à lui seul, le secteur du bâtiment consomme près du tiers de l'énergie produite au Canada (Ressources naturelles Canada, 2011). Selon la même source, près de 70% à 90% de cette énergie est consommée dans la phase d'opération du bâtiment. Ces dépenses énergétiques se traduisent en bonne partie en chauffage et en climatisation (voir Figure 1.1). L'éclairage est le deuxième pôle de consommation suivi par les équipements électroniques de bureau.

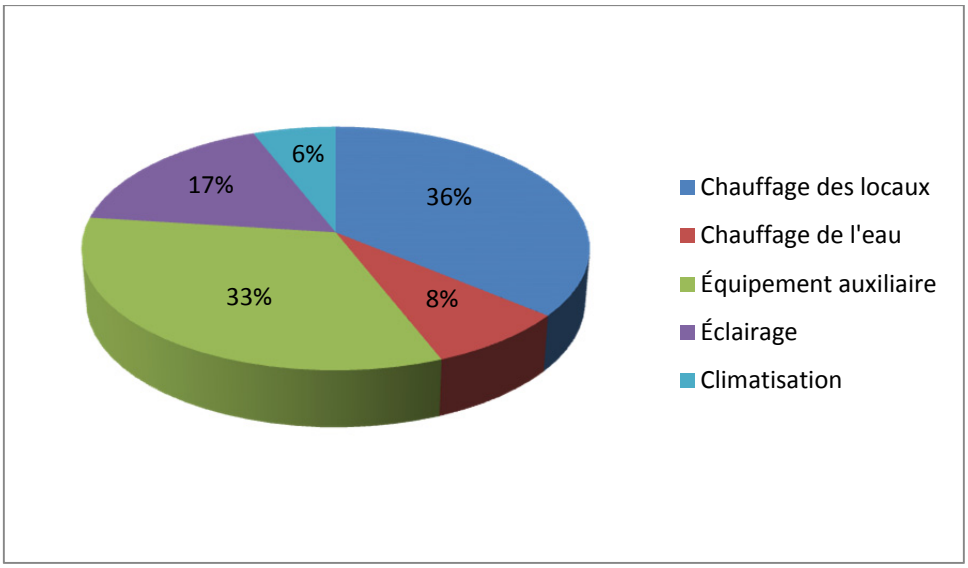

Figure 1.1 : Répartition de la consommation énergétique des bâtiments commerciaux et institutionnels
Adapté de (Ressources naturelles Canada, 2011)

1.2 Le processus de conception

La conception est la phase clé dans le processus de réalisation d'un bâtiment, car toutes les décisions concernant celui-ci sont prises pendant cette étape (Zimmerman, 2006). Dans la pratique courante, les phases de conception sont dictées par les codes de pratique professionnels. Au Québec, il s'agit du code de pratique de l'architecte (Institut Royal d'Architecture du Canada, 2009). Ce mémoire s'appuie sur celui-ci. Dans ce cadre, le processus de conception est réparti en quatre phases : Préconception, esquisse, dossier préliminaire et dossier définitif. L'étude de faisabilité et la planification stratégique du projet sont entamées durant la préconception. Ensuite, c'est au cours de la phase d'esquisse que les besoins du client prennent une forme architecturale. À l'étape du dossier préliminaire, l'esquisse préparée sera plus raffinée. Finalement, c'est la phase du dossier définitif où les dessins d'exécution et le devis descriptif se préparent.

Dans l'étude de cas de De Wilde, Augenbroe et Van Der Voorden (1999), cinq phases de conception sont répertoriées: L'étude de faisabilité, la phase conceptuelle, la phase de conception préliminaire, la conception finale et la préparation des documents pour la

construction. La première correspond plutôt à une étape de mise en place des données nécessaires au projet. La phase conceptuelle est la première phase pendant laquelle l'architecte développe le concept architectural d'ensemble. Cette étape correspond aussi à l'étape esquisse dans le code de pratique de l'architecte. Durant la phase préliminaire, les solutions architecturales sont explorées, sur la base du concept préalablement approuvé par le client. Le projet, ainsi développé et retenu, est alors enrichi et détaillé au cours de la phase de conception détaillée. La dernière étape correspond à la production des dessins d'exécution nécessaires à la construction.

1.3 Pratique de conception traditionnelle

Ces derniers siècles ont été caractérisés par une conception intuitive. Cette approche traditionnelle de conception est menée principalement par l'architecte. Celui-ci s'entend avec le client sur l'apparence générale du bâtiment (orientation des façades, fenestration, matériaux à utiliser). Puis, les ingénieurs seront appelés à concevoir les systèmes mécaniques et électriques les plus adaptés au modèle architectural préétabli (Poel et al., 2005). Il s'agit alors d'une approche linéaire, fragmentée qui, selon les écrits recensés, supporte mal le développement d'une architecture performante en énergie (Larsson, 2001; Synnefa, Karlessi et Santamouris, 2008).

1.4 Les limitations

Les écrits recensés convergent vers la même constatation : Le mode traditionnel de conception se prête mal à l'optimisation énergétique du bâtiment. Larsson (2001) affirme qu'un processus linéaire n'encourage pas les différents professionnels à collaborer, mais les forcent plutôt à intervenir de façon successive. En réduisant ainsi l'interaction entre les disciplines, la capacité d'innovation des équipes du projet diminue et les possibilités d'optimisation restent limitées (Savanovic et Zeiler, 2009). D'autre part, Chua et al. (2003) affirment qu'une conception fragmentée conduit à des conflits de conception détectés souvent tard dans le processus. Alors qu'à ce stade, effectuer des modifications peut entrainer une augmentation significative

du coût et aboutit à des solutions non optimales, comme présenté par la courbe de MacLeamy de la Figure 1.2. Cette courbe démontre que les opportunités d'optimisation se concentrent dans la phase de conception, particulièrement, dans les premières étapes. À ce stade, les impacts sur la performance du bâtiment sont plus importants. Toutefois, plus la conception avance, plus l'impact diminue (ASHRAE, 2010).

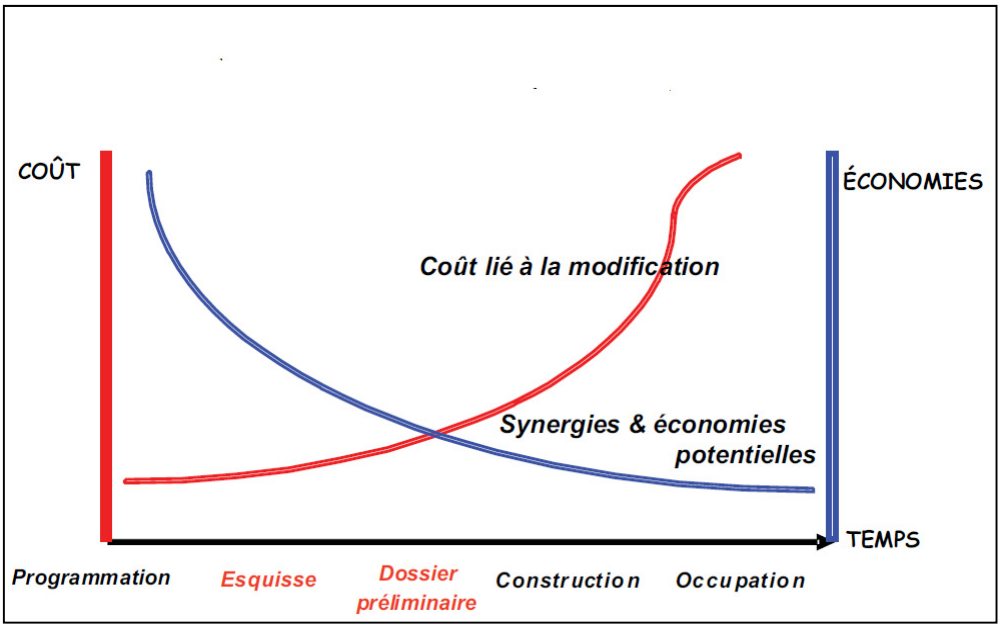

Figure 1.2 : Impact de décision en début de conception sur la performance d'un bâtiment
Tirée de (Zimmerman, 2006)

Bref, la conception traditionnelle est généralement incapable de livrer les niveaux de performance requis par la plupart des projets contemporains (Poel et al., 2005). Pour ces raisons, et dans un motif d'inciter l'adaptation de cette logique d'optimisation, des certifications et des programmes incitatifs ont été mis en place.

1.5 Encadrement et incitation à l'optimisation

Pour faire suite à la prise de conscience des enjeux environnementaux, la Grande-Bretagne lançait en 1990 le BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment

Method), la première certification environnementale. D'autres ont suivi par la suite, et il existe actuellement une multitude de certifications.

Au Québec, la certification la plus connue est LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Ce système d'évaluation profite d'une crédibilité chez les professionnels (Pulselli et al., 2007). Les niveaux de certification qui peuvent être obtenus selon cet outil d'étalonnage environnemental varient selon le pointage attribué au projet. Ces points sont accumulés à l'aide des crédits accordés pour chaque catégorie. Ces dernières incluent : Aménagement écologique du site, gestion efficace de l'eau, énergie et atmosphère, matériaux et ressources, ainsi que qualité des environnements intérieurs (USGBC, 2013). En ce qui concerne l'optimisation énergétique, la catégorie énergie et atmosphère oblige une performance minimale et propose une optimisation énergétique qui sera évaluée, par la suite, à l'aide des outils de simulation.

La certification LEED a pris un essor important au Québec, contrairement à SBTool, un autre système d'évaluation, qui n'a suscité que peu d'intérêt pour l'industrie. Le SBTool est une initiative de Ressources Naturelles Canada dérivée du cadre C-2000 (programme pilote pour des bâtiments à haute performance énergétique) et est gérée depuis 1998 par l'International Initiative for a Sustainable Built Environement (iiSBE) (Larsson, 2001). Ce système vise à évaluer l'émission des gaz à effet de serre (GES) dans les bâtiments.

Le système de pondération de SBTool est différent de LEED : celui-ci attribue des points par des tiers autorisés et ce selon des indicateurs et références qui prend en considération les conditions locales du projet. En plus, il s'appuie sur le processus de conception intégrée en tant qu'outil pour atteindre la performance énergétique. Le point fort dans cette démarche est qu'elle encourage l'adoption d'approches innovatrices telles que la prise de décision par consensus et la révision en continue des objectifs du projet.

Passivhaus est une certification européenne qui commence à se développer ces dernières années. Un Passivhaus ou bien bâtiment passif est un bâtiment dans lequel l'ambiance

Rapport-Gratuit.com

intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel à un système conventionnel actif de chauffage ou de climatisation (ADEME, PUCA et CSTB, 2007). Cette certification est plus exigeante en performance que LEED et SBTool. Une construction répondant à cette norme génère jusqu'à 90% plus d'économie en énergie de chauffage et permet des réductions jusqu'à 70 % sur l'ensemble de l'énergie consommée (Saucier, 2009).

1.6 Discussion

Les certifications abordées présentent un levier important pour atteindre les objectifs de performance. Celles-ci, bien qu'elles diffèrent au niveau des exigences et dans l'application, suscitent une prise de conscience envers l'environnement (Cole, 1999). Cependant et malgré leurs bons côtés, ces systèmes de pondération sont soumis à de nombreuses critiques. Prenons l'exemple de LEED qui évalue la consommation énergétique à partir d'un modèle simulé. Cette démarche présente une faille au niveau des points accordés et du niveau d'accréditation atteint vu les écarts démontrés entre les performances calculées et les performances réelles (Dubois et Saucier, 2009). De plus, aucune boucle de rétroaction n'est envisagée dans la phase d'exploitation pour identifier les sources de ces écarts et améliorer ainsi le processus de conception. Pour SBTool, certes, il offre un cadre fiable pour encadrer le processus d'optimisation. Cependant, il ne garantit pas la qualité du résultat. Aussi, son utilisation demande une rigueur et un investissement que peu de clients et de professionnels sont prêts à endosser. Pour ces raisons, comme l'indique Ding (2008), les certifications en tant que telles préparent le cadre d'optimisation, mais ne garantissent pas une meilleure performance énergétique. Toutefois, ce constat ne s'applique pas à la certification Passivhaus qui va dépendre des résultats post mise en service. D'après la littérature, la meilleure stratégie commence par la recherche des parties énergivores dans le bâtiment et de les substituer par des apports d'énergie gratuite du site.

CHAPITRE 2

APPROCHES POUR UN HABITAT PERFORMANT

L'architecture depuis l'antiquité tire profit de l'environnement pour assurer le confort des occupants. Mais malheureusement, cette harmonie a été brisée au 20e siècle par les architectes qui ont eu tendance à moins considérer les variables climatiques en faveur de la haute technologie lors de la conception. C'est la crise énergétique des années 70 qui a changé les attitudes et a stimulé le besoin à l'approche bioclimatique et d'autres plus nouvelles dont l'approche de bâtiment Net Zéro : ces deux approches constituent le thème de ce chapitre.

2.1 L'approche bioclimatique

Après la première crise du pétrole, un nouveau paradigme de conception architecturale s'en est suivi. Il s'agit de l'architecture bioclimatique. Les frères Olgyay et Olgyay (1963) dans l'ouvrage « *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* » impliquent que le principe de base derrière cette approche est d'établir le lien entre le cadre bâti et l'environnement naturel. Ils la définissent comme étant l'interrelation entre climatologie, biologie, technologie et architecture, ou comme l'ont indiqué les chercheurs Potvin et Demers (2003), il s'agit de tirer profit des spécificités du climat local afin d'optimiser le confort des usagers par des stratégies passives sélectives.

Pour Fernandez et al. (2009), l'architecture bioclimatique vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement.

L'approche bioclimatique se résume, donc en stratégies passives, sans toutefois exclure le recours aux équipements actifs (mécanique, éclairage artificiel, etc.) pour assurer un environnement intérieur confortable.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2.1.1 Stratégies passives versus stratégies actives

L'intérêt porté pour les dispositifs bioclimatiques comme a été décrit dans le rapport technique d'European Commission (1997) dépasse l'attractivité économique en faveur d'une approche menant à des bâtiments plus efficaces et durables. Par contre, pour tirer le meilleur de cet attribut, Kwok et Grondzik (2007) et Kibert (2013) recommandent une maîtrise des interactions des composantes du bâtiment jumelées d'une analyse préliminaire de son site. Ceci inclut les conditions météorologiques, l'accès au soleil, l'effet de masque des bâtiments avoisinants, etc. : Autant de facteurs qui échappent au contrôle du concepteur, qui, selon ses choix, va balancer ou non entre eux.

La réduction des coûts est un autre attribut également énoncé dans les études. Ceci touche les deux volets : les coûts d'exploitation et l'entretien. En effet, une architecture bioclimatique permet de minimiser les charges de chauffage et de refroidissement. Par conséquent, les équipements actifs seront moins requis et la consommation d'énergie sur le cycle de vie du bâtiment sera minimisée. D'autre part, ces dispositifs présentent moins de risque de défectuosité, car elles dépendent des composantes architecturales durables telles que les matériaux, la volumétrie, l'orientation à l'opposé des équipements technologiques, les mesures actives, qui nécessitent souvent un entretien pour maintenir un rendement stable (Voir Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Comparaison entre les stratégies passive et active
Adapté de (Dubois et Saucier, 2009)

Stratégie passive	Stratégie active
Représente la qualité intrinsèque du bâtiment	Composant facultatif qui vient compléter les stratégies passives
Comportement aléatoire	Définie en fonction de la densité d'occupation et du comportement supposé des occupants
Durable	Possibilité de remplacement à plusieurs reprises
Aucune demande énergétique (énergie fossile) lors de la phase d'opération	Énergivore
Contrôle délicat (Imagination requise)	Contrôle facile (méthodes connues)
Peu ou pas d'entretien	Risque de défectuosités techniques

2.1.2 Les dispositifs bioclimatiques

Les stratégies bioclimatiques peuvent être classées en trois principales familles : le chauffage passif, le refroidissement passif et l'éclairage naturel. Ces dispositifs ont été définis à la base des diagrammes bioclimatiques réalisés dans les travaux antérieurs de Givoni (1994); Olgyay (1973).

2.1.2.1 Le chauffage passif

La littérature classifie les solutions pour le chauffage passif selon deux approches : réduction des déperditions thermiques et amélioration du captage solaire. La première consiste à conserver l'énergie à partir d'une optimisation de la forme du bâtiment et par l'atténuation des transferts de chaleur à travers son enveloppe. Alors que la seconde implique essentiellement l'optimisation de l'orientation et du vitrage afin de pouvoir tirer profit du plein potentiel solaire (Dubois et Saucier, 2009).

Les travaux pionniers d' Olgyay et Olgyay (1963) ont montré que la forme architecturale a un grand potentiel sur l'optimisation de l'énergie. Dans une étude plus récente, Kibert (2013) souligne qu'un bon choix de forme du bâtiment peut entraîner une réduction atteignant jusqu'à 40% de sa consommation énergétique. Un attribut, comme l'indique HESPUL

(2014), qui est relatif à la compacité du bâtiment. Étant donné que les déperditions thermiques se font principalement par conduction à travers l'enveloppe. Ainsi, plus les bâtiments sont compacts, moins ils sont soumis à la température extérieure et plus ils sont énergétiquement efficaces.

L'enveloppe est un autre aspect architectural faisant partie des grandes sources de déperditions thermiques. Celle-ci, comme le notent Aksamija et Mallasi (2010), doit être conçue d'une façon à optimiser les charges thermiques internes dans le bâtiment. Selon Roulet (2004), la meilleure stratégie pour limiter les transferts thermiques est de bien isoler les parois de l'enveloppe. À ce constat, Dubois et Saucier (2009) affirment qu'il faut garantir également une étanchéité suffisante tout en évitant les ponts thermiques. Pour mieux situer ce point, ils se réfèrent aux bâtiments certifiés Passivhaus (une des normes les plus strictes en terme d'efficacité énergétique dans le monde) qui consomment moins de 15kWh/ m^2, an pour le chauffage. Ce niveau de performance est atteint grâce à un dimensionnement judicieux des ouvertures, mais surtout grâce à une isolation et une étanchéité très élevée. Le vitrage est aussi un point agissant sur les performances de l'enveloppe (Anderson, 2014; Knovel et Halliday, 2008; Sekhar et Lim Cher Toon, 1998). Par contre, la priorité lors de la sélection du vitrage sera entre autres pour un motif de captage ou pour la conservation ou bien les deux simultanément.

L'interaction entre toutes ces composantes, l'incertitude pour prévoir le comportement des futurs occupants ainsi que du climat du site, sont autant des enjeux qui entravent la performance de la stratégie de chauffage, considérée la plus importante lors de la conception (Lovel, 2013).

Pour la seconde approche impliquant un maximum du captage solaire, la littérature évoque que la première stratégie pour ce faire est d'orienter les façades au Sud vu qu'elles bénéficient des radiations intenses en hiver contrairement à l'été ou l'exposition est moindre (Kibert, 2013). Cet aspect est à corréler avec la surface vitrée afin de favoriser les apports solaires passifs.

2.1.2.2 Le refroidissement passif

L'intérêt de cette stratégie est qu'elle vise à maintenir la qualité de l'air intérieur et à contrôler les surchauffes. L'ouvrage d'European Commission (1997) met l'accent sur deux approches complémentaires. Il évoque en premier temps le contrôle des gains solaires puis la modulation de la surchauffe issue de l'inertie thermique ou bien des charges internes. Pour la première approche, Dubois et Saucier (2009) soulignent que l'utilisation des protections solaires permet de réduire les apports solaires indésirables. Parallèlement, Reinhart (2002) note qu'une réduction des gains internes et particulièrement celle de l'éclairage artificiel permet de réduire également la chaleur présente dans les bâtiments.

Catalina, Virgone et al. (2008) se concentrent davantage sur l'inertie thermique en tant qu'accumulateur de chaleur et gestionnaire efficace d'énergie. Ce constat est issu des résultats de simulation qui prouvent des économies de chauffage allant jusqu'à 12%. Cependant, tel qu'indiqué par Anđelković et al. (2012), malgré le grand potentiel de cette mesure passive, elle est souvent mal comprise vu la complexité des interactions thermiques entre la masse de la construction et l'environnement externe et interne.

La ventilation naturelle est la deuxième approche évoquée pour le refroidissement passif. Boivin et Potvin (2008); Potvin et Demers (2005) affirment que la conception d'un bâtiment ventilé naturellement implique un dimensionnement adéquat et un positionnement stratégique des ouvertures en fonction des sources de circulation d'air. À ceci s'ajoutent d'autres variables architecturales telles que l'orientation et la morphologie du bâtiment.

2.1.2.3 L'éclairage naturel

L'éclairage naturel offre une voie intéressante pour la question énergétique des bâtiments. Selon Johnson et al. (1982), l'intérêt de cette stratégie s'adresse essentiellement aux bâtiments commerciaux et institutionnels, car elle réduit considérablement le besoin en

éclairage électrique et diminue les charges thermiques associées. Ils déduisent également que cette stratégie d'optimisation est sensible au climat et à l'orientation. Un constat qui s'accorde avec les investigations postérieures de Schrum et Parker (1996). Reinhart (2002) s'est concentré plutôt sur l'étude de l'effet de l'aménagement intérieur sur le facteur de la lumière du jour (*Voir* ANNEXE III p. 91) à l'aide de simulations. Il conclut que les propriétés des cloisons ainsi que leurs emplacements affectent grandement les conditions d'éclairage de l'espace intérieur.

La plupart de ces écrits convergent vers une optimisation de l'éclairage à partir des dispositifs architecturaux qui doivent être pris en compte au début de la conception. Il faut noter également que réussir cette stratégie constitue un réel défi pour l'architecte vu que la lumière naturelle varie constamment et donc, il doit tenir compte des effets d'éblouissement et de réflexions indésirables.

2.2 L'approche de bâtiment Net Zéro

L'approche Net Zéro est considérée comme une solution, parmi d'autres, pour résoudre la question d'économie d'énergie dans le secteur du bâtiment. L'intégration de cette approche dans la conception des bâtiments a été proposée à l'échelle mondiale. Les États–Unis promeuvent cette initiative pour les bâtiments commerciaux et projettent un objectif de 50% d'édifices à consommation énergétique Net Zéro d'ici 2040 (Crawley, Pless et Torcellini, 2009). En Europe, la directive sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB) établit la cible quasi nulle pour les constructions occupées par des administrations publiques d'ici 2018 et pour tous les nouveaux bâtiments d'ici 2020.

2.2.1 Principe

Le concept de bâtiment Net Zéro Énergie (NZÉ) (ou à consommation quasi nulle) reste large et plus complexe qu'il parait (Marszal et al., 2011). Cependant, la définition faisant appel à un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie renouvelable qu'il n'en consomme pour une

année, est celle retenue pour cette étude. Selon les différentes réflexions, cette balance énergétique (entre consommation et production) suit généralement ces étapes: réduire le plus possible les besoins en énergie fossile par des stratégies passives ; ensuite, intégrer des systèmes mécaniques les plus performants ; et finalement, générer de l'énergie renouvelable pour compenser la demande d'énergie nécessaire à l'éclairage, le chauffage et le refroidissement (Crawley, Pless et Torcellini (2009) ; Attia et al. (2012a) ; Garde et al. (2013)) (Voir Figure 2.1).

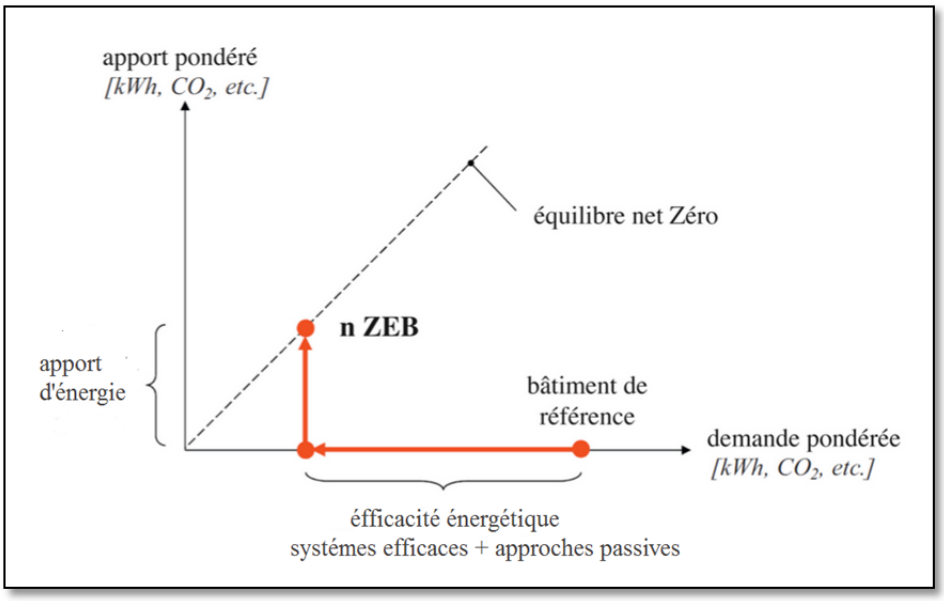

Figure 2.1: Représentation du concept NZÉ
Adaptée de (Sartori, Napolitano et Voss, 2012)

2.2.2 Les stratégies clefs pour l'approche Net Zéro

La conception des bâtiments NZÉ présente un réel défi pour le concepteur vu qu'il n'y a aucune méthode mise en place actuellement pour atteindre cet objectif systématiquement (Athienitis et al., 2010). De ce fait, les écrits présentant des projets types dévoilent des approches différentes, mais qui convergent vers le même concept : une construction NZÉ est une dérivée du bâtiment passif (Aelenei et Gonçalves, 2014; Athienitis et al., 2010; Attia et al., 2013; Hootman, 2012). Outre cela, ces auteurs s'accordent sur le fait que les

considérations relatives à l'énergie doivent être prises en compte plus tôt dans le processus de conception qu'il n'est indiqué dans la conception des bâtiments conventionnels. Ces considérations portent généralement sur l'intégration des mesures passives, le déploiement des systèmes d'énergie renouvelable, l'accroissement de l'efficacité énergétique et la mise en œuvre de solutions technologiques innovantes (Attia et al., 2013) (Voir Tableau 2.2).

Tableau 2.2 : Principaux aspects considérés dans l'approche Net Zéro
Adapté de (Attia et al., 2013)

Stratégies passives	Elles sont la base de l'approche Net Zéro et incluent tous les dispositifs bioclimatiques cités dans la section 2.1.2.
Efficacité énergétique	Une construction NZÉ doit être performante: Cela implique dépasser les cibles des codes de construction.
Systèmes pour énergie renouvelable	C'est une partie intégrante de l'approche Net Zéro qui doit être abordée dès le début, comme par exemple : La zone des panneaux solaires, le degré d'inclinaison et l'espacement entre les rangs.
Solutions technologiques	La nature agressive de l'objectif Net Zéro exige la mise en œuvre des solutions technologiques innovantes.

Un des facteurs clés pour aboutir au NZÉ est de tracer comment atteindre cette cible de performance. Le développement de cette stratégie constitue d'ailleurs le pivot des écrits traitant les questions de conception de ces bâtiments. A ce propos, Hootman (2012) évoque l'exemple du défi d'énergie 2030 et la certification LEED comme références et il note qu'une optimisation de 40% ou mieux par rapport aux exigences ASHRAE 90.1-2004 permet d'atteindre cet objectif. En contrepartie, les recherches conduites par Charron et Athienitis (2006) puis Aelenei et Gonçalves (2014) ont pu démontrer que la solution pour un bâtiment NZÉ réside dans une conception solaire passive couplée à des technologies d'énergie renouvelable. D'autre part, pour des climats où le besoin en chauffage est dominant, les études de Musall et Voss (2012); Shawna et Chris (2007) indiquent que la certification Passivhaus est la meilleure base de référence pour la mise en œuvre de ces bâtiments. Un constat appuyé par des projets réussis de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (2009), où un rapprochement d'une consommation nette zéro a pu être souligné.

2.3 Discussion

La performance énergétique est un concept qui peut être atteint selon différentes approches. Les deux principales sont l'approche bioclimatique et l'approche de bâtiment NZÉ. Ces dernières convergent vers une logique qui considère le climat comme élément déterminant du comportement du bâtiment. Par contre, chacune d'entre elles a ses propres stratégies d'optimisation : les bâtiments NZÉ dérivent du concept bioclimatique, mais les exigences au niveau de la consommation sont plus strictes.

La démarche de conception, selon ces approches, implique principalement une réflexion sur des solutions architecturales conditionnées par le climat. Vu le comportement aléatoire de ce dernier, l'incertitude lors du choix de ces stratégies sera ainsi élevée. En fonction de cela et face à la multitude d'aspects à considérer (mesures passives et actives), l'architecte a besoin d'outils et méthodes directrices pour les prises de décision.

Rapport-Gratuit.com

CHAPITRE 3

MÉTHODES ET OUTILS

Améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment est toute une panoplie de décisions prises au début du processus. La littérature a dévoilé que le plus grand potentiel des économies réside dans les stratégies passives (Dubois et Saucier, 2009). À ce niveau, il revient aux architectes de bien évaluer l'impact des différentes options de performance et de choisir l'option la plus optimale. Bien qu'à première vue, les règles heuristiques semblent appropriées pour les toutes premières ébauches d'un projet de bâtiment conventionnel, le besoin d'outils de simulation et des lignes directrices s'impose pour des constructions performantes sur le plan énergétique.

3.1 Les méthodes

Il existe énormément de confusion dans le processus de définition des stratégies passives. La littérature évoque les codes d'énergie comme feuilles de route jumelées d'une approche itérative pour une amélioration en continu de la performance énergétique.

3.1.1 Les codes d'énergie

Pour un objectif de performance, l'approche favorisée est la création, tôt dans le projet, d'un modèle de référence à l'aide des outils de simulation afin de bien cadrer les enjeux d'optimisation des stratégies passives par rapport au site. Les modèles de référence des codes et normes d'efficacité énergétique tels qu'ASHRAE 90.1 et CNEB peuvent servir de repères vu qu'ils traitent quelques aspects passives comme par exemple la résistance thermique et la fenestration (Mahdavi et al., 2003). D'autre part, les données qu'ils procurent concernant les densités d'occupation, l'efficacité des équipements, l'éclairage requis pour les différents types du bâtiment, etc. peuvent assister le concepteur lors de la définition de son modèle, surtout lors des premières phases où les détails sont encore flous (ASHRAE, 2010).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

3.1.2 L'approche itérative

La conception d'un bâtiment performant nécessite généralement le développement des alternatives de conception. Pour arriver à la combinaison la plus efficace, ces alternatives doivent être évaluées, comparées, raffinées et enfin optimisées. Ceci est le principe d'une approche itérative selon laquelle le modèle architectural est progressivement révisé au fil du temps (ASHRAE, 2010).

En conception traditionnelle, chaque discipline optimise l'utilisation de ces ressources selon une approche linéaire, séquentielle. Outre cela, la rétroaction se limite souvent aux points de contrôle imposés par le client pour l'approbation des livrables et l'autorisation des paiements (Reed, 2009). Ce qui génère, trop souvent, des résultats sous optimaux et des reprises dans la conception et la construction.

Plusieurs options peuvent être envisagées pour les itérations comme par exemple l'évaluation de la consommation énergétique des différentes alternatives par les outils de simulation (De Wilde, 2004; Hemsath, 2013). Dans cette veine, la conception s'enchaine par sélection de la séquence d'options la plus optimale tout au long du processus: ces options sont testées itérativement. À chaque fois que les conditions de performance ne sont pas encore satisfaites, de nouvelles itérations seront envisagées pour peaufiner les décisions antérieures et se rapprocher ainsi des objectifs tracés.

3.2 La simulation énergétique : Outil d'aide à la décision

L'intégration des stratégies passives au début du processus de conception est un défi pour l'architecte. Ce dernier doit maitriser les interactions des composantes du bâtiment pour faire adapter ces stratégies aux caractéristiques météorologiques du site. Or, la complexité pour la définition des solutions synergiques jumelées avec le comportement aléatoire du climat et du microclimat environnant le bâtiment rendent les décisions plus difficiles à entreprendre. Suivant cette logique et dans un contexte de recherche de la performance énergétique,

l'architecte ne peut plus s'appuyer uniquement sur l'intuition et l'expérience pour éclairer ses choix. L'utilisation d'autres outils, dont la simulation énergétique, peut soutenir le processus décisionnel.

3.2.1 Principe

La simulation énergétique est l'analyse, à partir des outils informatiques, des effets de l'éclairage naturel (Reinhart et Fitz, 2006), de la consommation d'énergie des bâtiments (Hensen et Lamberts, 2012) et d'autres caractéristiques aussi pertinentes telles que le comportement thermique des bâtiments et les flux d'air (Potvin et Demers, 2003). Ces calculs se font généralement à partir des données spécifiques comme la géométrie du bâtiment, la composition et l'orientation des murs, le type et le profil horaire d'occupation et les systèmes mécaniques. Ces données, associées à un fichier climatique choisi selon la géographie du bâtiment, sont traitées dans un moteur de calcul permettant d'évaluer ces interactions et fournissant, par la suite, des estimations quantitatives (Voir Figure 3.1).

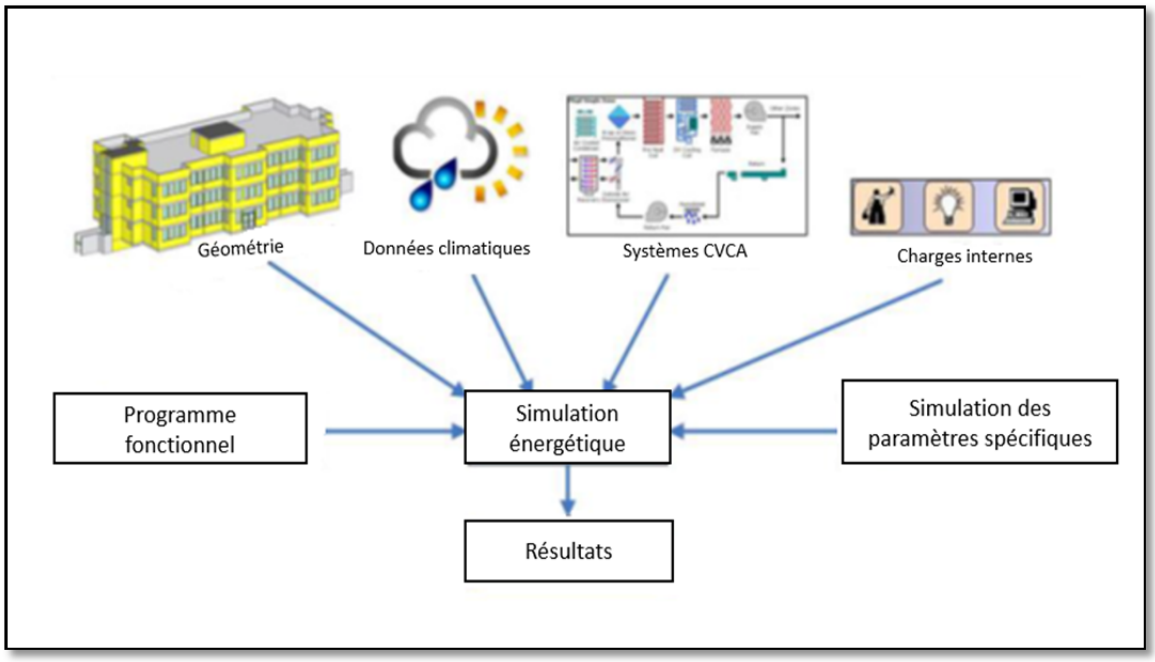

Figure 3.1 : Schématisation du flux des données dans un outil de simulation énergétique
Tirée de GSA (2012)

L'intégration de la simulation dans le processus de conception a fait l'objet de plusieurs recherches. La logique sous-jacente de cet intérêt est fondée sur une interprétation des besoins de l'architecte que ces outils peuvent combler. Cette contribution se résume comme suit:

- Phase de préconception : À cette étape, la simulation joue un rôle informatif. Le concepteur est intéressé par une indication sur la future consommation énergétique de l'immeuble. Une simple modélisation énergétique peut ainsi compenser ce besoin et permettre d'identifier par ordre de grandeur les facteurs contribuant aux charges énergétiques (Morbitzer et al., 2001).

- Phase d'esquisse : La simulation en esquisse se présente en tant qu'outil d'évaluation de la consommation globale du bâtiment (Augenbroe, 1992). Selon cet attribut, McCarry et Montague (2010) notent qu'il sera plus facile ainsi d'explorer l'option qui réduit le plus les besoins en énergie. Ces options se rapportent principalement à la volumétrie, l'orientation et la forme du bâtiment.

- Dossier préliminaire : À ce stade, la simulation portera principalement sur la comparaison des performances des choix architecturaux considérés. Les mesures de performance pour le dossier préliminaire ne se limitent pas à la consommation globale du bâtiment, mais incluent également les déperditions thermiques à travers les parois de l'enveloppe (Holst, 2003), les niveaux d'éclairage naturel (Reinhart et Fitz, 2006), la performance des vitrages (Tzempelikos, Athienitis et Karava, 2007), la ventilation naturelle (Boivin et Potvin, 2008), etc.

- Dossier définitif : tel qu'évoqué par Morbitzer et al. (2001), l'application de la simulation pour cette phase concerne plutôt les questions d'ingénierie. Le modèle énergétique établi servira en tant qu'outil de vérification de conformité avec les codes et normes de construction. Il permettra d'estimer, également, les coûts attribués à la consommation énergétique et d'évaluer le dimensionnement des systèmes électromécaniques.

Comme il a été indiqué dans le CHAPITRE 1, la démarche de conception des bâtiments performants en énergie est attribuée à des solutions architecturales décidées au début de la conception. Dans cette réflexion, il semble intéressant de s'attarder sur l'utilisation de la simulation pour ces phases.

3.2.2 La simulation dans les premières étapes de conception

Selon les investigations de Augenbroe (1992); Bambardekar et Poerschke (2009b), un recours précoce aux outils de simulation offre le meilleur potentiel pour adopter des solutions performantes en termes d'énergie. Ce constat rejoint les études antérieures de Paulson (1976) affirmant que les décisions prises en amont du projet affectent de 60%-70% les coûts d'exploitation durant le cycle de vie du bâtiment.

Pour illustrer ce dernier point, l'approche 'Trias Energetica' développée dans l'étude de Syneffa (2008) qui implique, par ordre d'importance, les étapes suivantes est considérée (Figure 3.**2**) :

- Réduire les charges du bâtiment en mettant en œuvre des dispositifs d'économie d'énergie ;
- Intégrer des technologies alimentées par des sources d'énergie durables au lieu des combustibles fossiles ;
- Utiliser l'énergie fossile le plus efficacement possible.

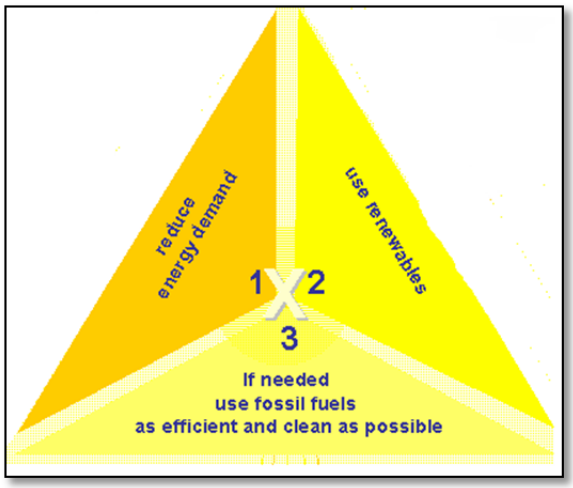

Figure 3.2: Principe de Trias Energetica
Tirée de (Syneffa, 2008)

Selon cette approche, la première étape se concentre sur des mesures passives attribuées à des caractéristiques architecturales telles que la forme du bâtiment, l'orientation des façades, l'éclairage naturel et les effets de masque du milieu environnant, etc. Dans l'absence des directives, à ce stade, la simulation du comportement thermique du bâtiment offre ainsi des possibilités intéressantes pour éclaircir les décisions bien que les résultats de simulation pour ces étapes ne soient pas trop précis. Ils fournissent au moins une direction de conception et une gamme d'options de performance.

Les travaux de Attia et al. (2012a) ont démontré à partir d'une étude sur les bâtiments à consommation énergétique quasi nulle, l'intérêt des outils de simulation pour aboutir à des résultats réussis. Selon les auteurs, la simulation énergétique permet d'examiner, au tout début du processus, les points d'incertitude attribués aux stratégies passives et d'informer, par conséquent, le concepteur sur les choix les plus performants. Le premier point s'accorde avec une étude antérieure de Hien, Poh et Feriadi (2003) qui conclut que l'utilisation des outils dès les premières phases de la conception permet aux architectes de mieux comprendre les agents climatiques agissant sur les choix architecturaux, ce qui suscite l'assurance de l'efficacité des solutions choisies par la suite. Ces chercheurs affirment également que cette

approche est importante dans le cas d'une évaluation préliminaire des solutions définies pour une conception complexe.

Dans une autre réflexion Maassen, De Groot et Hoenen (2003) bâtissent leur argumentaire sur la base des critères caractérisant les décisions au début du processus. Ils notent qu'il s'agit de décisions directives, restrictives et irréversibles. Là encore, la simulation dans les premières phases de conception signifie beaucoup puisqu'elle permettra de comparer les alternatives, visualiser l'impact des choix en prévenant ainsi les actions correctives durant l'ensemble de la conception et de la construction.

Les écrits abordés prouvent clairement l'utilité du recours aux outils de simulation pendant les premières phases de la conception. La question qui se pose maintenant est: quel aspect architectural faut-il modéliser pour atteindre l'objectif de performance ?

3.2.2.1 Aspects architecturaux à considérer

Devant la multitude des choix architecturaux à évaluer, particulièrement au début du processus de conception, il est essentiel de distinguer, lesquels sont importants à considérer lors de la modélisation énergétique. Le besoin de clarifier cette lacune a été également exprimé par divers chercheurs tels que de Wilde et van der Voorden (2004); Maassen, De Groot et Hoenen (2003); Mahdavi et al. (2003). Récemment, Anderson (2014) a souligné que résoudre cette question commence par une compréhension des liens de causalité: c'est-à-dire identifier les choix qui affectent considérablement la performance du bâtiment et quels sont ceux qui en touchent moins. Ce point, a été déjà entamé dans des recherches antérieures par l'identification des aspects architecturaux clés présentés dans le Tableau 3.1.

Tableau 3.1: Paramètres architecturaux identifiés pour simulation au début du processus de conception
Adapté de (Hemsath, 2013)

		Warren et Maunsell (2002)	**Xia, Zhu et Lin (2008)**	**Bambardekar et Poerschke (2009b)**	**Attia et al. (2012a)**	**Ianni et Sanchez de Leon (2013)**
Esquisse	Orientation	✓	✓	✓		✓
	Compacité		✓	✓	✓	✓
	Géométrie/ forme	✓	✓	✓	✓	
	Rapport fenêtre / mur opaque				✓	✓
Dossier préliminaire	Enveloppe	✓		✓	✓	✓
	Aménagement intérieur	✓	✓	✓		✓
	Ombrage			✓	✓	
	Ventilation naturelle	✓	✓	✓	✓	✓
	Inertie thermique			✓	✓	✓
	Façades					✓
	Éclairage naturel	✓		✓	✓	✓
	Infiltration				✓	
	Énergie renouvelable	✓		✓	✓	

Le Tableau 3.1 démontre qu'un large éventail d'options de simulation se concentre principalement en phase d'esquisse et à l'étape du dossier préliminaire. L'orientation du bâtiment, sa volumétrie et le ratio des ouvertures sont les décisions qui ont le plus grand impact sur la performance énergétique de l'édifice. Autrement, exploiter l'énergie gratuite du site repose fondamentalement sur ces premières décisions conceptuelles. L'enveloppe, l'éclairage naturel, les dispositifs d'ombrage et la ventilation naturelle seront, ensuite, considérés dans le processus de simulation. Toutefois, il faut toujours admettre que ces stratégies sont interdépendantes. Comprendre et capitaliser sur ces interrelations, prend généralement de nombreuses itérations facilitées par un choix judicieux de l'outil de simulation.

3.2.2.2 Critères de choix des outils de simulation

Vu le nombre croissant d'outils de simulation, les utilisateurs (architectes, ingénieurs, consultants, etc.) se trouvent face à un éventail de choix, causant, de suite, de la perplexité pour choisir l'outil le mieux approprié à leurs besoins. En réponse à cette question, des chercheurs (Attia et al. (2012a); Crawley et al. (2008); Hien, Poh et Feriadi (2003)) relèvent cinq facteurs majeurs permettant de resserrer cette problématique et facilitant, en quelque sorte, le processus de sélection de l'outil le plus approprié aux besoins de l'utilisateur (Figure 3.3).

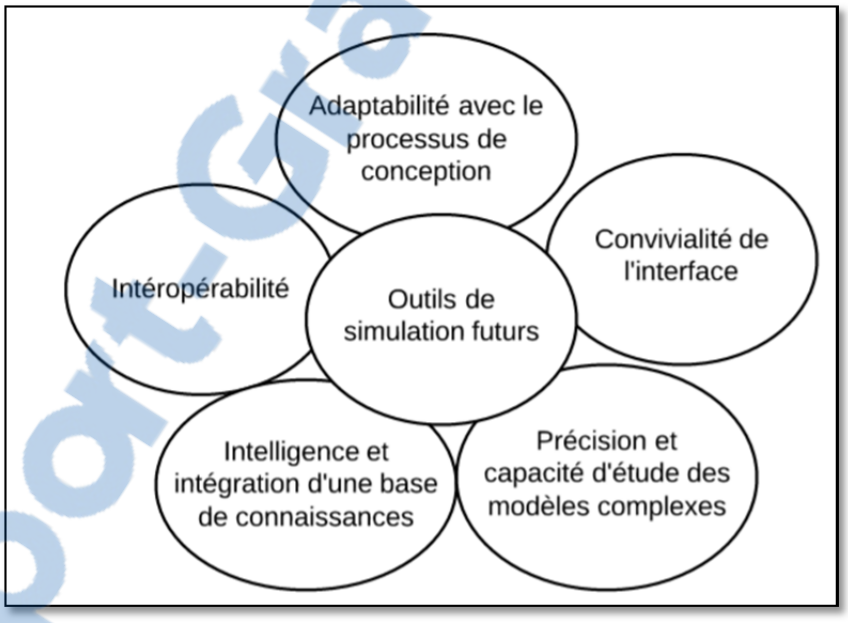

Figure 3.3 : Critères de sélection des outils de simulation
Adaptée de (Attia et al., 2012b)

- Outil interopérable avec d'autres logiciels: Ce concept se définit par la capacité d'échanger des données entre les logiciels, facilitant ainsi la coordination des professionnels. Yeomans, Bouchlaghem et El-Hamalawi (2006) affirment qu'une faible interopérabilité constitue un obstacle pour l'utilisation des outils de simulation. Un constat que Crawley et al. (2008) confirment, vu qu'aucun logiciel n'est capable présentement de centraliser tous les aspects considérés dans les différentes phases de

Rapport-Gratuit.com

conception. Ce qui justifie ainsi le besoin d'interopérabilité en vue de garantir une réponse via une communication efficace entre les outils.

- Logiciel adaptatif: Les chercheurs De Wilde et Prickett (2009) proposent que les logiciels soient personnalisés selon les utilisateurs ainsi qu'avec le stade d'avancement du projet. Ce critère est aussi considéré par Attia et al. (2012b) car il permet de répondre aux besoins multidisciplinaires des différentes étapes du processus.

- Interface conviviale et intuitive : Il s'agit de deux caractéristiques fondamentales souvent mentionnées dans la littérature. La première correspond à la façon dont l'outil expose l'information, y compris la représentation des données et des résultats. Concernant la deuxième caractéristique, elle se définit, entre autres, par la faculté d'établir des hypothèses, saisir des valeurs par défaut dans un motif de faciliter l'entrée des données (Attia et al., 2012b). Plusieurs études soulèvent l'importance d'une interface conviviale et intuitive (Hien, Poh et Feriadi, 2003; Maassen, De Groot et Hoenen, 2003; Mahdavi et al., 2003). Sinon, la simulation sera un exercice confié seulement aux spécialistes (Maassen, De Groot et Hoenen, 2003).

- Outil intelligent intégrant une base de connaissances : Selon Attia et al. (2012a), cette base de connaissances peut être sous la forme d'une bibliothèque de matériaux de construction, de systèmes CVCA prescrits dans les codes et normes de construction, d'études de cas, etc. Cette caractéristique soutient le processus de décision. Une autre ramification dans ce critère est l'intelligence de l'outil. Un tel logiciel permet d'effectuer une analyse paramétrique, de comparer la performance des différentes options, d'évaluer des modèles architecturaux complexes et de comparer entre les différentes alternatives, etc. Assez de fonctionnalités pour que les différents professionnels s'en servent pour les prises de décisions lors du processus de conception.

- Outil précis et capable d'étudier en détail des modèles complexes : Il s'agit d'un critère fondamental qui garantit la qualité et la pertinence des résultats de simulation. D'autre

part, l'étendue de l'outil à résoudre différents aspects du bâtiment, tels que les stratégies passives, les systèmes d'énergie renouvelable, les systèmes mécaniques, présente une caractéristique importante lors de sa sélection.

Pour que l'outil soit adapté aux étapes initiales de la conception, la littérature resserre cette liste et précise qu'une interface intuitive et conviviale est le critère primordial et le mieux adapté aux architectes (Attia et al., 2009; Bambardekar et Poerschke, 2009b; Hemsath, 2013). L'intelligence de l'outil est une condition qui s'ajoute, pour que l'architecte puisse être en mesure de s'informer sur la meilleure alternative optimisant son bâtiment (Attia et al., 2009; Attia et al., 2012b). De plus, les recherches suggèrent qu'une interface simplifiée est préférable pour les simulations au début du processus (Hien, Poh et Feriadi, 2003; Hopfe et al., 2005; Lam, Chun Huang et Zhai, 2004): à ce stade, les données sont limitées, il est alors utile de combler les lacunes par des hypothèses et des valeurs par défaut.

Finalement, afin d'être adapté aux méthodes de travail des architectes, l'outil de simulation doit soutenir un flux d'information itératif : dans ce cas, le critère interopérabilité doit être pris en compte (Bambardekar et Poerschke, 2009b; Ianni et Sanchez de Leon, 2013; Morbitzer et al., 2001).

3.2.2.3 Les outils de simulation

Un des meilleurs répertoires des outils de simulation, actuellement disponibles, est celui fourni par le département d'énergie de l'État Américain. Cet annuaire répertorie aujourd'hui plus de 406 outils. Une discussion sur tous ces outils n'est pas pertinente puisque ce sont seulement ceux dans les premières phases de conception qui font l'objet de cette recherche. Suivant cette logique, et selon des études antérieures traitant ce sujet (Attia et al., 2009; Augenbroe, 2002; Bambardekar et Poerschke, 2009b; Hemsath, 2013; Ianni et Sanchez de Leon, 2013), le Tableau 3.2 présente un aperçu de quelques logiciels conviviaux, destinés à l'architecte. Une présentation plus détaillée de ces outils est fournie (*Voir* ANNEXE II, p. 85).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 3.2: Aperçu des outils d'analyse disponibles pour le passif
Adapté de (Attia, 2011)

Outils / Caractéristiques	eQuest	Vasari	OpenStudio	Ecotect	DesignBuilder	COMFEN /RESFEN
Apports solaires passives				X		X
Géométrie/ compacité		X	X			X
Éclairage naturel	X			X	X	X
Ventilation naturelle					X	
Rapport fenêtre/ mur opaque	X				X	X
Dispositifs d'ombrage	X		X	X	X	X
Consommation d'énergie	X	X	X	X	X	X
Enveloppe	X	X	X	X	X	X
Performance du vitrage	X	X		X	X	X

3.2.3 Pratique de la simulation dans le processus de conception

Il est largement admis que les impacts sur la performance (potentiel d'optimisation, économie d'énergie) sont beaucoup plus importants au début du processus de conception. Ainsi, une compréhension précoce du comportement énergétique de la future construction est une méthode plus efficace que de s'attaquer aux problèmes dans les phases ultérieures. Toutefois, le recours à la simulation énergétique selon les pratiques actuelles de conception demeure limité. D'ailleurs, cet exercice est souvent à la discrétion des consultants ou ingénieurs pour des fins de validation de la conformité du modèle proposé avec les certifications ou pour le calcul des charges de chauffage et de refroidissement en vue de

dimensionner les systèmes CVCA. De ce fait, elle est généralement restreinte aux dernières étapes de ce processus, tel qu'indiqué dans la Figure 3.4.

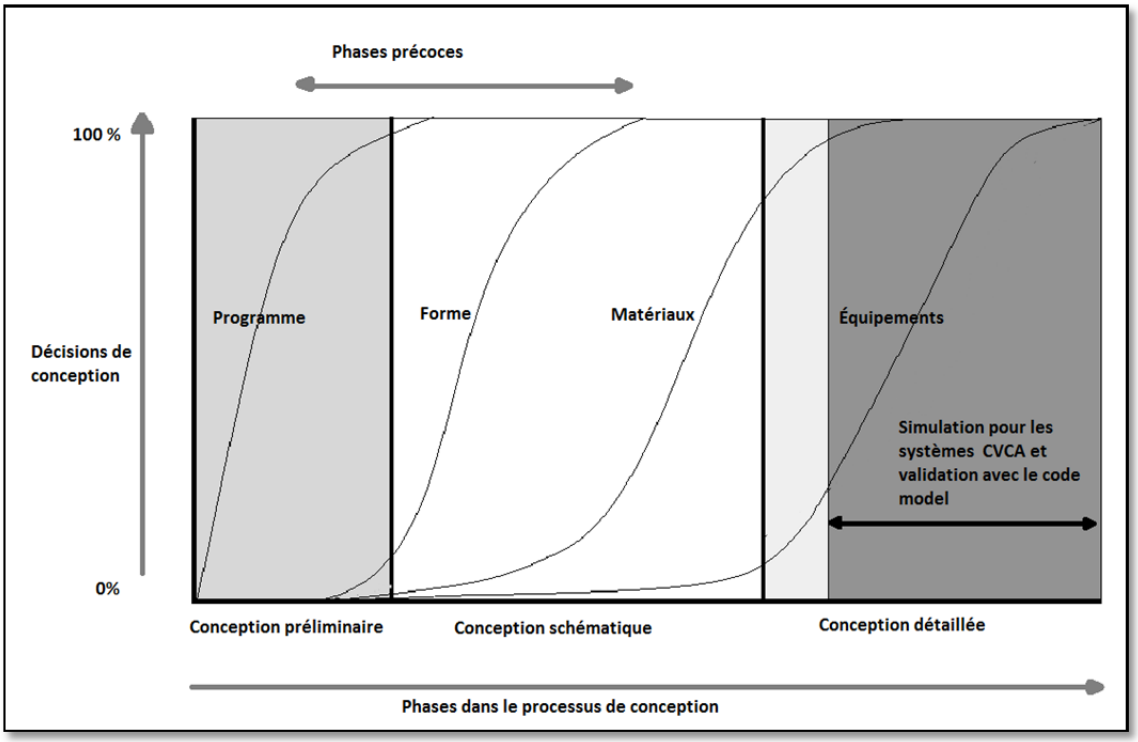

Figure 3.4: Pratique actuelle de la simulation dans le processus de conception
Tirée de (Hensen et Lamberts, 2012)

Dans la littérature, nombreuses sont les études qui évoquent cette limitation. Par exemple, Lam, Wong et Henry (1999) ont montré, selon une enquête auprès des professionnels de construction à Singapour, que les architectes ne considèrent pas la simulation comme une partie de leurs taches de concepteurs. D'ailleurs, Mahdavi et al. (2003) affirment que le seul motif pour utiliser ces outils est la recherche de conformité avec les exigences réglementaires. En parallèle, de Wilde et van der Voorden (2004) notent dans leurs observations que la majorité des architectes participant à leur recherche n'utilisent pas d'outils spécifiques pour consolider les décisions concernant l'intégration des aspects liés à l'efficacité énergétique lors de la conception. Parmi les raisons invoquées dans son étude, une attitude sceptique des architectes envers l'utilité des outils en général, associé à des lacunes attribuées à l'outil lui-même (coût, l'échange des données avec l'outil de conception

CAD, etc.). Ce point rejoint une recherche postérieure de Schlueter et Thesseling (2009) qui notent que les outils de simulation existants ne soutiennent pas le processus de conception, ce qui est d'ailleurs confirmé par d'autres auteurs (Attia et al., 2009; Weytjens et al., 2010). Les outils proposés sont plutôt spécialisés et exigent des connaissances approfondies des phénomènes physiques, etc. Outre cela, ces outils ont des interfaces complexes et peu conviviales par rapport à la formation de l'architecte (Attia et al., 2009). De plus, parmi les 406 outils déjà exposés sur le site DOE, trouver l'outil le plus pertinent constitue d'ailleurs une barrière pour le concepteur (Attia et al., 2009; Bambardekar et Poerschke, 2009b) (Voir Figure 3.5). Ceci pourrait expliquer, en quelque sorte, la cause pour laquelle les architectes se référent plutôt aux règles du pouce et aux expériences antérieures pour les décisions de conception.

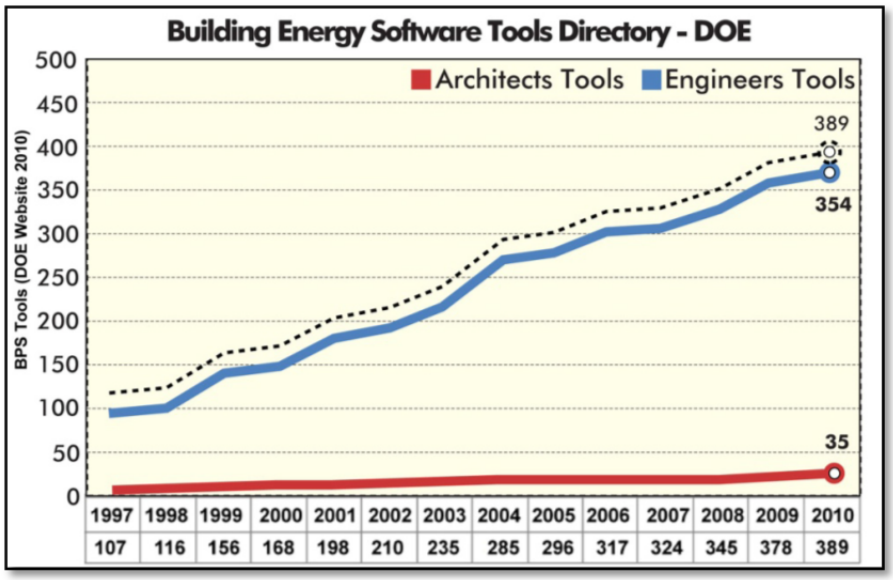

Figure 3.5 : Outils de simulation développés pour architectes
et ingénieurs entre 1997 et 2010
Tirée de (Attia et al., 2009)

3.3 Discussion

Comme élaboré dans le deuxième chapitre, la performance du bâtiment est une question qui se résout en optant pour des approches passives. Ce concept peut être intégré dans les méthodes de l'architecte dès les premières esquisses. À ce stade, l'utilisation des outils de simulation est opportune: chaque projet étant un prototype, la simulation permet de déterminer les meilleures solutions. Toutefois, les études recensées soulèvent que le recours à ces outils est limité. La pratique architecturale se confie plutôt aux intuitions et aux projets antécédents pour appuyer les décisions conceptuelles (De Wilde, Augenbroe et Van Der Voorden, 1999). Parmi les barrières qui ont été soulignées, un manque de savoir-faire accentué par des outils peu adaptés au processus architectural. À part la maîtrise de l'outil qui est déjà une barrière pour l'architecte, choisir l'outil le plus approprié devant la panoplie des logiciels développés est une difficulté qui s'ajoute.

CHAPITRE 4

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

La recherche s'inscrit dans le cadre d'un projet, touchant le contexte Québécois, en partenariat avec le Bureau de l'Efficacité et de l'Innovation Énergétique. Ce projet vise l'introduction d'un guide pratique pour l'utilisation optimale de la simulation énergétique dans les phases initiales du processus de conception.

4.1 Conception de la recherche

Dans la littérature, la plupart des efforts pour intégrer la simulation sont centrés dans la recherche des solutions pour adapter les outils de simulation au processus architectural. Néanmoins, peu des travaux sont investis pour définir les méthodes et proposer des pratiques d'optimisation facilitant ainsi cette intégration.

Pour ce faire, le plan d'étude commence par une analyse des méthodes préconisées dans les firmes pour la recherche des solutions d'économie d'énergie. Cette étude concerne plutôt les stratégies passives conçues lors du processus de conception.

Après avoir identifié les stratégies à considérer, les paramètres clés de performance à viser dans la simulation énergétique sont répertoriés. Les outils pertinents seront également représentés. La présente recherche s'attarde aux premières phases du processus puisqu'elles offrent le plus grand potentiel pour profiter des énergies gratuites du site (voir Figure 4.1). Ainsi, les outils choisis doivent être également appropriés pour ces premières phases. Au final, « la pertinence » et « la convivialité» seront les critères de choix pour les outils de simulation.

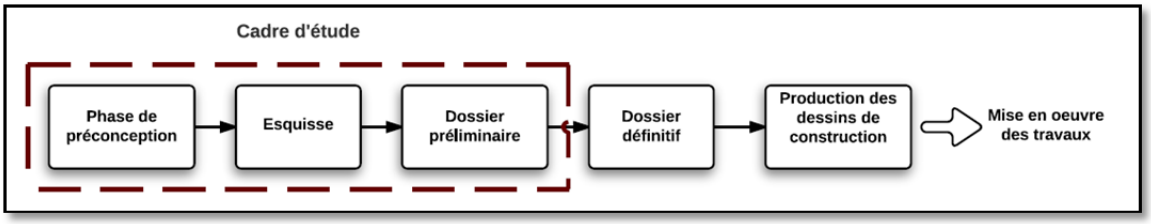

Figure 4.1 : Analyse du processus de conception

De cette approche, l'objectif premier est d'éclaircir les méthodes de simulation pour l'architecte. Les questions soulevées, de cette dernière, vont stipuler ensuite des pratiques d'optimisation favorisant l'intégration de la simulation énergétique dans le mode traditionnel de conception.

La structure méthodologique suit, donc quatre étapes: (1) Analyse des pratiques des firmes ; (2) Analyse des données ;(3) Cartographie du processus de conception ; (4) Formalisation d'un cadre plus optimisé pour faciliter l'intégration des outils de simulation lors de la conception.

4.2 Analyse des pratiques des firmes

Dans cette section, le cadre d'étude et l'approche entamée pour la collecte des données sont présentés.

4.2.1 Échantillonnage

L'enquête vise à rejoindre des professionnels engagés dans la conception des bâtiments. Les firmes répertoriées pour cette recherche sont trois firmes d'architecture et une firme d'ingénierie. Le choix des trois premières est basé sur les critères de sélection suivants :

- Elles intègrent des outils de simulation dans le processus de conception.
- Elles sont reconnues dans l'industrie par leurs pratiques au niveau de la conception durable.

- Elles ont de l'intérêt pour participer dans les projets de recherche.

L'intérêt porté à la firme d'ingénierie était dans un but de vérifier le degré d'implication des ingénieurs en amont du projet et voir leurs perspectives concernant les pratiques d'optimisation.

Une fois que la sélection préliminaire des firmes est réalisée, ces dernières désignent ensuite les professionnels œuvrant dans les domaines correspondant aux thèmes du questionnaire (Voir Tableau 4.1).

Tableau 4.1: Caractéristiques des firmes interviewées

	Firme 1	**Firme 2**	**Firme 3**	**Firme 4**
Firme	Architecture	Architecture	Ingénierie	Architecture
Disciplines internes	Architectes + Ingénieurs	Architectes + Ingénieurs	Ingénieurs	Architectes
Localisation	Montréal	Montréal	Montréal	Québec
Type d'implication	Entrevues	Entrevues	Entrevues	Entrevues

4.2.2 Questionnaire

L'enquête a été conduite sous forme d'entrevues semi-dirigées d'une durée de 45 minutes à une heure dans les locaux des firmes sélectionnées. Les entrevues se sont déroulées entre les mois de Septembre et Octobre 2014. Elles ont été enregistrées dans un motif de faciliter la retranscription et l'analyse des données fournies.

Le questionnaire compte huit questions ouvertes, structurées en trois thématiques : l'approche de conception, la pratique de la simulation dans le processus de conception et les

Rapport-Gratuit.com

outils utilisés par la firme pour chaque stratégie identifiée. La version complète du questionnaire est présentée en annexe. (*Voir* ANNEXE I p. 83)

4.3 Analyse des données

Les données recueillies des entrevues seront analysées selon deux sections : Soit l'approche de conception architecturale, soit les outils tel que décrits dans le Tableau 4.2.

Tableau 4.2: Cadre d'analyse

Thèmes d'analyse	Sous objectifs
Approche de conception architecturale	▪ Évaluer l'approche de l'architecte pour atteindre la performance : quels aspects architecturaux abordés et pour quelle phase du processus de conception ▪ Identifier les paramètres de performance clé à considérer dans la simulation énergétique ▪ Analyser les barrières pour lesquels la simulation est encore limitée dans le cadre de conception traditionnelle ▪ Proposer des approches d'optimisation afin de favoriser l'intégration des outils de simulation au début de la conception
Outils	▪ Évaluer les outils utilisés dans les firmes interviewées ▪ Rechercher dans la littérature des solutions logicielles qui peuvent être adaptées pour l'analyse du passif au début du processus et les comparer avec les outils utilisés par les firmes ▪ Cartographier ces outils selon leur convenance avec les phases de conception considérées

4.4 Cartographie du processus

Les stratégies passives identifiées dans la littérature et des pratiques des firmes interviewées sont cartographiées dans un processus de conception. Ce dernier présente le flot de travail pour les trois premières phases : soit la préconception, l'esquisse et le dossier préliminaire. La répartition des phases de la conception est basée sur les codes de pratique utilisés au Québec.

Les processus cartographiés dans cette étude présentent deux niveaux de maturité. Le premier niveau correspond au flux de travail selon les pratiques courantes de conception dans les firmes au Québec. Le deuxième niveau présente des pratiques de conception plus optimisées, mais qui s'inscrivent également dans le mode traditionnel. Pour ce cadre, trois processus sont détaillés pour chacune des phases considérées.

4.5 Formalisation du cadre

Les questions soulevées dans l'approche théorique de simulation vont aider à détecter les faiblesses au niveau des pratiques actuelles de conception. Des propositions d'optimisation du flot de travail pour ce mode traditionnel seront détaillées dans le cadre optimisé.

4.6 Validation des résultats

À cette étape, les professionnels interviewés dans le cadre de cette recherche sont invités à vérifier les erreurs ou omissions qui pourraient être présentes dans les schémas de processus. Parallèlement, les pratiques d'optimisation suggérées sont discutées.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CHAPITRE 5

RÉSULTATS

L'information recueillie de chaque firme est organisée sous forme de tableaux répartis sous trois thèmes : 1) les outils de simulation couramment utilisés dans les firmes (2) les niveaux d'intervention de la simulation dans le processus de conception (3) les lacunes qui peuvent empêcher l'adoption de cette pratique dans le processus de conception.

5.1 Les résultats des entrevues

Pour le premier point, les participants à cette étude étaient invités à présenter les logiciels de simulation qu'ils utilisaient dans leur pratique courante et les critères de choix pour ces derniers. Les réponses se résument en dix outils: Ecotect, EE4, eQuest, DesignBuilder, OpenStudio, Radiance, RETScreen et Vasari tel qu'illustré dans le Tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Outils utilisés par les firmes interviewées et les caractéristiques justifiant le choix pour ces logiciels

Principaux outils utilisés				
	Firme 1	**Firme 2**	**Firme 3**	**Firme 4**
eQuest	✓	✓	✓	✓
EE4	✓	✓	✓	
Ecotect	✓	✓		✓
Vasari	✓			
Radiance				✓
Open Studio				✓
RET Screen	✓	✓		✓
Design Builder				✓
Critères de sélection				
	Firme 1	**Firme 2**	**Firme 3**	**Firme 4**
Fin de certification	✓	✓	✓	
Prix	✓	✓	✓	✓
Précision et niveau de détail requis			✓	
Interopérabilité (AutoCAD, autres)	✓	✓	✓	✓
Simplicité d'exécution	✓	✓		✓
Interface graphique	✓	✓		✓

Légende :
Firmes **1,4**: Firmes d'architecture Firme **2**: Firme d'architecture + ingénieurs à l'interne Firme **3**: Firme d'ingénierie

L'analyse des résultats concernant ce point indique que pour les firmes d'architecture Ecotect est l'outil commun. Son interface graphique 3D, sa capacité d'évaluation couvrant presque tous les aspects architecturaux et son interopérabilité avec les outils de dessin de l'architecte justifient son étendue dans ces firmes. Pour la gestion d'énergies propres, RETScreen est l'outil le plus utilisé. Sa simplicité est un critère justifiant son emploi. Généralement, le manque d'expertise des architectes au niveau des outils de simulation énergétique justifient la raison pour laquelle ils préfèrent choisir des logiciels simples à exécuter, ayant une interface conviviale et interopérable avec les outils de dessin actuels.

Pour la firme d'ingénieur, le degré de précision de l'outil et le fait qu'il soit approuvé par les codes et normes de construction sont les critères de choix de base. D'ailleurs, eQuest et EE4 sont utilisés pour un motif de certification environnementale (LEED) et de conformité avec les codes (CMNEB, CNÉB) et la norme ASHRAE 90.1. Finalement, le coût de l'outil et son approbation pour les normes sont les critères qui rassemblent ces deux disciplines.

Le deuxième point vise à récapituler les niveaux d'intervention de la simulation lors de la conception. Les résultats sont illustrés dans le Tableau 5.2.

Tableau 5.2 : Principales fonctionnalités des outils de simulation utilisés par les firmes interviewées

Fonctionnalités	Outils	Firme 1	Firme 2	Firme 3	Firme 4
Énergie renouvelable	RETScreen	✓	✓		✓
Étude d'éclairage (naturel- électrique)	Ecotect	✓	✓		✓
	Radiance			✓	✓
Conception d'Enveloppe	EE4	✓	✓		
	eQuest		✓		✓
Étude de la ventilation naturelle	DesignBuilder				✓
Calcul de la consommation d'énergie	EE4		✓	✓	
	eQuest	✓	✓	✓	✓
	OpenStudio				✓
Choix et conception des systèmes CVCA	EE4		✓		
	eQuest		✓	✓	
Validation de conformité avec les normes / Codes	EE4		✓	✓	
	eQuest		✓	✓	

Légende :
Firmes **1,4**: Firmes d'architecture Firme **2**: Firme d'architecture + ingénieurs à l'interne Firme **3**: Firme d'ingénierie

Dans les firmes d'architecture rencontrées, la simulation est centrée à l'étude du passif. Elle s'effectue souvent à l'étape du dossier préliminaire et se raffine à l'étape ultérieure (dossier définitif). Les outils de simulation, dans ce cas, sont employés principalement pour la conception de l'enveloppe et l'éclairage naturel. La ventilation naturelle est une stratégie rarement abordée dans les firmes au Québec.

Au niveau de l'éclairage, il s'agit d'évaluer le degré d'éclairement des espaces et de moduler l'éclairage électrique par rapport aux attributs de l'éclairage naturel: Ecotect est l'outil commun pour l'évaluation de cet aspect ou Radiance dans le cas de la firme 4. Pour l'enveloppe, la simulation se focalise sur le choix des matériaux et du vitrage approprié et utilisent souvent EE4 et eQuest. Les stratégies mécaniques se raffinent exclusivement dans les firmes d'ingénierie une fois le concept final établi. Outre cela, les ingénieurs calculent la consommation globale en énergie et vérifient, également, la conformité aux codes.

Le troisième point s'attaque aux contraintes limitant le recours aux outils de simulation pendant la conception. Le Tableau 5.3 résume ces barrières selon le point de vue des interviewés.

Tableau 5.3: Lacunes d'intégration de la simulation dans le processus de prise de décision

	Firme 1	**Firme 2**	**Firme 3**	**Firme 4**
Type de mandat	✓	✓		✓
Client	✓	✓		✓
Budget initial	✓	✓		✓
temps de manipulation	✓		✓	✓
Manque d'expertise	✓	✓		✓
Contrainte d'interopérabilité		✓	✓	

Légende :
Firmes **1,4**: Firmes d'architecture Firme **2**: Firme d'architecture + ingénieurs à l'interne Firme **3**: Firme d'ingénierie

Les professionnels estiment que l'intégration de la simulation est liée à la demande du client. Si ce dernier n'est pas ouvert à déroger de la planification d'avant-projet, la simulation sera ainsi considérée comme un effort supplémentaire peu reconnu et apprécié. Un court échéancier et un budget de construction serré aggravent encore la situation.

L'octroi de mandats au plus bas soumissionnaire incite à faire du copier-coller, pour maintenir les coûts de production des livrables au plus bas, ne favorise pas les efforts d'optimisation et constitue d'ailleurs une autre barrière. À ceci s'ajoutent le manque d'expertise et la motivation des architectes qui sont, certes, les ingrédients les plus propices à l'intégration de cette pratique.

L'interopérabilité entre les outils de dessin et les outils de simulation énergétique est une contrainte, aussi mentionnée vu que les professionnels sont obligés d'entrer à nouveau une bonne partie des données et d'établir des approximations pour finalement pouvoir réaliser la simulation.

5.2 Problématiques observées

Dans les firmes d'architecture, les décisions de conception ont été majoritairement prises de façon empirique ou guidées par l'expérience de l'équipe suite à des précédents architecturaux. De ce fait, la simulation, pour les architectes rencontrés, est un outil pour chiffrer et valider les intuitions plutôt que pour leur guider vers d'autres options plus optimales.

Il est également ressorti des entrevues que le recours à ces outils se concentre principalement dans la conception de l'éclairage naturel et la définition des dispositifs d'ombrage puisqu'ils sont plus faciles à comprendre et à contrôler. Les assemblages de l'enveloppe sont conçus selon les exigences minimales imposées par les codes. D'ailleurs, la performance de cette stratégie requiert une bonne compréhension des notions de transfert thermique et leur introduction correctement dans les outils de simulation. Des concepts que l'architecte ne maîtrise pas. Ainsi, il demande à l'ingénieur de s'assurer de concevoir des systèmes qui atteignent les objectifs de qualité de l'environnement intérieur. Par contre, en se référant au guide ASHRAE Green Guide : The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings, il est important de préciser qu'optimiser seulement l'éclairage et les systèmes

mécaniques ne permet pas des économies d'énergie considérables pour le bâtiment (ASHRAE, 2010).

La motivation des architectes et le temps à considérer pour la simulation sont les principales limitations qui entravent l'intégration de ces outils dans la pratique architecturale. La contrainte du temps est à l'origine d'un manque d'expertise de l'architecte pour ce domaine. Ceci inclut la méconnaissance des outils de simulation associée à l'absence des acquis pour mener de façon adéquate des scénarios de simulation.

5.3 Cartographie du processus

Le processus illustré dans la Figure 5.1 présente la pratique d'optimisation énergétique dans le mode traditionnel, soit le premier niveau de maturité présenté dans ce travail. Celui-ci correspond à la démarche selon la littérature (Figoli, 1988; Figoli et Blachére, 2013; Institut Royal d'Architecture du Canada, 2009) ; et les pratiques actuelles déduites des études de cas. Selon le code de pratique de l'architecte, ce processus est divisé en quatre grandes étapes: l'étude de préconception, l'esquisse, la phase de développement du concept ou dossier préliminaire et le dossier définitif. La cartographie est présentée pour les premières étapes du processus (étape 1, 2, et 3) vu qu'elles offrent le meilleur potentiel pour profiter des énergies passives du site.

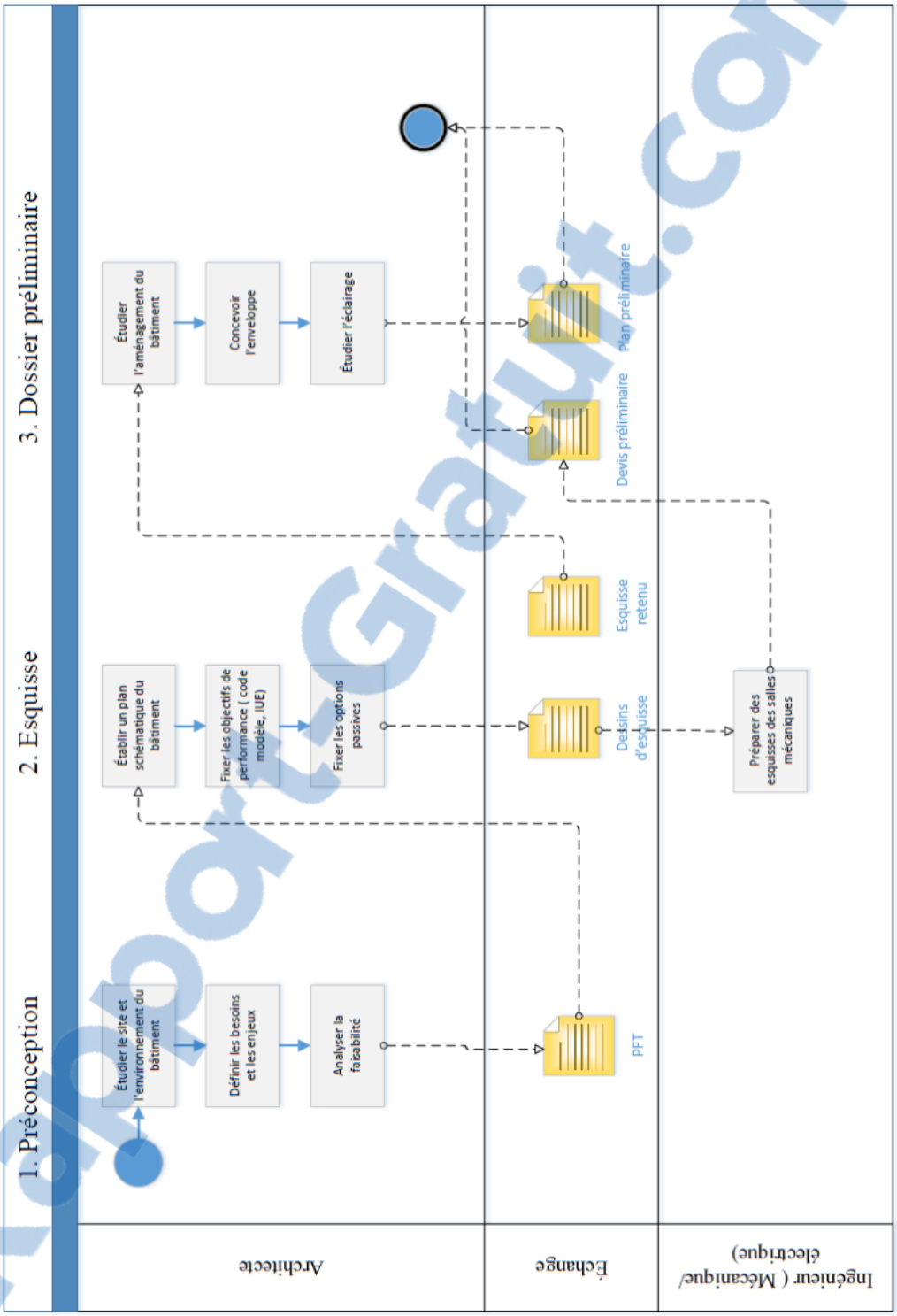

Figure 5.1: Flux d'analyse dans le processus de conception

Rapport-Gratuit.com

Les scénarios de conception sont développés comme suit :

Phase de préconception

Les opportunités d'optimisation sont plus intenses à cette étape et commencent par le choix de l'option la plus économique sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. Dans ce cas, il s'agit de décider entre une rénovation, reconfiguration ou agrandissement du bâtiment, ou bien d'une nouvelle construction. Pour cette dernière, l'enjeu est de favoriser un site qui offre le meilleur potentiel pour profiter des énergies passives.

Phase d'esquisse

L'esquisse consiste à traduire le programme fonctionnel en une volumétrie et une configuration spatiale. À cette étape, le concepteur fixe les objectifs de performance, souvent en termes d'intensité d'utilisation d'énergie (IUE) ou de pourcentage par rapport au code modèle. Par la suite, il fixe des scénarios de volumétrie et d'orientation. Les dessins d'esquisse seront les livrables à la fin de cette phase et le client autorise le démarrage de la prochaine étape.

Dossier préliminaire

Cette étape est la dernière qui offre un potentiel élevé d'optimisation. Les décisions, à cette phase, concernent entre autres:

L'enveloppe, associée aux apports solaires, va déterminer les performances thermiques du bâtiment. L'architecte, dans le choix de ses matériaux, fait face à un compromis entre concevoir d'une façon éco-énergétique et améliorer à la fois les apports en lumière du jour.

L'éclairage naturel, l'objectif de cette stratégie est de capter et distribuer la lumière dans le bâtiment. Dans l'étude de cet aspect, l'architecte doit tenir en compte les gains solaires pour la question de confort thermique et l'éblouissement pour le confort visuel des occupants.
La ventilation naturelle est une stratégie optionnelle rarement entamée dans les firmes d'architecture au Québec.

Finalement, en approuvant les plans établis à cette étape, la phase de conception détaillée abordera plus les questions techniques attribuées aux équipements mécaniques, dispositifs d'éclairage artificiel et systèmes de contrôle.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CHAPITRE 6

CADRE OPTIMISÉ

Deux niveaux de maturité dans le mode de conception traditionnel ont été proposés dans ce cadre : le premier niveau (cartographie dans la section 5.3) se développe principalement par l'architecte sans aucune contribution significative des autres disciplines, en amont de la conception. Dans cette approche, les efforts d'optimisation se font principalement lors de l'élaboration du dossier définitif. Pour le deuxième niveau, celui proposé, l'objectif est d'amener plus d'effort en amont du processus et d'utiliser les outils de simulation pour appuyer les décisions au niveau des mesures passives. Cette approche se démarque par une participation plus active des autres professionnels (ingénieur mécanique et modeleur) et inclut entre autres des boucles d'itérations en vue d'optimiser les solutions. Cette réflexion est issue des questions soulevées dans l'approche théorique de la simulation et les faiblesses que démontre l'approche courante de conception cartographiée à la Figure 5.1.

6.1 Approche théorique

Le manque d'expertise en simulation de l'architecte est une lacune issue de la rareté des méthodes et procédures l'assistant à transcrire efficacement ces interrogations conceptuelles dans le modèle énergétique.

Éclaircir l'approche de simulation s'avère donc une étape primordiale pour résoudre cette question. Pour ce faire, les paramètres clés de performance à considérer au niveau de la simulation énergétique sont répertoriés. Ces derniers sont identifiés à partir des concepts architecturaux cartographiés à la Figure 5.1. Cette approche concerne donc l'analyse du site, les options passives (forme et orientation) et les stratégies d'enveloppe et d'éclairage naturel. Pour chacun de ces aspects, les méthodes d'analyse et les outils pertinents. Cette approche théorique se résume dans le

Tableau 6.**1** présentant les meilleures pratiques issues de la littérature, et est détaillée dans les sections 6.1.1 à 6.1.4

Tableau 6.1 : Cadre d'analyse pour la simulation énergétique selon la littérature
Adapté de (Bambardekar et Poerschke, 2009b)

	Divers					**Énergie**				**Thermique**				**Éclairage**			
Aspects à étudier	Effet de masque des bâtiments périphériques	Diagramme psychométrique	Position du soleil	Régime du vent	Radiation solaire directe et indirecte	Économies en chauffage	Économies en refroidissement	Économies en éclairage artificiel	Consommation énergétique globale	Conductivité thermique	Déphasage de la chaleur	Charges thermiques	Gains thermiques par lumière du jour	Analyse d'éblouissement	Facteur de lumière du jour/Autonomie en éclairage	Estimation d'éclairement	**Paramètres architecturaux**
Analyse du site	√	√	√	√	√												
Forme	√		√	√		√	√	√	√								Volumétrie, Géométrie
orientation	√	√	√	√		√	√	√	√								Orientation optimale
Enveloppe						√	√		√	√	√	√	√				Conductivité thermique, Épaisseur, Capacité d'accumula--tion thermique Fenestration (WWR, U, FS, TL)
Éclairage naturel	√		√			√	√	√	√				√	√	√	√	WWR, DF optimum Contrôle de l'éblouisse--ment

6.1.1 Préconception – analyse du site

L'analyse du site, particulièrement de ses conditions climatiques permet à l'architecte de moduler son concept en fonction de son environnement. Autrement, cette étude vise à estimer le potentiel du site en énergie gratuite et évaluer les niveaux de confort des espaces selon le diagramme psychométrique (Olgyay et Olgyay, 1963).

6.1.1.1 Les paramètres d'étude

Cette étude, tel qu'illustré dans la Figure 6.1, inclut de base une évaluation:

- De la température et de l'humidité de l'air à l'aide du diagramme psychométrique;
- Des apports solaires et du niveau de dégagement du ciel pour une estimation approximative de la lumière du jour et des apports thermiques solaires;
- Du vent (vitesse et les angles de direction) pour l'analyse de la ventilation naturelle.

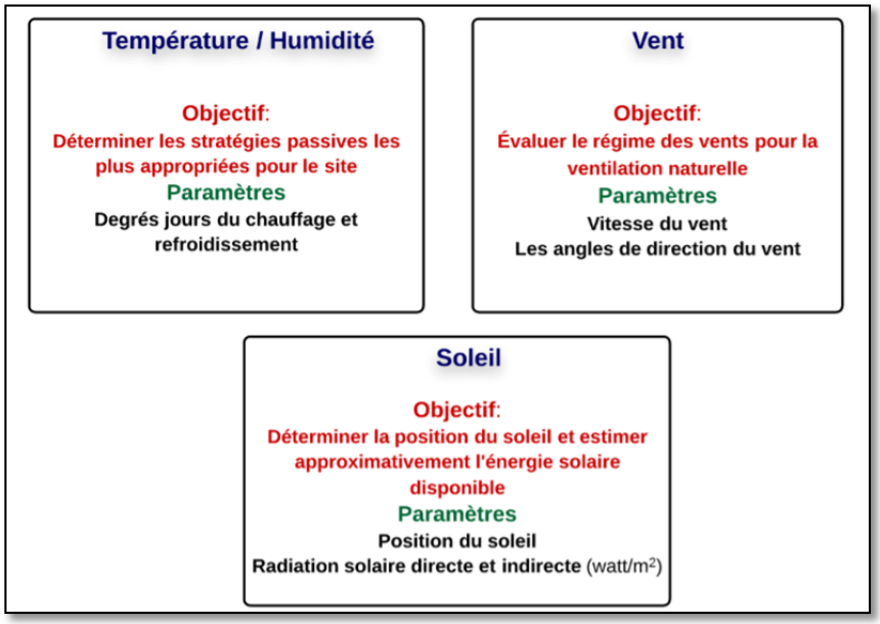

Figure 6.1: Première étape dans le processus de simulation énergétique - Analyse climatique

6.1.1.2 Les outils

Dans le choix du fichier climatique, le concepteur doit choisir celui qui a approximativement la même latitude et hauteur que le site. Également, il faut éviter les fichiers climatiques qui couvrent seulement une année (données météorologiques tests pour une année de référence), car celles-ci ne peuvent pas représenter la situation météorologique à long terme (Crawley, 1998). L'analyse climatique est réalisée par les outils présentés dans le Tableau 6.2.

Tableau 6.2: Comparaison des outils d'analyse du climat

Outils / **Fonctionnalités**	**ECOTECT**	**Vasari**	**Climate Consultant**
Graphique psychométrique	√		√
Degrés - jours de chauffage et de refroidissement	√		√
Position de soleil	√	√	√
Radiation solaire directe	√	√	√
Radiation solaire diffuse	√		√
Couverture nuageuse	√		√
Vent (vitesse et direction)	√	√	√
Température, humidité	√	√	√
Limitations	Fonctionnalités limitées pour l'étude des effets de ventilation naturelle	Calcul uniquement la radiation solaire directe Non adéquat pour une mesure précise des radiations solaires	N'accepte que le fichier sous format Energy Plus Weather

Ecotect peut être considéré l'outil le mieux adapté pour ce type d'analyse. Même s'il présente des limitations au niveau de l'étude de la ventilation naturelle, sa compatibilité avec d'autres logiciels d'Autodesk plus spécialisés (Vasari par exemple) lui permet de dépasser cette faiblesse. Le logiciel Climate Consultant peut contribuer aussi efficacement à cette analyse. En fait, ces deux logiciels permettent de visualiser les positions solaires pour définir les meilleures orientations et calculer les radiations solaires directes et diffuses. À partir du diagramme psychométrique déjà disponible dans ces outils, le concepteur peut déterminer

aussi les stratégies passives les plus appropriées pour chauffer et refroidir. Comparativement à Vasari, l'analyse météorologique par Ecotect et Climate Consultant est plus étendue et avancée vu que Vasari présente des limitations au niveau des analyses solaires. Par contre, il est l'outil le plus approprié pour la ventilation naturelle puisqu'il est plus spécialisé pour l'étude des flux d'air.

6.1.2 Esquisse – forme et orientation

L'étude des options du bâtiment est une étape importante dès le début du processus de conception. Les décisions architecturales à ce niveau vont influencer les charges de chauffage et de refroidissement, l'éclairage naturel et la ventilation naturelle.

6.1.2.1 Les paramètres d'étude

La forme du bâtiment, l'orientation des façades et le rapport fenêtre-mur opaque (Window to Wall Ratio (WWR)) sont les paramètres révélateurs en phase d'esquisse. Afin d'explorer le potentiel de ces derniers, une modélisation simplifiée du bâtiment (Shoebox Model) permet de comparer les différentes options (Adamski, 2007). À cette étape, il ne faut pas trop insister sur la précision des chiffres, car l'intérêt est de visualiser les variations de consommation globale d'énergie pour chaque paramètre ajusté (que ce soit la forme, surface de l'enveloppe, position et superficie des ouvertures). Après un certain nombre d'itérations, le concepteur peut décider sur le scénario le plus performant :

- Une forme du bâtiment compacte et la plus adaptée aux contraintes climatiques du site.
- Une orientation maximisant le captage solaire en hiver pour fournir de la chaleur gratuite à l'édifice et minimisant ces mêmes gains en été.

À cette phase du processus, le modèle énergétique sera bâti sur des approximations des conditions climatiques du site et un nombre limité de données telles les géométries, typologie

du bâtiment, surface totale au sol et la hauteur des étages, etc. Les systèmes CVCA et les matériaux de construction sont définis par défaut dans l'outil de simulation (*Voir* Figure 6.2).

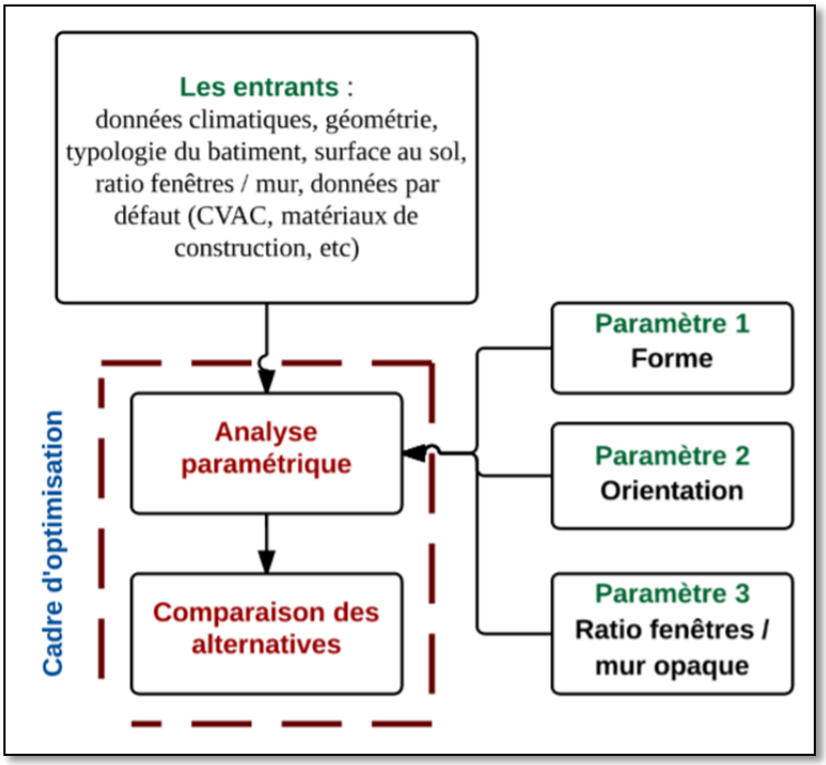

Figure 6.2 : Simulation énergétique des options
en phase d'esquisse

6.1.2.2 Les outils

Les outils présentés dans le Tableau 6.3 sont ceux couramment utilisés dans les firmes pour l'analyse des options passives. SketchUp est utilisé dans certaines firmes d'architecture pour les études d'orientation et les effets de masque. OpenStudio (Plug-in SketchUp) peut être une solution intermédiaire pour les calculs de la consommation énergétique dans ce cas : celui-ci utilise un plug-in SketchUp et s'appuie sur EnergyPlus comme moteur de calcul. Ainsi, il permet d'évaluer tous les aspects architecturaux pour cette phase. Le temps de calcul est plus long, comparativement à Ecotect et Vasari. Mais, au moins il est gratuit. Ecotect est l'outil souvent choisi dans les firmes. Il est plus pertinent que Vasari surtout au niveau des analyses solaires. D'ailleurs, il est destiné aux études d'orientation et pour la prise de décision sur le

rapport fenêtre mûre opaque, deux paramètres étroitement interdépendants. Néanmoins, il présente des limitations au niveau de l'analyse des options (volumétrie, forme) comparativement à Vasari. L'avantage du recours à ce dernier est qu'il permet des calculs immédiats à partir des données d'entrée limitées : deux critères qui sont appropriés pour des calculs approximatifs à l'esquisse.

Tableau 6.3 : Comparaison des outils de simulation des options

	OpenStudio Plug-in SketchUp	**Ecotect**	**VASARI**
Paramètres d'étude			
Compacité du bâtiment	1		√
Forme	1		√
Orientation des façades	√	√	
Ratio fenêtre / mur	√	√	√
Consommations en énergie	1	1	1
Analyse des gains solaires		√	
Logiciel gratuit	√		
Interface graphique	√	√	√
Import de la géométrie	2	√	√

Commentaires : 1: les calculs via EnergyPlus
2: plug in à partir de SketchUp

6.1.3 Dossier préliminaire – éclairage naturel

Une bonne gestion de la lumière naturelle présente l'avantage de réaliser de substantielles économies d'énergie face à la réduction du besoin en éclairage artificiel et des charges de refroidissement associés.

Cette stratégie passive exige une démarche plus sophistiquée que de simplement se procurer des fenêtres à haut niveau de transmittance lumineuse. L'intégration de cette composante est une question de réflexion sur un équilibre entre une mise à profit de la lumière du jour et un contrôle de l'éblouissement, ainsi qu'une distribution uniforme de la lumière dans les espaces

Rapport-Gratuit.com

du bâtiment. La visualisation de tous ces aspects ainsi que la compréhension de la façon dont les décisions de conception pourraient être affectées par cette stratégie demeure un besoin dont les outils de simulation d'éclairage peuvent satisfaire.

Dans la démarche de simulation, l'architecte doit viser, a priori, les mesures de performance d'éclairage les plus adéquates pour les conditions climatiques de son site. Cela signifie de décider de procéder soit par la méthode statique simplifiée, généralement, des valeurs moyennes du facteur de la lumière du jour (DF) calculé pour un seul type de ciel (ciel couvert), soit par la méthode dynamique en visualisant les variations journalières d'éclairage naturel sous ciel et soleil réels. Dans ce cas, il s'agit de mesurer l'éclairement naturel utile (UDI), l'autonomie en éclairage (DA), la disponibilité en lumière du jour (DAv) (*Voir* ANNEXE III, p.91) (Ibarra et Reinhart, 2009).

La première approche est souvent utilisée par les concepteurs en se référant aux seuils minimaux indiqués par les guides et les directives. Toutefois, cette méthode manque de précision puisqu'elle estime les niveaux d'éclairement sous un seul type de ciel, alors que le modèle de ciel varie constamment selon le climat. De ce fait, il est avantageux pour l'architecte de concevoir cette stratégie en se basant sur les méthodes dynamiques, s'il compte avoir des résultats précis pour prédire la consommation en éclairage artificiel et avoir une conception meilleure (Hensen et Lamberts, 2012).

En seconde étape, il faut choisir le type de ciel le plus compatible avec les conditions météorologiques du site. Si cette étape se voit simple, elle a en contrepartie un impact considérable sur la précision des résultats et il est important de bien la contrôler.

Selon l'indicateur de performance de la stratégie d'éclairage choisi, le type des espaces, les seuils d'éclairage ainsi que les horaires d'occupation sont également des requis pour cette étude. À la base de toutes ces données, un calcul de l'éclairage et/ou de la luminance des espaces sera réalisé. Si l'outil de simulation de l'éclairage le permet, une visualisation des consommations annuelles de l'éclairage artificiel sera également disponible. Selon les

résultats obtenus, une évaluation de chaque paramètre va permettre au concepteur d'ajuster son modèle pour garantir la performance énergétique et le confort visuel ciblés (*Voir* Figure 6.3).

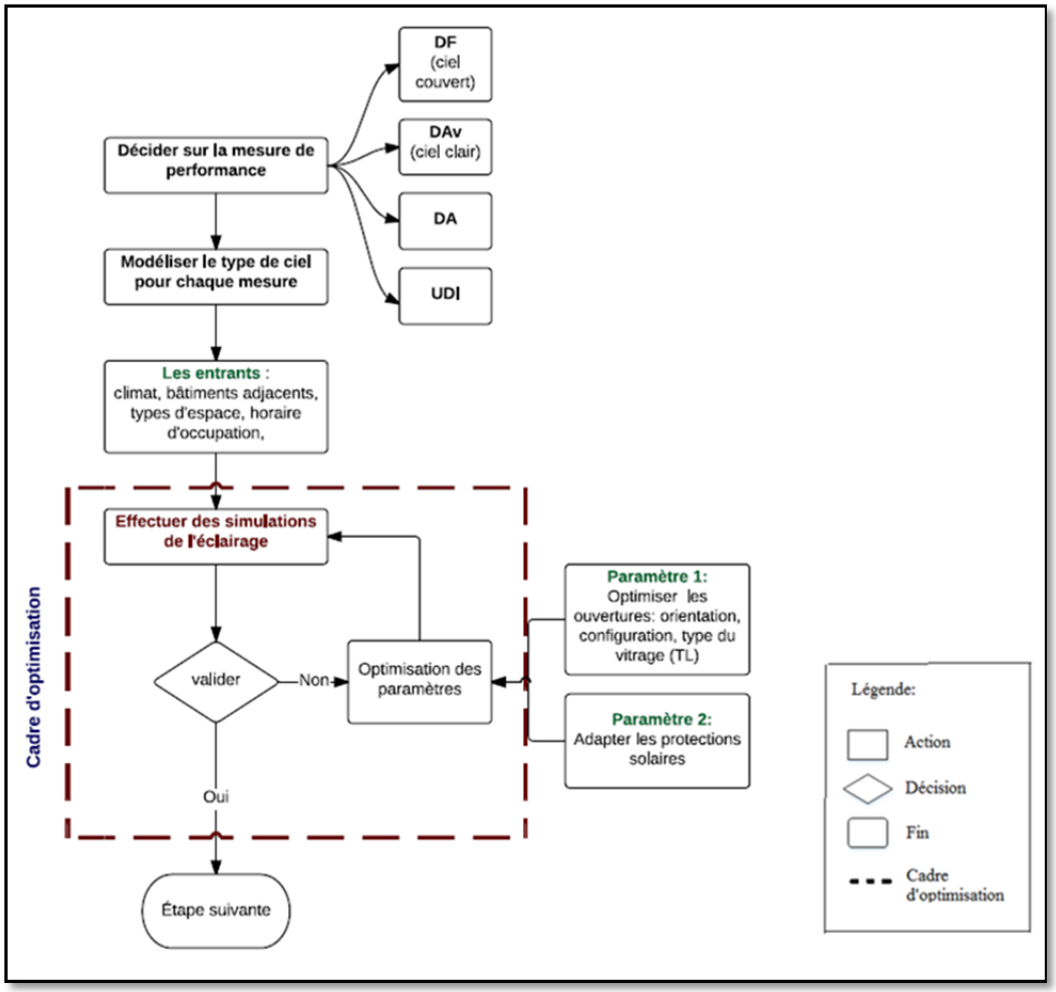

Figure 6.3: Processus de simulation de l'éclairage naturel

6.1.3.1 Paramètres d'étude

L'optimisation de la stratégie d'éclairage s'effectue selon une analyse paramétrique qui tient compte principalement des éléments suivants:

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- Les conditions climatiques du site et la position du soleil.
- Le coefficient de transmission lumineux du vitrage (TL): plus ce coefficient est élevé plus le bénéfice en terme de consommation d'énergie est important.
- L'orientation des ouvertures : il est préférable que l'orientation prédominante des façades soit le Sud vu qu'elles présentent le plus d'accès à la lumière du jour et un meilleur contrôle des apports solaires excessifs en été. Optimiser également les façades Nord qui fournissent un éclairage indirect constant.
- La configuration des façades : une répartition zénithale apporte une plus grande part de lumière naturelle diffuse à l'intérieur du bâtiment plus qu'une ouverture latérale qui peut créer des situations de contre-jour ou d'éblouissement à proximité des fenêtres.
- Les dispositifs d'ombrage.

6.1.3.2 Les outils

Dans le Tableau 6.4, les indicateurs de performance de la lumière du jour et les outils permettant le calcul de ceux-ci sont présentés. Ecotect est l'outil le plus utilisé dans les firmes interviewées. Radiance et Daysim, également disponibles au Québec, sont d'autres alternatives proposées dont le choix est basé sur les critères « pertinence » et « convivialité».

Tableau 6.4: Comparaison des outils de simulation de l'éclairage naturel

	Ecotect	**Radiance**	**Daysim**
Indicateurs de performance			
facteur de lumière du jour (DF) (%)	√	√	√
Autonomie en lumière du jour (DA) (%)	√		√
Éclairement naturel utile (UDI) (%)			√
Autres paramètres			
Éclairement (Lux)	√	√	√
Luminance (cd/m2)	√	√	√
Consommation annuelle en éclairage artificielle (kWh/m2/an)			√
Types de ciel			
Ciel couvert	√	√	√
Ciel uniforme	√	√	√
Ciel clair (sans soleil)		√	√
Ciel clair (avec soleil)		√	√
Algorithme de calcul			
Split Flux Formula	√		
Raytracing		√	√
Autres caractéristiques			
Logiciel gratuit		√	√
Interface graphique	√	1	1
Importation de la géométrie	√	1	1
Limitations	Degré de précision limité Modélisation seulement pour ciel uniforme et couvert	Calcule seulement le facteur de la lumière du jour Ne simule pas les métriques dynamiques	Temps de calcul long

Commentaires :

1 : plug Plug-in dans Ecotect

Certains outils sont capables d'évaluer plus de mesures que d'autres : Ecotect, outil de simulation de l'éclairage naturel, permet d'évaluer le facteur de la lumière du jour ainsi que le pourcentage d'autonomie en éclairage naturel. Les calculs de ces paramètres s'effectuent selon la méthode Split Flux Formula dont les résultats ne sont pas assez précis pour être utilisés dans les phases du dossier préliminaire et définitif. En plus, la modélisation s'effectue seulement sous les conditions de ciel couvert ou uniforme, ce qui constitue une autre

faiblesse pour ce logiciel. Ecotect et Radiance permettent des calculs selon la méthode statique. Par contre, le deuxième se positionne avantageusement par rapport au premier pour l'évaluation du facteur de la lumière du jour. Cet outil est d'ailleurs reconnu pour la validité et la précision de ses résultats puisqu'il utilise la méthode « Ray traycing » qui tient compte de toutes les interactions physiques avec les surfaces des objets composant la scène simulée. Par contre, Radiance ne calcule pas les mesures de performance selon la méthode dynamique. Or ces mesures sont nécessaires pour évaluer l'éclairage artificiel et fiable pour garantir l'efficacité de cette stratégie (Reinhart, Mardaljevic et Rogers, 2006). De cette façon, Daysim se voit plus complet que Radiance pour la génération de ces résultats particulièrement les facteurs DA, UDI. L'inconvénient de Daysim est qu'il nécessite beaucoup plus du temps pour les calculs et n'est pas aussi facile à utiliser. Par contre, il a été proposé, car cette problématique peut être résolue en utilisant le plug-in d'Ecotect (Panitz et Garcia-Hansen, 2013).

6.1.4 Dossier préliminaire - enveloppe

L'enveloppe, y compris les murs externes, toiture et ouvertures, représente souvent la plus grande perte d'énergie dans le bâtiment et c'est en fonction de ses caractéristiques que les besoins en chauffage et refroidissement seront plus ou moins importants.

La façon dont l'enveloppe affecte les besoins énergétiques du bâtiment est une question de jeu sur des paramètres bien définis : Le niveau d'isolation doit être garanti en tout point de l'enveloppe en évitant soigneusement les ponts thermiques (discontinuité dans la couche isolante), car elles causent d'importantes pertes thermiques. Une étanchéité suffisante pour limiter au maximum les infiltrations et les exfiltrations inopportunes. Une inertie thermique importante évite le risque de surchauffe et assure une temporisation des apports de chaleur. Le vitrage, qui fait partie des grandes sources de déperditions thermiques dans le bâtiment, va être déterminé en fonction de l'orientation et des besoins en chauffage. C'est-à-dire que la priorité lors de la sélection du vitrage sera en autre pour un motif de captage ou pour la conservation ou bien les deux simultanément.

La conception de ces paramètres tient compte du climat, la vocation du bâtiment et du comportement des occupants. Pour l'architecte, même s'il peut se référer aux exigences minimales des normes pour cibler la résistance thermique et l'étanchéité, l'effet de masse thermique est une notion qui n'est pas évidente pour lui et pas aussi facile à l'évaluer intuitivement. L'inertie thermique touche deux stratégies: réduire les fluctuations de la température intérieure et utiliser des matériaux permettant le déphasage des gains de chaleur. Contrôler ces stratégies exige une bonne compréhension des échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment (Medjelakh et Abdou, 2008).

Les outils de simulation peuvent, en quelque sorte, faciliter la tâche pour l'architecte par visualisation de l'impact de ces choix sur les besoins énergétiques du bâtiment. Par contre, l'absence de connaissances en thermodynamique et du transfert de chaleur est l'une des barrières l'empêchant de concevoir une enveloppe efficace. Ainsi, il est recommandé d'impliquer l'ingénieur. (1) étant donné qu'il dispose des outils plus complets pour évaluer avec précision tous les paramètres de performance de l'enveloppe. Par exemple, en vue de garantir une enveloppe à résistance thermique uniforme, THERM peut détecter les ponts thermiques souvent négligés par l'architecte. Par contre, la couverture de ces derniers assure une performance accrue des composantes de l'enveloppe, de suite, des choix optimaux pour les systèmes. (2) Il permet de sensibiliser l'architecte par rapport à certaines considérations et d'explorer, avec lui, des solutions synergiques pour la question d'apport thermique solaire et d'éclairage naturel.

6.1.4.1 Les paramètres d'étude

La performance énergétique de l'enveloppe est évaluée selon ces trois phénomènes: limitation des flux thermiques, contrôle des radiations solaires et limitation des fuites d'air. Les principaux paramètres contrôlant ces flux sont la résistance, l'étanchéité, la qualité de la fenestration et la masse thermique. Le Tableau 6.5 présente les stratégies associées à ces

paramètres pour améliorer sa performance et qui doivent être considérés dans les étapes de simulation énergétique.

Tableau 6.5 : Principaux paramètres améliorant la performance de l'enveloppe

Résistance thermique (murs opaques, ouvertures)	Limiter les gains ou les pertes de chaleur par conduction en fournissant une enveloppe avec un coefficient de conductivité faible. Être très attentif aux ponts thermiques.
Masse thermique	Recommander des matériaux lourds surtout pour les locaux à occupation prolongée présentant des charges internes importantes et fortement ensoleillés.
Qualité du vitrage	Évaluer le compromis au niveau du vitrage en utilisant un matériel à faible émissivité avec d'autres revêtements (réfléchissants).
Étanchéité	Limiter au maximum les infiltrations et exfiltrations pour assurer la continuité de l'étanchéité

Dans le modèle énergétique, ces paramètres sont contrôlés par des variables: La masse thermique est définie par un matériau léger, mi-lourd ou bien lourd. La résistance des murs va dépendre de l'épaisseur ainsi que du coefficient de transmission de chaleur (coefficient U). La qualité du vitrage est déterminé par le nombre de couches de vitrage, les coefficients d'émissivité, de transmission lumineuse (TL) et solaire (FS). La façon la plus efficace pour optimiser la performance de l'enveloppe est de procéder à une analyse paramétrique de tous ses composants en considérant également la géométrie et l'orientation du bâtiment, la superficie des vitrages et les dispositifs d'ombrage : Ces données sont nécessaires car le modèle va tenir compte des gains solaires et des déperditions thermiques pour prévoir la performance de l'enveloppe. Après des itérations avec l'ingénieur, le choix d'assemblage sera optimisé selon une analyse thermique du bâtiment résultant (*Voir* Figure 6.4).

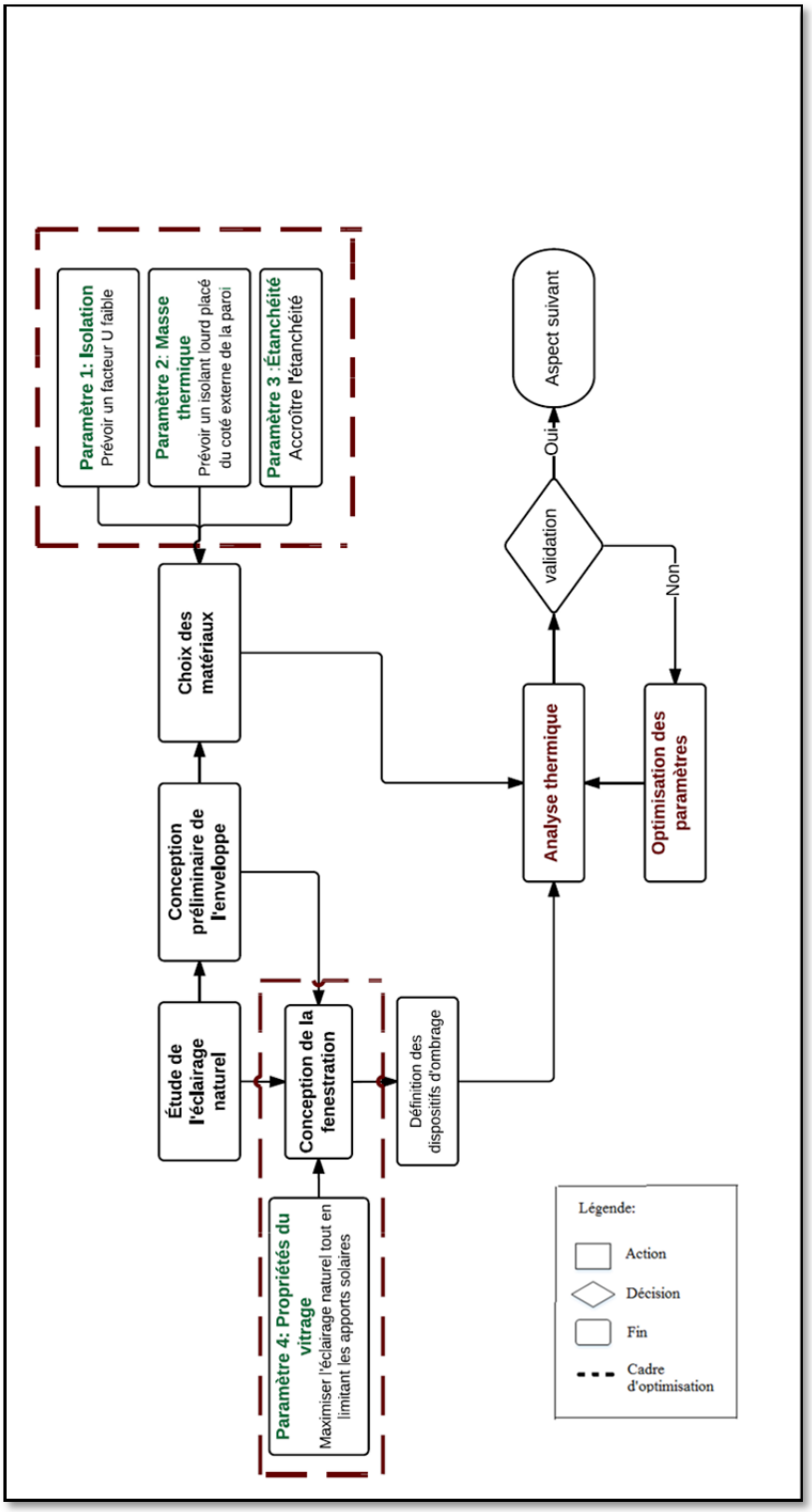

Figure 6.4 : Processus d'optimisation de l'enveloppe

6.1.4.2 Les outils

Le Tableau 6.6 présente les paramètres à considérer lors de la conception de l'enveloppe ainsi que les outils valorisants ceux-ci. eQuest et EE4 sont déjà mentionnés par les firmes interviewées, DesignBuilder, COMFEN/RESFEN, Sefaira, PHPP sont d'autres alternatives dont le choix est basé sur les critères « pertinence » et « convivialité ».

Tableau 6.6 : Comparaison des outils de simulation de l'enveloppe

	EE4	eQuest	DesignBuilder (EnergyPlus)	COMFEN /RESFEN	Sefaira	PHPP
Calculs de l'enveloppe						
Isolation des matériaux (U)	√	√	1	1	√	√
Masse thermique			1	1	√	√
Calcul des infiltrations	√	√	1	1	√	√
Étude des variations de la température intérieure			1			
Étanchéité à l'air	√	√	1	1	√	√
Performance thermique des fenêtres (U, FS)	√	√			√	√
Fenestration avancée	√	√	√	√	√	√
Indicateurs de consommation énergétique						
Calcul des charges de chauffage et de refroidissement	√	√	√	1	√	√
Demande de pointe	√	√	√	1		
Consommation finale d'énergie	√	√	√	1	√	√
Autres caractéristiques						
Logiciel gratuit	√	√		√		√
Interface graphique			√	√	√	3
Importation de la géométrie		2	√		√	3
Limitations	Le choix des matériaux est limité à ceux présents dans la bibliothè--que d'EE4	Les analyses des effets de transmis--sion de la radiation solaire directe ou diffuse sont limitées	Temps d'analyse lent pour les modèles complexes. N'est pas flexible pour apporter des modifications au modèle	Analyse et modélise une seule zone. Outil spécifique pour les 'Shoebox model'	Outil encore en dévelop -pement	Méthode de calcul statique qui ne peut pas prévoir précisém ent les risques de surchauff e

Commentaires : 1 : Des calculs à partir d'EnergyPlus
2 : importation qui n'est pas directe et complète 3 : Fichier Excel

Chaque outil présente des forces et des faiblesses : eQuest et EE4, logiciels pour valider la conformité avec les codes et normes de construction (CNEB, ASHRAE 90.1), sont utilisés par les firmes d'architecture dans la conception de l'enveloppe. eQuest présente quelques

Rapport-Gratuit.com

limitations au niveau de l'analyse des radiations solaires. Par contre, dans EE4, le choix des matériaux reste restreint à ceux présentés dans sa bibliothèque. DesignBuilder est doté d'une interface graphique conviviale et permet des simulations énergétiques en se basant sur le moteur de calcul d'EnergyPlus. Il offre accès à presque tous les paramètres nécessaires à la simulation de l'enveloppe du bâtiment : la masse thermique, les vitrages, l'isolation et l'étanchéité des parois. Mais, cet outil n'est pas si flexible pour effectuer des changements au niveau du modèle et le temps d'analyse est un peu long. COMFEN (pour les bâtiments commerciaux) et RESFEN (pour les résidences) utilisent de même EnergyPlus pour les simulations. Ils permettent, en effet, l'analyse thermique des façades solaires, et ce pour un périmètre d'une seule zone afin d'éviter la complexité dans la modélisation. Ces deux outils sont deux bonnes alternatives proposées pour la conception de l'enveloppe au début du processus de conception : ils sont gratuits et à interfaces graphiques. Également, ils permettent de développer rapidement plusieurs scénarios de façades (systèmes de vitrage, matériaux, dispositifs d'ombrage, etc.) et de simuler les interactions de l'enveloppe avec d'autres mesures d'efficacité énergétique (tel que l'éclairage naturel) (Selkowitz et al., 2014).

Sefaira et PHPP peuvent être utilisés également pour l'analyse des caractéristiques de l'enveloppe. PHPP est un outil éprouvé pour la simulation des maisons passives. Il permet d'établir les spécifications pour les fenêtres et de calculer les valeurs de résistance thermique des composants de forte isolation thermique tout en considérant les ponts thermiques. Cet outil utilise une méthode statique pour le calcul de la consommation énergétique du bâtiment. En cas de charges internes ou solaires importantes, les résultats doivent être considérés de manière critique. Il ne s'agit pas d'une grande limitation vu qu'il a été validé pour la justesse de ces résultats par des outils de simulation dynamique. De plus, cet outil est programmé sous Microsoft Excel d'où son utilisation plus simple qu'un outil dynamique. Sinon pour Sefaira, il a été développé récemment, mais les recherches sont en cours pour voir son applicabilité.

Pour l'analyse plus détaillée des fenêtres (vitrage et châssis) et des ponts thermiques, d'autres outils plus spécifiques, peuvent être utilisés (*Voir* Tableau 6.7).

Tableau 6.7 : Présentation des outils spécifiques pour fenestration et ponts thermiques

	Window 7.2	**FRAMEplus**	**Optics**	**THERM 7.3**
Performance thermique des fenêtres	√			
Propriétés thermiques des vitrages (U, CARS, TL)			√	
Propriétés thermiques des Cadre et châssis		√		
Ponts thermiques				√

Les propriétés du vitrage, les pellicules à faible émissivité, la translucidité, la réflexion, ainsi que la taille, la couleur, les matériaux, le revêtement et l'épaisseur du cadre peuvent être facilement modélisés à l'aide de Window 7.2. « Frameplus » analyse aussi les propriétés thermiques des cadres et châssis. Optics est plus spécialisé pour l'étude des propriétés thermiques du vitrage. Finalement, THERM pour calculer les déperditions thermiques à travers les ponts thermiques.

6.2 Cadre d'optimisation proposé

L'étude des paramètres clés de performance, identifiés dans l'approche théorique de simulation, montre que l'architecte a besoin constamment d'un solide corpus de connaissances pour croiser avec succès les objectifs de performances. Choisir les outils les plus appropriés pour optimiser les stratégies passives et les maîtriser sont d'autres requis, qui s'ajoutent à ce panier. L'approche actuelle de conception cartographiée dans la section 5.1 ne comble pas ces besoins. D'ailleurs, l'expertise de l'ingénieur n'est pas mise à profit au début du processus et son implication figure la plupart du temps au dossier définitif pour concevoir les systèmes mécaniques ou valider la conformité avec les codes et normes de construction.

Aussi, tel est démontré dans les sections 6.1.2 à 6.1.4, le processus d'optimisation énergétique exige l'analyse et la simulation de plusieurs facettes lors de la conception du bâtiment. Approcher des solutions optimales est une question des meilleures synergies entre

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

les différentes stratégies. Pour ce faire, il suffit de modéliser et évaluer plusieurs scénarios simultanément, suivant des itérations. Toutefois, cette approche ne figure pas dans le processus actuel de conception. Au contraire, les boucles de rétroaction se limitent souvent à l'approbation des livrables par le client.

L'approche d'optimisation suggérée présente un deuxième niveau de maturité dans le mode traditionnel de conception. Elle permettra d'assister l'architecte dans le processus pour mieux intégrer les outils de simulation dans les décisions conceptuelles.

Les optimisations proposées visent une participation plus active des autres acteurs (modeleur et ingénieur). Un modeleur énergétique peut agir à titre de spécialiste ou bien comme ingénieur mécanique. L'essentiel c'est qu'il soit expert des outils de simulation et qu'il puisse traduire efficacement les intentions de conception en un modèle énergétique. C'est ainsi que son implication et celle de l'ingénieur permettent de sensibiliser l'architecte par rapport à certaines décisions et également de visualiser efficacement leurs impacts dans un modèle énergétique. Aussi, dans ce cadre, des itérations pour aboutir à des solutions plus cohérentes et optimisées sont proposées.

6.2.1 Flot de travail

Les figures 6.6, 6.7, 6.8 présentent les flots de travail optimisés pour la phase de préconception, l'esquisse et le dossier préliminaire. Dans ces flux, l'information produite par chacun des acteurs ainsi que les documents échangés sont présentés. La coordination entre ces acteurs s'effectue par courriel ou autre médium de communication. Les flux de message sont représentés par des flèches en pointillés. Par contre, les flèches à ligne continue représentent les flux de séquence reliant les activités d'un même acteur.

Phase de préconception

Comme mentionné dans le processus cartographié à la section 5.1, les opportunités d'optimisation énergétiques, dans cette phase, résident dans le choix de la meilleure option qui répond efficacement aux besoins du client. Dans ce cas, il s'agit de décider entre une rénovation, reconfiguration ou agrandissement du bâtiment, ou une nouvelle construction. Pour cette dernière, l'enjeu est de définir des critères de conception favorisant les stratégies passives. La Figure 6.5, décrit le flot de travail optimisé durant la phase de préconception : premier potentiel d'optimisation dans le processus de conception.

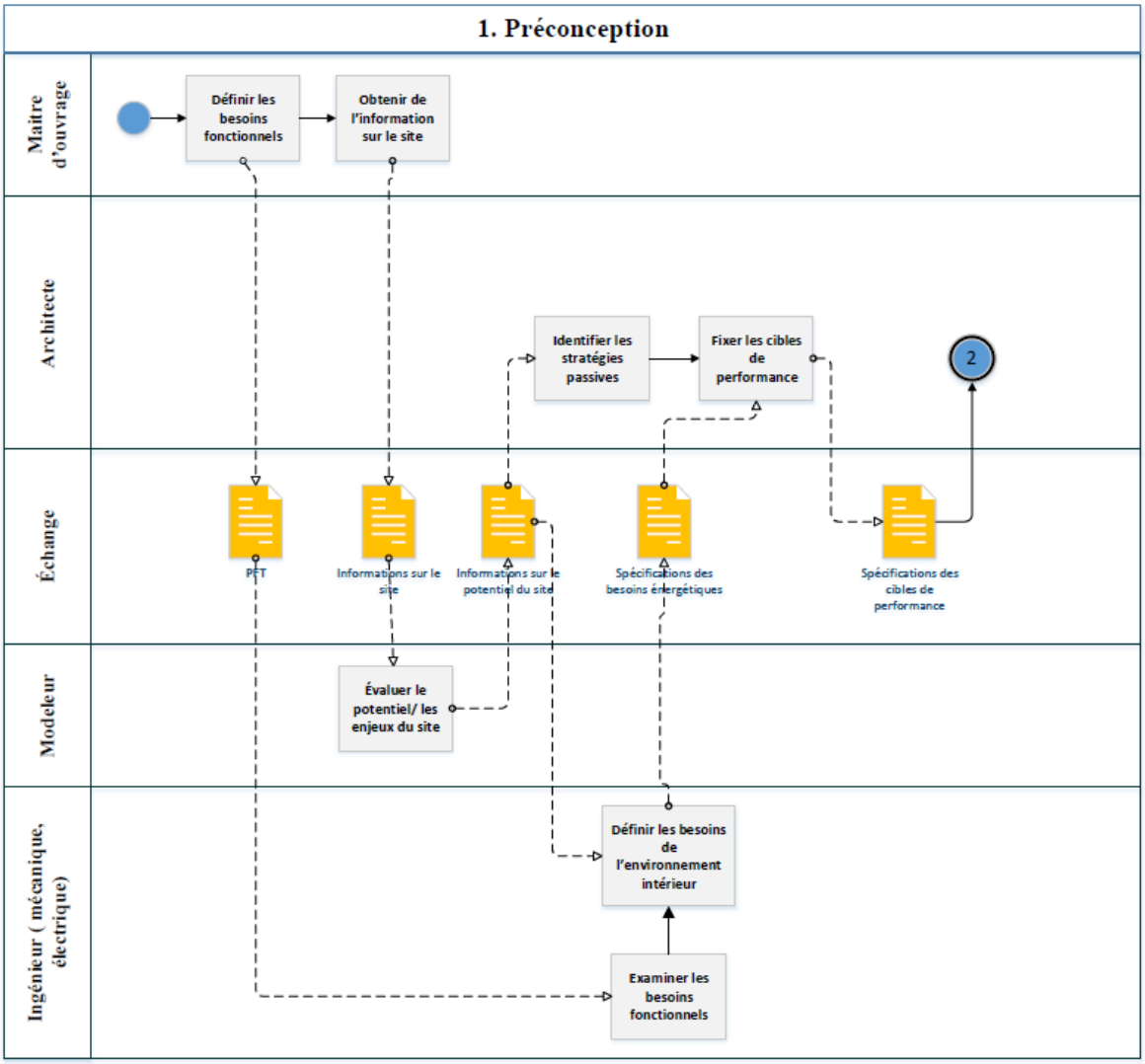

Figure 6.5 : Flot de travail pour la phase de préconception

À cette étape, une analyse du potentiel du site à partir des données climatiques (première différence par rapport au premier niveau peut être une indication pertinente (à part les autres critères de choix du site tels que l'emplacement, les besoins en déplacement automobile, etc.) pour choisir celui qui s'aligne avec les besoins énergétiques de la future construction. Une fois le lieu d'implantation répertorié, cette analyse va permettre à l'architecte de définir les stratégies passives à adopter et d'envisager des solutions d'aménagement qui correspondent aux besoins en éclairage naturel, au type d'occupation, etc. À cette étape, le concepteur peut fixer les cibles de performance plutôt qu'à l'esquisse, tel est le cas dans le premier niveau.

L'implication d'un modeleur pour cette analyse peut être intéressante. Même s'il est inhabituel de l'impliquer en mode traditionnel, ce dernier peut aider l'architecte à identifier les pistes de recherche pour le passif.

Esquisse

Souvent, les contraintes du site et le budget serré obligent le concepteur à s'enfermer dans un seul design qu'il développe tout au long du processus de conception. Cette pratique exclut les possibilités d'optimisation qui se présentent, surtout à l'esquisse où l'impact sur les charges énergétiques est grand et les mesures pour réduire ces dernières sont plus faciles à mettre en œuvre.

La Figure 6.6 illustre le processus d'optimisation qui s'enchaine une fois les cibles de performances fixées à l'étape de préconception.

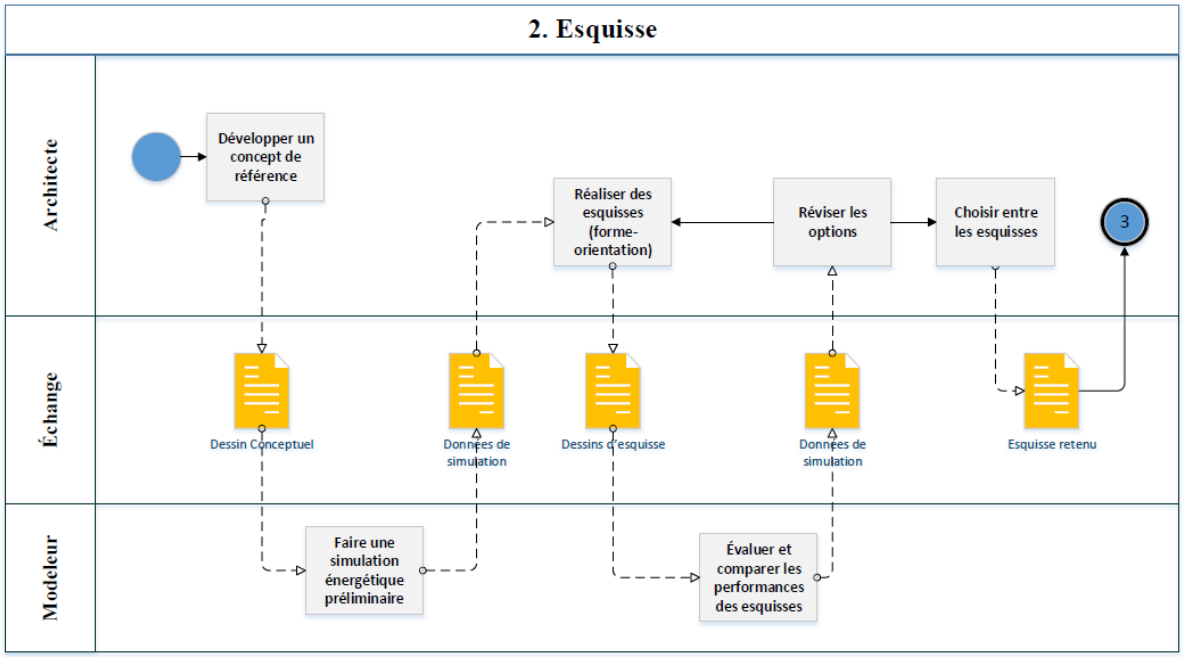

Figure 6.6: Processus d'optimisation à l'esquisse

L'approche favorisée, à ce stade, est de développer de multiples alternatives (des esquisses de forme et d'orientation) et de comparer leurs performances selon un processus itératif entre l'architecte et le modeleur : Celle-ci est la première différence par rapport au premier niveau à l'esquisse. L'avantage d'impliquer un modeleur à l'esquisse est de pouvoir conduire des simulations pour valider, en temps réel, les hypothèses des professionnels sur la performance des solutions explorées. Sa maitrise des outils de simulation sera son atout.

Ce processus débute par une analyse énergétique préliminaire d'un modèle de référence (Deuxième différence par rapport au premier niveau). Celle-ci permet de cadrer les enjeux du site et les cibles de performance déjà fixées à l'étape antérieure. Par la suite, l'architecte établit diverses esquisses de forme et d'orientation qu'il évalue avec le modeleur suivant la démarche développée dans la section 6.1.2.1. Ces évaluations s'achèvent une fois que l'équipe parvient à l'option ou le scénario qui s'adapte mieux aux contraintes climatiques du site, en offrant des solutions plus efficaces en éclairage, chauffage et refroidissement.

Dossier préliminaire

La question de l'architecte, qui se pose souvent à cette phase, est comment réunir l'esthétique et la performance. Par exemple, une fenestration abondante est favorisée sur le plan esthétique de même que pour sa part en éclairage naturel, cependant elle présente une grande source des déperditions thermiques. Résoudre ces compromis nécessite des solutions synergiques faisant appel à des connaissances en thermodynamique, de transfert de chaleur et des outils de simulation pour évaluer l'impact.

La Figure 6.7 décrit le flot de travail qui suit le scénario retenu à l'esquisse.

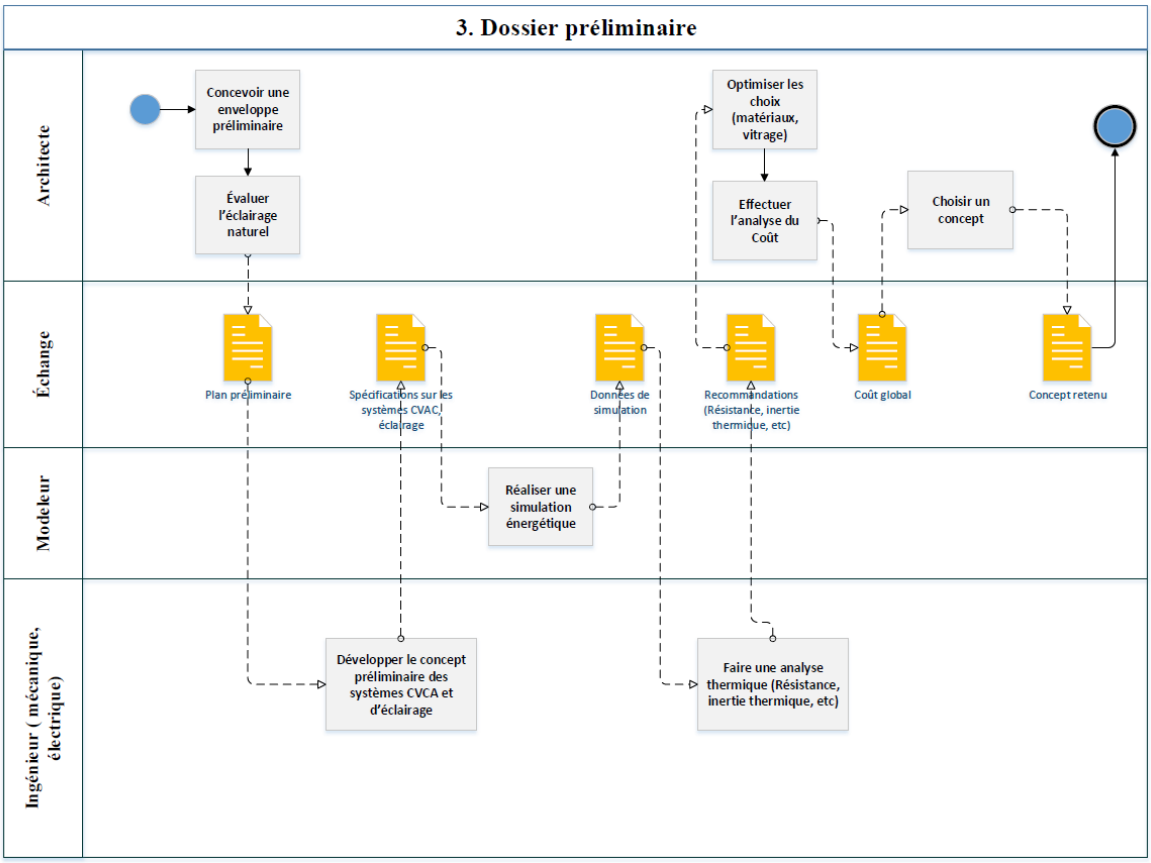

Figure 6.7: Flot de travail optimisé au dossier préliminaire

Un ingénieur mécanique est mieux placé en termes de ses antécédents en science physique que l'architecte. Pour un motif d'optimisation, il est donc logique de le faire participer lors de la conception de l'enveloppe (une différence par rapport au premier niveau). On recherche dans son implication une combinaison optimale entre les stratégies passive et active.

À cette étape, l'ingénieur, via une analyse thermique du concept, peut sensibiliser l'architecte en proposant des solutions de vitrage plus performantes et qui coïncident avec les besoins en éclairage naturel. Il peut l'aider dans le choix des matériaux pour bénéficier de l'inertie thermique et réduire, de suite, le besoin en équipement. Aussi, il est en mesure de fournir des idées dans la conception de l'éclairage naturel et des systèmes de contrôle de la lumière artificielle. Le modeleur, dans ce cadre, assure le pont entre les deux perspectives (ingénieur et architecte) par un choix judicieux de l'outil de simulation et un savoir qui lui permet de transcrire efficacement les intentions de conception dans le modèle énergétique. Les résultats de simulation pour ce stade sont utiles, en premier lieu, pour les évaluations de l'ingénieur et le développement des concepts préliminaires des systèmes de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air (CVCA) et d'éclairage. Elles serviront de référence, par la suite, pour optimiser les choix architecturaux après une analyse thermique (résistance, ponts thermiques, inertie thermique, etc.) effectuée par l'ingénieur. (deuxième différence par rapport au premier niveau).

Une série d'itérations entre ces disciplines (troisième différence avec le premier niveau), pour la définition des stratégies, est toujours la méthode recommandée pour ce cadre optimisé. Ce processus itératif cherche à optimiser les stratégies passives, principalement l'enveloppe et l'éclairage naturel (Voir les sections 6.1.4.1 et 6.1.3.1).

6.2.2 Cartographie des outils

Les outils abordés dans cette étude présentent des différences en termes d'adéquation pour chacune des phases de conception considérées. Dans une optique d'optimisation, il pourrait être intéressant de joindre à ce cadre, la séquence d'outils la mieux adaptée à l'esquisse et

celle au dossier préliminaire. On s'intéresse à ces deux étapes vu qu'en préconception, la simulation se limite juste à l'analyse des conditions climatiques du site. Cette classification est décrite dans la Figure 6.8.

À l'esquisse, une étude volumétrique et de performance énergétique sommaire doivent être réalisées à partir d'un modèle simplifié vu que les données, à ce stade, sont limitées. VASARI est compatible avec cette information initiale et permet de visualiser approximativement les variations entre les alternatives. Pour évaluer la forme du bâtiment et l'orientation de ses façades, il convient d'utiliser Ecotect et Sefaira.

Au dossier préliminaire, l'optimisation des stratégies se fait à partir des résultats plus précis et des outils plus pertinents. Radiance et Daysim sont recommandés pour l'étude de l'éclairage naturel. Ecotect peut être utilisé au début de la phase et passer par la suite à Radiance et/ou Daysim via le plug-in en vue d'une analyse plus précise. Pour l'enveloppe, eQuest, DesignBuilder et PHPP sont bien adéquats pour étudier sa performance à ce stade et même aux étapes ultérieures. Par contre, l'outil COMFEN / RESFEN est mieux adapté pour le concept préliminaire de l'enveloppe vu qu'il permet une évaluation détaillée pour une seule zone du bâtiment. Sefaira, est bien adéquat également à l'étude des façades au début de cette étape.

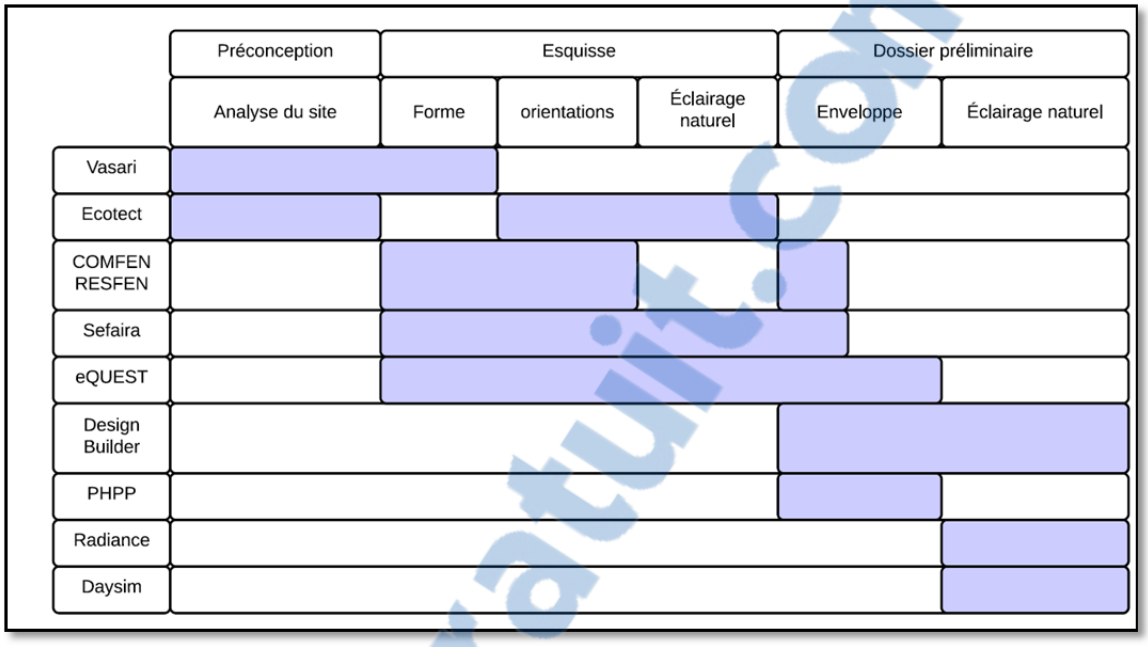

Figure 6.8: Répartition suggérée des outils de simulation selon les étapes de conception

6.3 Discussion

De ce cadre, on peut tirer les conclusions suivantes :

La simulation, pendant les phases initiales de conception, signifie beaucoup puisqu'elle permet de comparer et évaluer les performances des différentes options. Par contre, le recours à ces outils suivant des itérations entre les différentes spécialités, relève d'autres pistes d'investigations permettant d'aboutir à des solutions synergiques, performantes et optimisées. Le modeleur, qui agit à titre de spécialiste et qui peut aussi agir comme ingénieur mécanique, est un expert des outils de simulation. Son implication permet davantage de modéliser efficacement les intentions de l'architecte. L'ingénieur, avec son corpus de connaissance, est mieux qualifié pour interpréter les résultats et supporter les décisions de l'architecte. Il est important ainsi de revoir la dynamique interdisciplinaire en vue de maximiser les retombées des mesures d'efficacité énergétique.

Rapport-Gratuit.com

Par contre, profiter pleinement de ces optimisations, dépend du niveau d'engagement du client et des professionnels à réaliser un projet à haute performance énergétique. Ceci peut se traduire par :

1- Des contrats plus flexibles, favorisant les efforts d'optimisation et les synergies. L'intégration des outils de simulation requiert plus de temps pour former les professionnels et la réorganisation des flux de travail. Dans ce cas, il faut que les contrats soient conçus d'une manière à encourager ces efforts ;
2- Des professionnels plus motivés à intégrer les outils de simulation dans leurs façons de procéder et plus ouverts à l'intégration ;
3- Un client plus conscient des retombées de la pratique de simulation et prêt à investir plus au profit d'une stratégie qui apportera le meilleur retour sur l'investissement soit des économies au niveau des coûts énergétiques durant le cycle de vie du bâtiment.

On peut citer, la conception intégrée comme alternative devant ces limitations, vu que la pratique de simulation est parfois exigée dans les contrats. Outre cela, elle offre plus d'opportunités pour un contexte favorable à la coordination : en conception intégrée, les itérations entre les professionnels sont accentuées par des ateliers de collaboration (les charrettes).

Au niveau des outils, il est clair qu'un seul logiciel n'est pas capable de centraliser tous les aspects de performance le long du processus. Chaque logiciel est choisi selon: l'option à évaluer, la phase de conception considérée, le niveau de précision requis et le degré de flexibilité pour l'entrée des données. Seuls les outils conviviaux, flexibles et permettant des simulations en temps réel devraient être utilisés aux étapes préliminaires de conception. Cela pourrait être contre-intuitif à ceux qui croient au déploiement d'un seul outil de simulation du début jusqu'à la fin du processus. Selon cette perspective, le Building Information Modeling (BIM) peut être une solution pour la question d'interopérabilité entre les différents logiciels vu qu'il offre des passerelles directes pour échanger les données sans difficultés.

CONCLUSION

Ce travail contribue à l'avancement des connaissances en proposant des méthodes d'optimisation pour l'intégration de la simulation énergétique en amont du processus de conception. Dans ce propos, l'étude a visé une architecture s'appuyant sur les stratégies passives en vue d'atteindre les objectifs de performance.

La pratique de la simulation, dans le mode traditionnel de conception, est réservée généralement à l'ingénieur au dossier définitif. L'architecte, quant à lui, s'appuie souvent sur ses intuitions ou son expérience pour les prises de décisions (Morbitzer et al., 2001).Or, un recours précoce aux outils de simulation offre un grand potentiel pour adopter des solutions performantes en termes d'énergie. Dans la littérature, la plupart des efforts pour intégrer cette pratique sont centrés dans la recherche de solutions pour adapter les outils de simulation au processus architectural. Néanmoins, peu de travaux ont défini des méthodes d'optimisation facilitant cette intégration.

Afin de résoudre cette question, deux axes ont été abordés dans ce travail:

- Le premier, s'appuyant sur les meilleures pratiques dans la littérature, cible les paramètres clés de performance à viser dans les études de simulation. Également, les outils pertinents et conviviaux par rapport aux phases initiales de conception sont répertoriés.
- Dans le deuxième, des approches d'optimisation ont été proposées pour combler les défaillances de la pratique actuelle de conception. Cette démarche optimisée constitue un deuxième niveau de maturité dans le mode traditionnel, vise à assister l'architecte dans le processus et atténue les contraintes d'intégration de la simulation dans les décisions conceptuelles.

Ces deux axes combinés permettent de :

- Sensibiliser l'architecte par rapport aux stratégies passives et des choix architecturaux potentiels ;

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

- Orienter le concepteur pour un choix approprié de l'outil de simulation (les paramètres qu'il peut cibler et pour quelle phase de conception ils peuvent être considérés) ;
- Optimiser l'utilisation de la simulation énergétique, au début de la conception, en intégrant des disciplines plus spécialisées dans ce domaine ;
- Créer un contexte plus favorable pour croiser les objectifs de performance.

En contrepartie, quelques contraintes techniques et pratiques peuvent figurer lors de la mise en place de cette approche de conception optimisée. Les contraintes techniques consistent en certaines difficultés au niveau de l'intégration des outils de simulation énergétique dans le processus de conception : un seul logiciel n'est pas capable de centraliser tous les aspects de performance, donc, le manque d'interopérabilité peut limiter les transferts des données entre les différents outils.

Au niveau de la pratique, le manque de connaissance du client des retombées de la simulation et le manque de motivation des professionnels, sont les vrais handicaps pour l'intégration de cette approche.

En terme de perspectives futures, deux pistes sont visées et en cours d'exploration à ce niveau :

- Le BIM (Building Modeling Information) peut constituer une nouvelle piste d'investigation pour la question d'interopérabilité entre les logiciels vu qu'il offre des passerelles directes d'échange des données.

- La conception intégrée semble davantage tirer profit de la facilité à faire des changements au niveau des flux de travail : la nature du contrat qui exige une collaboration plus serrée entre les professionnels ouvre la voie pour l'utilisation de la simulation énergétique au début de la conception.

ANNEXE I

QUESTIONNAIRE

Date de l'interview : ……. // Nom de la firme : ……..

Entrée en matière (Qui ?) (5 min)

Nom et fonction dans la firme

Expérience de travail dans la firme et expérience précédente

Équipe de travail (nombre, composition)

Plusieurs projets simultanés ?

Équipes de projet ?

Pratiques actuelles de conception (Quoi ?) (10-15 min)

Comment êtes-vous généralement impliqués dans le processus de conception ?

Quelles sont les pratiques de la firme (linéaire ou intégré) ?

Quelles disciplines impliquées ?

Phases de la conception ?

(Préconception, esquisse, dossier préliminaire, dossier définitif)

Quelle est votre implication dans chacune des phases de la conception ?

La simulation dans le processus de conception (Quoi précisément) (15-20 min)

Sur quelle base fixez-vous les cibles de performance dans vos projets ?

Client, mandat, etc.

Pour les projets qui visent des hauts niveaux de performance, sur quelle base vos décisions sont-elles prises ?

Quels sont les aspects que vous considérez ?

Stratégies passives (orientation, éclairage naturel, etc)

Stratégies actives (systèmes, etc.)

Utilisez-vous les critères de certification exemple LEED, ou modèle de référence exemple CMNEB ?
Quelles sont les applications de la simulation pour les différentes phases du processus de conception ?

Les outils de simulation (Comment ?) (10-15 min)

Quels sont les outils qui interviennent dans les différentes phases du projet ?
Pour quels aspects interviennent quels outils ?
Pour quels aspects de la conception pensez-vous qu'il devrait y avoir davantage de simulation ?
Qu'est-ce qui a motivé le choix de ces outils ?
(certification, obligation contractuelle, niveau de détail, etc.)
Pour terminer (5-10 min)
Quel a été le meilleur projet au niveau de la collaboration interdisciplinaire ? Pourquoi ?

ANNEXE II

PRÉSENTATION DES OUTILS DE SIMULATION

Les outils de simulation de l'éclairage naturel:

Daysim

Daysim est un logiciel mis au point par le groupe Éclairage du Conseil national de recherches du Canada et le Solar Building Design Group du Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, permettant de qualifier l'ambiance lumineuse d'un local et calculer la disponibilité de la lumière du jour, l'autonomie en éclairage naturel, l'irradiation annuelle, ainsi que la dépense d'énergie en lumière artificielle selon une zone choisie et un profil d'utilisation. Il est le tout premier outil de simulation "CBDM (Climate based daylight modelling)" permettant le calcul de la performance annuelle de l'éclairage et de la métrique Daylight Autonomy. Ce logiciel d'analyse se base sur les algorithmes de Radiance et sur des coefficients d'éclairage pour calculer efficacement les distributions d'éclairement du ciel pendant une année complète.

Ecotect

Cet outil rassemble une interface intuitive de modélisation 3D avec des fonctions d'analyse solaire, thermique, visuelle, acoustique et de coûts. Ecotect est l'un des rares outils dont l'analyse des performances est simple, relativement précise et surtout, visuellement efficace. Développé par Andrew Marsh en 1996, ce logiciel a été acquis par Autodesk en 2009. À ce jour il compte au moins 2000 licences individuelles partout dans le monde.

Radiance

Il est l'un des outils les plus précis pour simuler la disponibilité de la lumière naturelle selon une date et une heure données. Il est notamment puissant pour l'analyse et la visualisation de

l'éclairage naturel et artificiel. Il est d'ailleurs reconnu par les chercheurs pour la validité et la précision de ses résultats, puisqu'il utilise des rayons lumineux tracés dans la direction opposée à ceux qu'ils suivent naturellement, à partir de l'œil de l'observateur jusqu'aux sources de lumière et en tenant compte de toutes les interactions physiques avec les surfaces des objets composant la scène simulée. Cet outil a été développé par Greg Ward au Lawrence Berkeley National Laboratory (The Radiance Synthetic Imaging System). Il est gratuit et possède une licence de redistribution libre. Il est maintenant intégré à de nombreux outils de simulation, dont Ecotect, DesignBuilder, IES VE, Daysim et OpenStudio/EnergyPlus.

Les outils de simulation énergétique :

COMFEN / RESFEN

COMFEN pour les bâtiments commerciaux et RESFEN pour les bâtiments résidentiels. Ces outils de simulation énergétique sont développés par Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) et sont conçus spécifiquement pour les décisions en début de la conception. Ces outils mettent l'accent sur le concept d'une seule zone, mais utilisent Energy Plus et Radiance comme moteurs de calcul des performances énergétiques attribuées à l'enveloppe, la géométrie et l'orientation des façades.

DesignBuilder

DesignBuilder est une interface utilisant le moteur de simulation EnergyPlus qui permet de compléter aisément des analyses de la consommation d'énergie, du confort intérieur et le dimensionnement des équipements CVCA. Il offre la possibilité de simuler plusieurs types de systèmes CVCA couramment utilisés. De plus, les utilisateurs peuvent créer leur propre modèle de systèmes CVCA et spécifier le niveau de détail à toute étape du processus de conception.

EE4

EE4 est une interface utilisant le moteur de simulation DOE2.1e qui très populaire au Québec. Il a été développé afin d'évaluer et de mettre en application les règles particulières à la validation de la conception de bâtiments neufs selon le code modèle national de l'énergie pour les bâtiments (CMNÉB-1997) de Ressources Naturelles Canada (RNCan).

EnergyPlus

Créé en 2001 par le Département d'énergie des É-U, il rassemble les caractéristiques les plus populaires d'autres logiciels de simulation, BLAST et DOE-2. EnergyPlus inclut des fonctionnalités innovantes telles que le calcul à intervalles de moins d'une heure, modules de simulation des systèmes qui sont intégrés à la simulation de bilan thermique par zone, simulation des flux d'air multizone, simulation d'énergie électrique, y compris les piles à combustible et autres systèmes d'énergie renouvelable, et la gestion de l'eau domestique qui contrôle et mesure l'utilisation de l'eau des systèmes du bâtiment, les précipitations et les eaux souterraines. À ce jour, plus de 85000 copies de ce logiciel ont été téléchargées

eQUEST

eQuest est un outil de simulation énergétique convivial qui permet une analyse de la performance de l'ensemble du bâtiment dans toutes les phases de conception. L'outil produit des résultats de qualité en intégrant un assistant de création de bâtiment, un module de mesures d'efficacité énergétique (EEM) et un module d'affichage graphique des résultats. Le module de création des bâtiments d'eQuest simplifie et accélère le processus de simulation et permet aux utilisateurs de créer un modèle de bâtiment afin d'effectuer une analyse détaillée des technologies de construction. La possibilité de modéliser plusieurs scénarios simultanément à l'aide du module d'assistance est l'un des avantages les plus importants d'eQuest puisqu'il permet de comparer les résultats des différentes alternatives graphiquement. L'outil permet aussi d'estimer les coûts de consommation énergétique,

l'éclairage naturel, le contrôle de l'éclairage et la mise en œuvre automatique de mesures d'efficacité énergétique.

OpenStudio

La première version d'OpenStudio a été publiée en 2008. Il s'agit d'un plug-in qui tire parti de SketchUp de Google et EnergyPlus. Il a été développé à l'origine pour visualiser et modifier la géométrie des modèles EnergyPlus. Maintenant, il est en mesure de visualiser et de modifier un grand nombre d'autres attributs des modèles de construction EnergyPlus, par exemple la mise en charge comme des lumières, du matériel et les systèmes simples de CVCA.

PHPP

Ce logiciel a été conçu par l'institut Passivhaus de Darmstadt, en Allemagne. Le Passive House Planning Package (PHPP) est un outil basé sur un chiffrier électronique qui s'adresse aux architectes, ingénieurs et concepteurs pour faciliter la conception au standard Passivhaus. Il calcule la demande d'énergie d'un bâtiment. Ses algorithmes de calculs énergétiques sont compatibles avec les normes internationales (ISO 13790) et ses résultats ont été validés à l'aide d'outils de simulation dynamiques et corroborés par des mesures de réalisations Passivhaus.

VASARI

Vasari est une solution logicielle développée par Autodesk. Il est facile à utiliser "à la SketchUp" pour créer des esquisses et des modèles de bâtiment. Le logiciel dispose également d'outils de simulation énergétique et d'empreinte carbone, permettant de prendre les bonnes décisions de conception dès les phases initiales de création.

Sefaira

Développé par la compagnie Sefaira, permet aux architectes de se concentrer sur la performance énergétique et l'éclairage naturel depuis le début du processus de conception. Il exploite deux moteurs de calculs : le premier est mis en œuvre exclusivement par Sefaira basé sur la méthode Radiant Time Series de l'ASHRAE. Le deuxième utilise EnergyPlus.

Rapport-Gratuit.com

ANNEXE III

LES MÉTRIQUES DE PERFORMANCES DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL

Le facteur de la lumière du jour (Daylight Factor : DF)

Ce facteur représente le rapport de l'éclairement naturel en un point à l'intérieur du bâtiment et de l'éclairement produit simultanément, sur un plan horizontal à l'extérieur par tout l'hémisphère du ciel sans obstruction.

L'autonomie en lumière du jour (Daylighting Autonomy : DA)

Il s'agit du pourcentage des heures occupées par an où le niveau minimum d'éclairement requis peut être assuré par la seule lumière naturelle. Contrairement au facteur lumière du jour généralement utilisé, l'autonomie en lumière du jour considère toutes les conditions de ciel tout au long de l'année. Elle s'exprime en %.

Éclairement naturel utile (Utility Daylighting Indice : UDI)

Il est défini comme étant l'occurrence (ou pourcentage) annuelle pour laquelle l'ensemble des valeurs d'éclairement mesurées au sein de l'espace évalué se situe entre 100 et 2000 lux.

- Un éclairage naturel variant entre 100 et 500 lux est considéré adéquat lorsqu'utilisé seul ou jumelé avec un éclairage artificiel.
- Un éclairage naturel variant entre 500 et 2000 lux est considéré comme désirable ou du moins tolérable.

La disponibilité de la lumière du jour (Daylight Availability : DAv)

Elle est semblable au facteur de lumière du jour, en ce qui est le rapport entre les niveaux d'éclairement intérieur et extérieur. Cependant, la disponibilité de la lumière du jour est

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

calculée dans les conditions réelles du ciel, qui comprend également un ciel clair et uniforme. Ainsi, elle est supposé mieux pour les conditions climatiques ensoleillées.

La luminance (L)

La luminance d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. La luminance s'exprime en candélas par mètre carré (cd/m²).

L'éclairage

Il correspond au rapport du *flux lumineux* par unité de surface. Il caractérise la quantité de lumière reçue par une surface, une paroi ou un objet. Il dépend de l'intensité de la source lumineuse, de la distance entre la source et la surface éclairée et de son inclinaison par rapport aux rayons lumineux. Il s'exprime en *lux* (lx) et vaut 1 lm/m².

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(2010). " Directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments " Journal officiel de l'Union européenne: 35.

Potvin, A. and Demers, C. (2003). "L'approche bioclimatique en architecture." Le bulletin d'information de l'ordre des architectes du Québec **14**.

Adamski, M. (2007). "Optimization of the form of a building on an oval base." Building and environment **42**(4): 1632-1643.

ADEME, PUCA and CSTB (2007). Comparaison internationale Bâtiment et Energie: Programmes d'Operations Perforamantes

Aelenei, L. and H. Gonçalves (2014). "From solar building design to net zero energy buildings: Performance insights of an office building." Energy Procedia **48**: 1236-1243.

Aksamija, A. and Z. Mallasi (2010). "Building Performance Predictions: How Simulations Can Improve Design Decisions." Perkins+ Will Research Journal **2**(2): 7-32.

Anđelković, B. V., B. V. Stojanović, M. M. Stojiljković, J. N. Janevski and M. B. Stojanović (2012). "Thermal mass impact on energy performance of a low, medium and heavy mass building in Belgrade." Thermal Science **16**(suppl. 2): 447-459.

Anderson, K. (2014). Design enegy simulation for architects: guide to 3D graphics. New York et Londres, Routledge.

ASHRAE (2010). ASHRAE GreenGuide - The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE (2013). ASHRAE Green Guide: Design, Construction, and Operation of Sustainable buildings. Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.

Athienitis, A., P. Torcellini, A. Hirsch, W. O'Brien, M. Cellura, R. Klein, V. Delisle, S. G. M. Attia, P. Bourdoukan and S. Carlucci (2010). "Design, optimization, and modelling issues of net-zero energy solar buildings." EuroSun 2010.

Attia, S. (2011). State of the Art of existing Early Design Simulation Tools for Net Zero Energy Buildings: Comparaison of Ten Tools.

Attia, S., L. Beltrán, A. De Herde and J. Hensen (2009). "Architect friendly": A comparison of ten different building performance simulation tools. 11th International Building

Performance Simulation Association Conference and Exhibition, International Building Performance Simulation Association (IBPSA).

Attia, S., A. De Herde, E. Gratia and J. L. Hensen (2013). Achieving informed decision-making for net zero energy buildings design using building performance simulation tools. Building Simulation, Springer.

Attia, S., E. Gratia, A. De Herde and J. L. Hensen (2012). "Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design." Energy and buildings **49**: 2-15.

Attia, S., J. L. Hensen, L. Beltrán and A. De Herde (2012). "Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting architects' and engineers' needs." Journal of Building Performance Simulation **5**(3): 155-169.

Augenbroe, G. (1992). "Integrated building performance evaluation in the early design stages." Building and Environment **27**(2): 149-161.

Augenbroe, G. (2002). "Trends in building simulation." Building and Environment **37**(8): 891-902.

Bambardekar, S. and Poerschke, U. (2009). The architect as performer of energy simulation in the early design stage. The 11th IBPSA- Scotland Conference.

Boivin, H. and A. Potvin (2008). Refroidissement passif: outil d'évaluation et d'aide a la conception architecturale The 5th IBPSA-Canda Conference.

Charron, R. and A. Athienitis (2006). "Design and optimization of net zero energy solar homes." TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS **112**(2): 285.

Chua, D., A. Tyagi, S. Ling and S. Bok (2003). "Process-parameter-interface model for design management." Journal of construction engineering and management **129**(6): 653-663.

Cole, R. J. (1999). "Building environmental assessment methods: clarifying intentions." Building Research & Information **27**(4-5): 230-246.

Crawley, D., S. D. Pless and P. A. Torcellini (2009). Getting to net zero. National Renewable Energy Laboratory.

Crawley, D. B. (1998). "Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings?" Transactions-American society of heating refrigerating and air conditioning engineers **104**: 498-515.

Crawley, D. B., J. W. Hand, M. Kummert and B. T. Griffith (2008). "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs." Building and environment **43**(4): 661-673.

De Wilde, P., G. Augenbroe and M. Van Der Voorden (1999). Invocation of building simulation tools in building design practice. Proceedings of IBPSA '99 Buildings Simulation Conference.

De Wilde, P. and D. Prickett (2009). Preconditions for the use of simulation in M&E engineering. Proceedings 11th International IBPSA Conference.

De Wilde, P. and M. van der Voorden (2004). "Providing computational support for the selection of energy saving building components." Energy and Buildings **36**(8): 749-758.

De Wilde, P. J. C. J. (2004). Computational support for the selection of energy saving building components, TU Delft, Delft University of Technology.

Ding, G. K. (2008). "Sustainable construction—The role of environmental assessment tools." Journal of environmental management **86**(3): 451-464.

Dubois, M. C. and J. P. Saucier (2009). Architecture a faible énergie pour demain: principes, physique et pratique. Université de Laval.

EuropeanCommission (1997). Bioclimatic Architecture

Fernandez, P., P. Lavigne, A. Bouteveille-Sanders, U. Bouteveille-Sanders, A. Cristo and R. Maraï (2009). Concevoir des bâtiments bioclimatiques: fondements & méthodes, Éd. le Moniteur.

Figoli, Y. and Camous, R. (1983). L'art de bâtir. Québec, 347.

Garde, F., A. Lenoir, A. Scognamiglio, D. Aelenei, D. Waldren, H. N. Rostvik, J. Ayoub, L. Aelenei, M.Donn, M. Tardif and S. Cory (2013). "How to design a net zero energy building? solution sets and case studies : Experience and feedback of the IEA Task 40/ Annexe 52 ".

Givoni, B. (1994). Passive low energy cooling of buildings, John Wiley & Sons.

GSA (2012). BIM Guide for energy performance. series 5. U.S. General Service Administration.

Hemsath, T. L. (2013). Conceptual energy modeling for architecture, planning and design: impact of using building performance simulation in early design stage. 13th

Conference of International Building Performance Simulation Association. Chambéry. France. August.

Hensen, J. L. and R. Lamberts (2012). Building performance simulation for design and operation, Routledge.

HESPUL (2014). Prise en compte du bio-climatisme et des apports solaires dans un projet d'aménagement

Hien, W. N., L. K. Poh and H. Feriadi (2003). "Computer-based performance simulation for building design and evaluation: The Singapore perspective." Simulation & Gaming **34**(3): 457-477.

Holst, J. N. (2003). Using whole building simulation models and optimizing procedures to optimize building envelope design with respect to energy consumption and indoor environment. Eigth International Conference.

Hopfe, C., C. Struck, G. Ulukavak Harputlugil, J. Hensen and d. P. Wilde (2005). "Exploration of using building performance simulation tools for conceptual building design."

Ianni, M. and M. Sanchez de Leon (2013). Applying Energy Performance-Based Design in Early Design Stages. Computation and Performance–Proceedings of the 31st International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design Europe, Faculty of Architecture, Delft University of Technology; eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe).

Ibarra, D. I. and C. F. Reinhart (2009). Daylight factor simulations–how close do simulation beginners 'really'get? Building Simulation.

Institut Royal d'Architecture du Canada (2009). Manuel Canadien de pratique de l'architecte.

Johnson, R., S. Selkowitz, F. Winkelmann and M. Zenter (1982). Glazing optimization study for energy efficiency in commercial office buildings. Energy Conservation in the Built Environment : Third CIB 67 International Symposium. Dublin, Ireland.

Kibert, C. J. (2013). Sustainable construction : green building design and delivery. Hoboken, N.J., John Wiley & Sons.

Knovel and S. Halliday (2008). Sustainable construction. Amsterdam Boston, Elsevier Butterworth-Heinemann.

Kwok, A. G. and W. T. Grondzik (2007). The green studio handbook : environmental strategies for schematic design. Oxford Elseiver Inc

Lam, K. P., Y. Chun Huang and C. Zhai (2004). "Energy modeling tools assessment for early design phase." Center for Building Performance and Diagnostics School of Architecture Carnegie Mellon University.

Lam, K. P., N. H. Wong and F. Henry (1999). "A study of the use of performance-based simulation tools for building design and evaluation in Singapore." Architecture **1**: 11.13.

Larsson, N. (2001). "iiSBE: the International Initiative for Sustainable Built Environment." Building Research & Information **29**(2): 175-177.

Larsson, N. (2004). "The integrated design process." International Initiative for a Sustainable Bult Environment (iiSBE).

Larsson, N. (2009) "The Integrated Design Process; History and Analysis."

Lovel, J. (2013). Building envelopes: An integrated approach, Princeton Architectural Press.

Maassen, W., E. De Groot and M. Hoenen (2003). Early design support tool for building services design model development. 8th IBPSA Conference, Eindhoven.

Mahdavi, A., S. Feurer, A. Redlein and G. Suter (2003). An inquiry into the building performance simulation tools usage by architects in Austria, na.

Marszal, A. J., P. Heiselberg, J. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori and A. Napolitano (2011). "Zero Energy Building–A review of definitions and calculation methodologies." Energy and Buildings **43**(4): 971-979.

Medjelakh, D. and S. Abdou (2008). "Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment." Revue des Energies Renouvelables **11**(3): 329-341.

Ministère du Développement durable, d. l. E., de la Faune et des parcs (2013). Inventaire québécois des émissions de gaz a effet de serre en 2010 et leur évolution depuis 1990, ministére du Développement durable de L'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction des politiques de la qualité de l'atmosphére 20.

Morbitzer, C., P. Strachan, J. Webster, B. Spires and D. Cafferty (2001). "Integration of building simulation into the design process of an architectural practice."

Musall, E. and K. Voss (2012). The passive house concept as suitable basis towards net zero energy buildings. 16th International Passive House Conference.

Olgyay, V. (1973). Design with climate, Princeton University Press Princeton, NJ.

Olgyay, V. and A. Olgyay (1963). Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism Princeton University Press.

Optis, M. and P. Wild (2010). "Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings." The International Journal of Life Cycle Assessment **15**(7): 644-651.

Panitz, K. and V. R. Garcia-Hansen (2013). Daylighting Design and Simulation: Ease of use analysis of digital tools for architects. Proceedings of the 19th CIB World Building Congress, Brisbane 2013: Construction and Society, Queensland University of Technology (QUT).

Paulson, B. C. (1976). "Designing to reduce construction costs." Journal of the Construction Division **102**(4): 587-592.

Platzer, M. (2009). Mesurer la qualité environnementale des bâtiments: méthodes globales, normes et certifications: cas pratiques, Le Moniteur.

Poel, B., G. De Vries, G. Van Cruchten, N. Larsson, T. Esbensen, M. Schuler, E. Sonnemans, E. Bouten and G. Löhnert (2005). Integrated design with a focus on energy aspects. Proceedings of the ECEEE Summer Study.

Potvin, A. and C. Demers (2005). "La ventilation naturelle dans le contexte climatique québécois ".

Pulselli, R., E. Simoncini, F. Pulselli and S. Bastianoni (2007). "Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability." Energy and buildings **39**(5): 620-628.

Reed, B. (2009). The integrative design guide to green building: Redefining the practice of sustainability, John Wiley & Sons.

Reinhart, C. and A. Fitz (2006). "Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design." Energy and Buildings **38**(7): 824-835.

Reinhart, C. F. (2002). Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. 2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.

Reinhart, C. F., J. Mardaljevic and Z. Rogers (2006). "Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design." Leukos **3**(1): 7-31.

Ressources naturelles Canada (2011). Guide de données de la consommation d'énergie

Roulet, C.-A. (2004). Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, PPUR presses polytechniques.

Sartori, I., A. Napolitano and K. Voss (2012). "Net zero energy buildings: A consistent definition framework." Energy and buildings **48**: 220-232.

Saucier, M.-C. D. e. J.-P. (2009). Architecture à faible énergie pour demain: principes, physique et pratique. U. L. e. Hydro-Québec.

Savanovic, P. and W. Zeiler (2009). Integral Design Method for Conceptual Building Design. DS 58-6: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design, Vol. 6, Design Methods and Tools (pt. 2), Palo Alto, CA, USA, 24.-27.08. 2009.

Schlueter, A. and F. Thesseling (2009). "Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages." Automation in Construction **18**(2): 153-163.

Schrum, L. and D. S. Parker (1996). Daylighting dimming and energy savings: The effects of window orientation and blinds.

Sekhar, S. and K. Lim Cher Toon (1998). "On the study of energy performance and life cycle cost of smart window." Energy and Buildings **28**(3): 307-316.

Selkowitz, S., R. Hitchcock, R. Mitchell, M. McClintock and K. Settlemyer (2014). COMFEN – Early Design Tool for Commercial Facades and Fenestration Systems, Building Technologies Department Environmental Energy Technologies Division.

Shawna, H. and M. Chris (2007). Approaching Net Zero Energy in Existing Housing

Société canadienne d'hypothèques et de logement (2009). Vers une consommation énergétique nette de zéro dans les maisons existantes. Canada.

StatistiqueCanada. (2010). from https://www.rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/4262.

Syneffa, A. (2008). Developing integrated energy design as a standard practice of building design. Proceedings of PLEA 2008, 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture.

Synnefa, A., T. Karlessi and M. Santamouris (2008). Developing Integrated Energy Design as a standard practice of building design. Proceedings of 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Dublin.

Thomas, H. (2012). Net zero energy design: a guide for commercial architecture, John Wiley & Sons.

Thomas Hootman (2013). Net zero energy design a guide for commercial architecture. Hoboken, N.J., John Wiley & Sons.

RapportGratuit.com

Tzempelikos, A., A. K. Athienitis and P. Karava (2007). "Simulation of façade and envelope design options for a new institutional building." Solar Energy **81**(9): 1088-1103.

USGBC (2013). "Reference Guide For Building Design and Construction: LEED V4 ".

Warren, P. and F. Maunsell (2002). Bringing Simulation to Application, FaberMaunsell Limited.

Weytjens, L., S. Attia, G. Verbeeck and A. De Herde (2010). "A comparative study of the 'architect-friendliness' of a six building performance simulation tools." Sustainable Buildings CIB **1**.

Xia, C., Y. Zhu and B. Lin (2008). Building simulation as assistance in the conceptual design. Building simulation, Springer.

Yeomans, S. G., N. M. Bouchlaghem and A. El-Hamalawi (2006). "An evaluation of current collaborative prototyping practices within the AEC industry." Automation in Construction **15**(2): 139-149.

Zimmerman, A. (2006). Guide sur le processus de conception intégré, Société canadienne d'hypothèques et de logement.

Adamski, Mariusz. 2007. « Optimization of the form of a building on an oval base ». *Building and environment,* vol. 42, n° 4, p. 1632-1643.

ADEME, PUCA et CSTB. 2007. *Comparaison internationale Bâtiment et Energie: Programmes d'Operations Perforamantes*

Aelenei, Laura, et Helder Gonçalves. 2014. « From solar building design to net zero energy buildings: Performance insights of an office building ». *Energy Procedia,* vol. 48, p. 1236-1243.

Aksamija, Ajla, et Zaki Mallasi. 2010. « Building Performance Predictions: How Simulations Can Improve Design Decisions ». *Perkins+ Will Research Journal,* vol. 2, n° 2, p. 7-32.

Anđelković, Bojan V, Branislav V Stojanović, Mladen M Stojiljković, Jelena N Janevski et Milica B Stojanović. 2012. « Thermal mass impact on energy performance of a low, medium and heavy mass building in Belgrade ». *Thermal Science,* vol. 16, n° suppl. 2, p. 447-459.

Anderson, Kjell. 2014. *Design Energy Simulation for Graphics: Guide to 3D Graphics*. Routledge.

ASHRAE. 2010. *ASHRAE GreenGuide - The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings* 3rd. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Athienitis, Andreas, Paul Torcellini, Adam Hirsch, William O'Brien, Maurizio Cellura, Ralf Klein, Véronique Delisle, Shady Galal Mohamed Attia, Paul Bourdoukan et Salvatore Carlucci. 2010. « Design, optimization, and modelling issues of net-zero energy solar buildings ». *EuroSun 2010,* vol. 1.

Attia, Shady. 2011. *State of the Art of existing Early Design Simulation Tools for Net Zero Energy Buildings: Comparaison of Ten Tools*

Attia, Shady, Liliana Beltrán, André De Herde et Jan Hensen. 2009. « "Architect friendly": A comparison of ten different building performance simulation tools ». In *11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition*. International Building Performance Simulation Association (IBPSA).

Attia, Shady, Andre De Herde, Elisabeth Gratia et Jan LM Hensen. 2013. « Achieving informed decision-making for net zero energy buildings design using building performance simulation tools ». In *Building Simulation*. Vol. 6, p. 3-21. Springer.

Attia, Shady, Elisabeth Gratia, André De Herde et Jan LM Hensen. 2012a. « Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design ». *Energy and buildings,* vol. 49, p. 2-15.

Attia, Shady, Jan LM Hensen, Liliana Beltrán et André De Herde. 2012b. « Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting architects' and engineers' needs ». *Journal of Building Performance Simulation,* vol. 5, n° 3, p. 155-169.

Augenbroe, Godfried. 1992. « Integrated building performance evaluation in the early design stages ». *Building and Environment,* vol. 27, n° 2, p. 149-161.

Augenbroe, Godfried. 2002. « Trends in building simulation ». *Building and Environment,* vol. 37, n° 8, p. 891-902.

Bambardekar, S, et U Poerschke. 2009a. « The architect as performer of energy simulation in the early design stage ». In *Eleventh Internationnal IBPSA Conference*. Scotland.

Bambardekar, Suhas, et Ute Poerschke. 2009b. « The architect as performer of energy simulation in the early design stage ». In *Building Simulation*. p. 1306-1313.

Boivin, Hugues, et André Potvin. 2008. « Refroidissement passif: outil d'évaluation et d'aide a la conception architecturale ». In *The 5th IBPSA-Canda Conference*.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Charron, Rémi, et Andreas Athienitis. 2006. « Design and optimization of net zero energy solar homes ». *TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS,* vol. 112, n° 2, p. 285.

Chua, DKH, A Tyagi, San Ling et SH Bok. 2003. « Process-parameter-interface model for design management ». *Journal of construction engineering and management,* vol. 129, n° 6, p. 653-663.

Cole, Raymond J. 1999. « Building environmental assessment methods: clarifying intentions ». *Building Research & Information,* vol. 27, n° 4-5, p. 230-246.

Commission, european. 1997. *Bioclimatic Architecture*

Crawley, Drury B. 1998. « Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings? ». *Transactions-American society of heating refrigerating and air conditioning engineers,* vol. 104, p. 498-515.

Crawley, Drury B, Jon W Hand, Michaël Kummert et Brent T Griffith. 2008. « Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs ». *Building and environment,* vol. 43, n° 4, p. 661-673.

Crawley, Drury, Shanti D Pless et Paul Allen Torcellini. 2009. *Getting to net zero*.

De Wilde, P, et D Prickett. 2009. « Preconditions for the use of simulation in M&E engineering ». In *Proceedings 11th International IBPSA Conference*. p. 414-419.

De Wilde, Pieter, Godfried Augenbroe et Marinus Van Der Voorden. 1999. « Invocation of building simulation tools in building design practice ». In *Proceedings of IBPSA '99 Buildings Simulation Conference*. p. 1211-1218.

De Wilde, Pieter Jacobus Cornelis Jan. 2004. *Computational support for the selection of energy saving building components*. TU Delft, Delft University of Technology.

de Wilde, Pieter, et Marinus van der Voorden. 2004. « Providing computational support for the selection of energy saving building components ». *Energy and Buildings,* vol. 36, n° 8, p. 749-758.

Ding, Grace KC. 2008. « Sustainable construction—The role of environmental assessment tools ». *Journal of environmental management,* vol. 86, n° 3, p. 451-464.

Directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments 2010. « ». *Journal officiel de l'Union européenne*, p. 35.

Dubois, Marie Claude, et Jean Philippe Saucier. 2009. *Architecture a faible énergie pour demain: principes, physique et pratique*

Fernandez, Pierre, Pierre Lavigne, Alain Bouteveille-Sanders, Ursula Bouteveille-Sanders, Anthony Cristo et Rachid Maraï. 2009. *Concevoir des bâtiments bioclimatiques: fondements & méthodes*. Éd. le Moniteur.

Figoli, Y. 1988. *L'art de bâtir*, 1.

Figoli, Yves, et Gérard Blachére. 2013. *L'Art de bâtir*. Modulo.

Garde, F., A. Lenoir, A. Scognamiglio, D. Aelenei, D. Waldren, H. N. Rostvik, J. Ayoub, L. Aelenei, M.Donn, M. Tardif et S. Cory. 2013. « How to design a net zero energy building? solution sets and case studies : Experience and feedback of the IEA Task 40/ Annexe 52 ».

Givoni, Baruch. 1994. *Passive low energy cooling of buildings*. John Wiley & Sons.

GSA. 2012. « BIM Guide Series 05 ».

Hemsath, Timothy L. 2013. « Conceptual energy modeling for architecture, planning and design: impact of using building performance simulation in early design stage ». In *13th Conference of International Building Performance Simulation Association. Chambéry. France. August*. p. 26-28.

Hensen, Jan LM, et Roberto Lamberts. 2012. *Building performance simulation for design and operation*. Routledge.

HESPUL. 2014. *Prise en compte du bio-climatisme et des apports solaires dans un projet d'aménagement*

Hien, Wong Nyuk, Lam Khee Poh et Henry Feriadi. 2003. « Computer-based performance simulation for building design and evaluation: The Singapore perspective ». *Simulation & Gaming,* vol. 34, n° 3, p. 457-477.

Holst, Johnny N. 2003. « Using whole building simulation models and optimizing procedures to optimize building envelope design with respect to energy consumption and indoor environment ». In *Eigth International Conference*.

Hootman, Thomas. 2012. *Net zero energy design: a guide for commercial architecture*. John Wiley & Sons.

Hopfe, CJ, Christian Struck, G Ulukavak Harputlugil, JLM Hensen et de PJCJ Wilde. 2005. « Exploration of using building performance simulation tools for conceptual building design ».

Ianni, Manuela, et M Sanchez de Leon. 2013. « Applying Energy Performance-Based Design in Early Design Stages ». In *Computation and Performance–Proceedings of the 31st International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design* (Europe). Faculty of Architecture, Delft University of Technology; eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe).

Ibarra, Diego I, et Christoph F Reinhart. 2009. « Daylight factor simulations–how close do simulation beginners 'really'get? ». In *Building Simulation*. Vol. 2009, p. 196-203.

Institut Royal d'Architecture du Canada. 2009. *Code de pratique de l'architecte*

Institut Royal d'Architecture du Canada. 2009 *Manuel Canadien de pratique de l'architecte*.

Johnson, R., S. Selkowitz, F. Winkelmann et M. Zenter. 1982. « Glazing optimization study for energy efficiency in commercial office buildings ». In *Energy Conservation in the Built Environment : Third CIB 67 International Symposium*. (Dublin, Ireland).

Kibert, Charles J. 2013. *Sustainable construction : green building design and delivery* (2013), 3rd ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, xvi, 543 p. p.

Knovel, et Sandy Halliday. 2008. *Sustainable construction* (2008), 1st ed. Amsterdam Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 1 texte électronique (395 p.) p.

Kwok, Alison G;, et Walter T; Grondzik. 2007. *The green studio handbook : environmental strategies for schematic design*. Oxford Elseiver Inc

Lam, Khee P, Y Chun Huang et Chaoqin Zhai. 2004. « Energy modeling tools assessment for early design phase ». *Center for Building Performance and Diagnostics School of Architecture Carnegie Mellon University*.

Lam, Khee Poh, Nyuk Hien Wong et Feriadi Henry. 1999. « A study of the use of performance-based simulation tools for building design and evaluation in Singapore ». *Architecture,* vol. 1, p. 11.3.

Larsson, Nils. 2001. « iiSBE: the International Initiative for Sustainable Built Environment ». *Building Research & Information,* vol. 29, n° 2, p. 175-177.

Larsson, Nils. 2004. « The integrated design process ». *International Initiative for a Sustainable Bult Environment (iiSBE)*.

Lovel, Jenny. 2013. *Building envelopes: An integrated approach*. Princeton Architectural Press.

Maassen, Wim, Ellie De Groot et Maarten Hoenen. 2003. « Early design support tool for building services design model development ». In *8th IBPSA Conference, Eindhoven*. p. 761-768.

Mahdavi, Ardeshir, Silvana Feurer, Alexander Redlein et Georg Suter. 2003. *An inquiry into the building performance simulation tools usage by architects in Austria*. na.

Maile, Tobias, Martin Fischer et Vladimir Bazjanac. 2007. *Building Energy Performance Simulation tools - a life cycle and interoperable perspective*. Center for Integrated Facility Engineering.

Marszal, Anna Joanna, Per Heiselberg, JS Bourrelle, E Musall, K Voss, I Sartori et A Napolitano. 2011. « Zero Energy Building–A review of definitions and calculation methodologies ». *Energy and Buildings,* vol. 43, n° 4, p. 971-979.

Medjelakh, D, et S Abdou. 2008. « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment ». *Revue des Energies Renouvelables,* vol. 11, n° 3, p. 329-341.

Ministère du Développement Durable. 2013.

Morbitzer, Christoph, PA Strachan, Jim Webster, Brian Spires et David Cafferty. 2001. « Integration of building simulation into the design process of an architectural practice ».

Musall, E, et K Voss. 2012. « The passive house concept as suitable basis towards net zero energy buildings ». In *16th International Passive House Conference*. Vol. 4.

Olgyay, V., et A. Olgyay. 1963. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism* Princeton University Press.

Olgyay, Victor. 1973. *Design with climate*, 41. Princeton University Press Princeton, NJ.

Optis, Michael, et Peter Wild. 2010. « Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings ». *The International Journal of Life Cycle Assessment,* vol. 15, n° 7, p. 644-651.

Panitz, Konrad, et Veronica Ruth Garcia-Hansen. 2013. « Daylighting Design and Simulation: Ease of use analysis of digital tools for architects ». In *Proceedings of the 19th CIB World Building Congress, Brisbane 2013: Construction and Society*. p. 1-13. Queensland University of Technology (QUT).

Paulson, Boyd C. 1976. « Designing to reduce construction costs ». *Journal of the Construction Division,* vol. 102, n° 4, p. 587-592.

Platzer, Michel (543). 2009. *Mesurer la qualité environnementale des bâtiments: méthodes globales, normes et certifications: cas pratiques* (2009). Le Moniteur.

Poel, B, G De Vries, G Van Cruchten, N Larsson, T Esbensen, M Schuler, E Sonnemans, E Bouten et G Löhnert. 2005. « Integrated design with a focus on energy aspects ». In *Proceedings of the ECEEE Summer Study*. p. 505-512.

Potvin, et Demers. 2003. *L'approche bioclimatique en architecture*. Le bulletin d'information de l'Ordre des architectes du Québec.

Potvin, André, et Claude Demers. 2005. « La ventilation naturelle dans le contexte climatique québécois ».

Pulselli, RM, E Simoncini, FM Pulselli et S Bastianoni. 2007. « Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability ». *Energy and buildings,* vol. 39, n° 5, p. 620-628.

Reed, Bill. 2009. *The integrative design guide to green building: Redefining the practice of sustainability*, 43. John Wiley & Sons.

Reinhart, Christoph F. 2002. « Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices ». In *2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. p. 309-322.

Reinhart, Christoph F, John Mardaljevic et Zack Rogers. 2006. « Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design ». *Leukos,* vol. 3, n° 1, p. 7-31.

Reinhart, Christoph, et Annegret Fitz. 2006. « Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design ». *Energy and Buildings,* vol. 38, n° 7, p. 824-835.

Ressources naturelles Canada. 2011. « Guide de données de la consommation d'énergie ». < oee.rncan.gc.ca >.

Roulet, Claude-Alain. 2004. *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*, 22. PPUR presses polytechniques.

Sartori, Igor, Assunta Napolitano et Karsten Voss. 2012. « Net zero energy buildings: A consistent definition framework ». *Energy and buildings,* vol. 48, p. 220-232.

Veuillez sélectionner un type de document autre que « Generic » afin de faire afficher la référence bibliographique.

Savanovic, Perica, et Wim Zeiler. 2009. « Integral Design Method for Conceptual Building Design ». In *DS 58-6: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on*

Engineering Design, Vol. 6, Design Methods and Tools (pt. 2), Palo Alto, CA, USA, 24.-27.08. 2009.

Schlueter, Arno, et Frank Thesseling. 2009. « Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages ». *Automation in Construction,* vol. 18, n° 2, p. 153-163.

Schrum, L., et D.S. Parker. 1996. *Daylighting dimming and energy savings: The effects of window orientation and blinds*. Coll. « Conference: 1996 American Society of Mechanical Engineers international solar energy conference, San Antonio, TX (United States), 31 Mar - 3 Apr 1996; Other Information: PBD: 1996; Related Information: Is Part Of Solar engineering 1996; Davidson, J.H. [ed.] [Univ. of Minnesota, Minneapolis, MN (United States)]; Chavez, J. [ed.] [Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States)]; PB: 544 p. ». Medium: X; Size: pp. 507-516 p.

Sekhar, SC, et Kenneth Lim Cher Toon. 1998. « On the study of energy performance and life cycle cost of smart window ». *Energy and Buildings,* vol. 28, n° 3, p. 307-316.

Selkowitz, Stephen ; , Rob ; Hitchcock, Robin ; Mitchell, McClintock ; McClintock et Kevin ; Settlemyer. 2014. *COMFEN – Early Design Tool for Commercial Facades and Fenestration Systems*. Building Technologies Department Environmental Energy Technologies Division.

Shawna, Henderson, et Mattock Chris. 2007. *Approaching Net Zero Energy in Existing Housing*

Société canadienne d'hypothèques et de logement 2009. *Vers une consommation énergétique nette de zéro dans les maisons existantes*. Canada.

Statistique Canada. 2010. < https://www.rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/4262 >.

Syneffa, A. 2008. « Developing integrated energy design as a standard practice of building design ». In *Proceedings of PLEA 2008, 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*.

Synnefa, Afroditi, Theoni Karlessi et Mat Santamouris. 2008. « Developing Integrated Energy Design as a standard practice of building design ». In *Proceedings of 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. (Dublin).

Tzempelikos, Athanassios, Andreas K Athienitis et Panagiota Karava. 2007. « Simulation of façade and envelope design options for a new institutional building ». *Solar Energy,* vol. 81, n° 9, p. 1088-1103.

USGBC. 2013. « Reference Guide For Building Design and Construction: LEED V4 ».

Warren, Peter, et Faber Maunsell. 2002. *Bringing Simulation to Application*. FaberMaunsell Limited.

Weytjens, Lieve, Shady Attia, Griet Verbeeck et André De Herde. 2010. « A comparative study of the 'architect-friendliness' of a six building performance simulation tools ». *Sustainable Buildings CIB,* vol. 1.

Xia, Chunhai, Yingxin Zhu et Borong Lin. 2008. « Building simulation as assistance in the conceptual design ». In *Building simulation*. Vol. 1, p. 46-52. Springer.

Yeomans, Steven G ;, Nasreddine M ; Bouchlaghem et Ashraf ; El-Hamalawi. 2006. « An evaluation of current collaborative prototyping practices within the AEC industry ». *Automation in Construction,* vol. 15, n° 2, p. 139-149.

Zimmerman, Alex 2006. *Guide sur le processus de conception intégré*. Société canadienne d'hypothèques et de logement.